

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：视觉工作记忆中内部注意选择优势是如何产生的？基于回溯线索范式视角

作者：胡艾新 马滢 呼雨欣 虞敏 曾烁 王庭照

第一轮

审稿人 1 意见：

本文系统回顾了回溯线索范式下内部注意对视觉工作记忆（VWM）影响的研究，梳理了回溯线索增益（RCB）产生的关键因素及其影响因素。选题具有重要理论价值。综述视角也很独特，从 VWM 的认知加工进程展开分析不同的因素。不过，在机制探讨、理论整合和写作逻辑等方面存在若干问题，需要进一步商讨和改进，请作者思考。

意见 1：文章是否需要更多的针对机制性的探讨？本文基于大量行为学研究，系统考察了回溯线索增益（RCB）产生的关键条件因素及其调节变量，在机制探讨方面，虽然识别了记忆巩固程度、持续性注意等影响因素，但主要停留在现象描述层面，缺乏对 RCB 产生的具体认知或神经机制的深入分析。比如一些前人研究所探讨的 RCB 产生的原因的机制性过程（如目标表征增强与分心物抑制；Souza & Oberauer, 2016; Li et al., 2023）。同时，文章标题和摘要所强调的“内部注意如何影响视觉工作记忆中的信息”与综述实际内容存在一定偏差，容易让读者误认为研究重点在于探讨回溯线索影响工作记忆的底层认知 / 神经机制，而实际上研究更侧重于揭示 RCB 产生的关键条件因素和调节影响因素。这种定位上的模糊可能会影响读者对本文研究贡献的准确理解。建议作者在修改时能够进一步明确研究定位，并加强对 RCB 产生机制的深入探讨。明确标题含义，若重点在“产生因素”而非“机制”，标题是否需要更具体地体现这一点，“如何”的范围太广了。

回应：感谢审稿人的宝贵意见。针对您指出的问题，我们已进行如下修改和完善：

（1）关于机制性探讨不足的问题。我们在全文补充了神经机制层面内容，具体修改内容详见正文标注的红色字体部分。其中，我们着重对“**2. 内部注意选择优势产生的机制**”和“**3. 内部注意选择优势产生的影响因素**”部分进行了补充。

（2）关于明确研究定位与标题表述的问题。首先，我们将文章标题修改为“视觉工作记忆中内部注意选择优势是如何产生的？基于回溯线索范式视角”，使文章更聚焦于内部注意选择优势的产生，明确对 RCB 的探讨。其次，鉴于已新增神经机制相关内容，并进一步解释和论述了内部注意选择产生机制，因此我们对题目中“如何”一词进行了保留。再次，我们重新梳理并修改了摘要，确保其表述与文章整体内容及新标题高度契合。

意见 2：目前“产生因素”的分类标准需要再思考。本文对 RCB 产生因素的梳理存在一些值得深入探讨的问题。当前研究中提出的三个关键因素（记忆巩固、持续性注意和认知过程分离）在概念界定和理论解释上存在一定程度的交叉和重叠。具体而言，持续性注意和认知过程分离这两个因素虽然从不同角度进行区分，但又都涉及回溯线索呈现后的认知加工过程是否完成，似乎都是通过影响线索加工效果来发挥作用。这种重叠是否会使读者对 RCB 产生机制的理解不是很清晰？

回应：感谢审稿人的宝贵意见。针对您的建议，我们从以下几个方面进行了修改：

我们以两阶段优先加工模型为基础，首先明确对 RCB 产生机制的分类逻辑。同时基于

当前研究对该模型进行了补充和完善，重新梳理并丰富了 RCB 产生机制的过程，并通过明确其功能来区分产生机制的三大核心点的差异（第 10 页最后一段）。此外，我们对小标题进行了修改，内容上同步补充了当前认知和神经机制研究和相关论证细节，进一步对上述问题进行解释。具体修改内容详见“**2.内部注意选择优势产生的机制**”（正文第 4-12 页红色字体）。

文中部分代表性论证内容（第 4 页最后一段）：“现有研究一致认为，RCB 的核心功能是通过优化 VWM 中的记忆表征来提升记忆表现。但需要明确的是，探究 RCB 产生的关键并非仅描述其功能结果，而在于厘清内部注意选择优势的实现过程（付凯，2020）。两阶段优先加工模型指出，回溯线索通过“内部注意定向与选择”与“表征状态重构”两个阶段产生内部注意选择优势（Myers, Stokes, & Nobre, 2017）。前者依赖背侧额顶注意网络锁定目标项并短暂激活感觉表征；后者则依赖腹外侧额叶皮层与纹状体协同作用，将感觉表征转换为行为导向表征（如建立目标特征与按键规的关系），构建“感知表征—行为输出”的映射关系。然而，该模型认为，回溯线索呈现后仅需短暂神经活动即可完成目标定位与初步激活，无需持续注意。当前认知神经证据显示，不同优先级状态需要持续的注意资源调配与功能耦合（Yu, Teng, & Postle, 2020），这在多线索或线索有效性变化的条件下尤为明显。这提示该模型在“表征状态重构”阶段的动态机制存在简化，缺失“持续注意对表征动态维持与调控”的过程。该过程通过资源动态调配与干扰抑制机制维持目标优先加工，并可能依赖额顶注意网络与早期视觉皮层之间的持续耦合（Yu, Teng, & Postle, 2020）。总体而言，细化该模型可进一步明确：内部注意选择效应的形成以 VWM 表征待命环节的巩固充分性为基础，其效用取决于持续注意在 VWM 维持阶段对目标表征激活与状态调控的支持，并最终通过优化决策输出时的信息质量提升记忆表现。”

意见 3: 文章中对认知分离假说和检索领先假说的理论区分不够明确，这两种理论在解释 RCB 产生机制时的异同需要更清晰的阐述。认知分离假说强调提前将注意力集中于目标表征，而检索领先假说强调记忆目标的检索过程，虽然表述角度不同，但可否理解为都是需要将内部注意投放到目标表征。这种理论区分上的模糊可能会影响读者对 RCB 究竟通过何种认知加工过程产生优势效应的准确理解。请作者考虑是否需要将文章提到的理论假说，如何相似 / 差异地影响 RCB 的过程做更进一步的阐释。

回应: 感谢审稿人的宝贵意见。对于理论区分不明的问题。我们首先重新梳理并改写了两假说对应的代表性实验的相关表述，从实验层面理解和明晰两假说逻辑与结果指向的差异（第 16 页最后一段至 17 页第一段）。同时，我们在文中对两者的异同点明确地在文中进行了解释。具体修改详见“**2.3 决策输出：信息积累质量驱动内部注意选择行为表现的优化**”（正文第 10-12 页）。

文中部分代表性论证内容（第 11 页第一段）：“尽管两假说存在共性，均通过回溯线索在认知加工中建立时序性的信息处理进程，使有限的注意资源优先导向决策所需的证据积累，优化行为表现。但其关键区别在于：第一，加工阶段分离的阐述视角不同。认知分离假说强调减少资源竞争以降低信息损耗；检索领先假说关注保障检索充分性以提升信息完整性。第二，信息积累内容差异。在线索呈现后，认知分离过程可进行注意分配和反应选择两种决策前准备，而检索领先过程更多是对表征信息的积累，无法进行反应计划准备。因此，两者以互补而非冲突的方式共同支撑内部注意选择的产生。”

意见 4: 理论框架是否可以更加整合。文章虽然将 RCB 产生的原因和影响因素分开讨论，但实际上，这两类因素之间存在密切的内在联系，是否考虑建立一个更系统的框架来整合这些因素。具体来说，时间过程影响因素与记忆巩固的产生原因之间存在明显的关联，外部干扰因素又与持续性注意和认知过程分离这两个产生因素相互影响。这种因素间的交叉和重叠是

否一定程度表明，RCB 的产生机制和影响因素并非完全独立，而是构成了一个相互作用的复杂系统。请作者思考，是否需要阐明它们如何共同构成内部注意选择的完整模型，更能帮助读者更全面地理解 RCB 产生的内在机制

回应：感谢审稿人的宝贵意见。根据您的建议，我们已结合产生机制与影响因素，构建了“内部注意对 VWM 信息选择的三维认知模型”。该模型明确了 RCB 产生三大核心点：不充分的记忆巩固、稳定的持续注意，以及高质量的决策信息。回溯线索通过对其进行动态调控来实现 RCB 的产生。具体而言：记忆巩固（C）受项目变化、时程变化、线索变化三大因素主导影响；持续性注意（S）受外部干扰、时程变化、线索变化三大因素主导影响；决策信息（D）受外部干扰、项目变化、线索变化三大因素主导影响。模型中的交互点（I）体现了因素间的交互作用，意味着三大产生机制的核心点虽分别以三类影响因素为主导，但并非仅受其影响，各因素的交互作用也会对产生机制产生综合调控。具体论述详见“4.总结与展望”部分（正文第 21-23 页红色字体

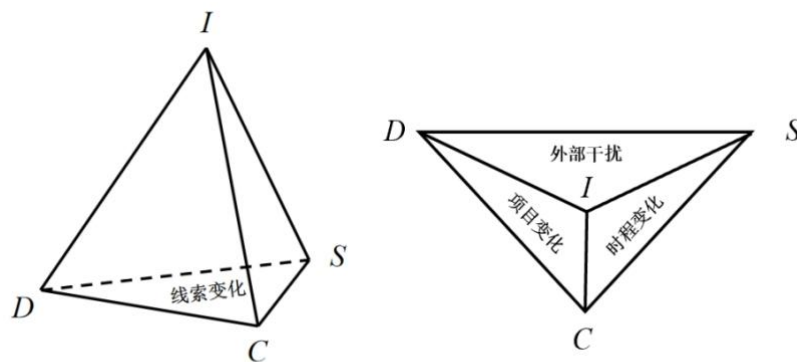


图 2 内部注意对 VWM 中信息选择的三维认知模型

注：C 为巩固时间（Consolidation time），D 为决策信息（Design information），S 为持续注意（Sustained attention），I 为交互作用（Interaction）。CSD 面为影响因素中的线索变化；IDC 面为影响因素中的项目变化；ICS 面为影响因素中的时程变化；ISD 面为影响因素中的外部干扰。

意见 5：作者将工作记忆巩固时间定义为“刺激呈现到线索呈现或呈现后一段时间”，但未明确说明这段时间的具体长度范围。如此带来的问题是，当实验设计中引入线索后干扰时，其影响可能不仅限于持续性注意，还可能涉及工作记忆巩固过程本身（2.2 节），这一点需要进一步澄清。

回应：感谢审稿人的宝贵意见。根据您的意见我们对 2.1 节内容进行了重新论述。同时，我们认为在回溯线索范式中，巩固时间并非一个固定的绝对数值，而是由其基础临界时长和多因素动态调节，共同构成的弹性时间窗口。具体而言，我们在文中表述了 VWM 巩固的单项记忆项巩固时长约为 600-700ms（Luo, Huang, & Tian, 2023），此为表征达到稳定状态的临界时长。但该时长在实际内部注意选择过程中会受到刺激呈现方式、记忆负荷和刺激特征等因素的动态调控，导致不同条件下记忆表征进入维持阶段时 CTI 所延续的巩固时长是不确定且变化的。因此，线索呈现后记忆巩固与持续注意过程的区分并非基于绝对的时间点，而是基于表征是否已通过巩固形成稳定状态。由于线索的出现可以弥补早期巩固加工的不足，助力注意定向，持续注意负责对注意选择后的表征状态进行维持和重构。如果此时干扰是作用于未完成的巩固过程，会破坏表征的编码与稳定（正如您在意见 7 中提出的建议）。我们通过对当前研究的梳理，发现干扰条件下无论是在基于维度还是基于客体线索，记忆精度（叶超雄 et al., 2020）和记忆的偏移量（Liu et al., 2023）都没有降低，说明干扰没有破坏 VWM 的原始表征，而是对持续注意产

生了影响，同时线索和持续注意也发挥了维持目标表征稳定性的作用。具体修改详见“**2.1 表征待命：记忆巩固充分性决定内部注意选择定向功能的发挥**”和“**2.2 状态维持：持续注意支持对记忆表征的激活与可访问性的调控**”（正文第 5-10 页）

文中部分代表性论证内容：

（正文第 5 页最后一段）“研究显示，单项刺激的巩固约需 600–700ms(Luo, Huang, & Tian, 2023)。”

（正文第 6 页第二段）“说明同时呈现刺激的巩固以并行加工进行，并且其 RCB 的产生由容量限制与 CT 可用时间窗共同调节。另有脑电证据表明，颜色等低复杂度特征可通过早期视觉皮层的并行加工实现快速巩固，其 VWM 巩固带宽支持同时巩固 2 个项目；而方向等高复杂度特征需依赖顶叶的串行加工，巩固带宽仅支持 1 个项目 (Hao et al., 2018)。这是否可推断多刺激同时呈现时，方向特征因巩固充分性受限更易获得 RCB？但近年研究显示，刺激同时呈现中即便 CT 满足 RCB 产生条件，方向特征相较颜色特征的 RCB 常减弱或缺失(Liu et al., 2024; Guo et al., 2025)。其原因可能在于，不同线索类型对方向特征提取效果存在差异，如以空间线索定位客体后提取其方向特征效率低于以颜色线索定位客体的方向特征提取；并且与颜色的高显著性不同，方向特征的加工对精度要求更高（如角度），进一步限制了 RCB 的显现。可见，经典回溯线索范式下巩固充分性对内部注意选择效果的改变也会受到记忆项容量和特征，以及线索类型的约束。”

（正文第 7 页第一段）“Liu 和 Guo 等人(2024)的事件相关电位(Event-Related Potentials, ERP)研究虽未直接采用回溯线索范式，但揭示了巩固充分性调控 VWM 神经表征的机制。当巩固不充分时，早期视觉皮层 (V1-V4) 对目标的初始编码虽启动，但干扰抑制效能较弱，表现为干扰物正波 (Posterior-Distal, PD) 振幅减小，对侧后部负波 (N2 Posterior Contralateral, N2pc)显著，表明干扰项更易捕获注意，额顶网络需优先分配资源至目标表征的巩固(Liu, Guo, & Ye, 2024)。这一模式对应内部注意选择中线索出现前的表征待命阶段：此时个体需对所有项目进行初始编码，巩固不充分导致早期编码脆弱，资源竞争激烈，而线索可通过增强目标相关额顶网络同步性，弥补早期巩固资源不足并延续巩固过程。而巩固充分时，目标表征进入高精度稳定状态，额顶网络转向主动抑制干扰，线索难以介入已饱和的神经加工，无法进一步优化表征。”

（正文第 9 页第一段）“值得说明的是，有研究发现基于客体线索无干扰条件与无线索干扰条件下的记忆精度无显著差异，说明干扰没有破坏 VWM 原始表征(叶超雄 et al., 2020)。而且上述行为研究中干扰虽削弱基于维度线索的 RCB，却未显著增加中性条件下记忆的偏移量 (Liu et al., 2023)。进一步明确 RCB 的削弱源于认知加工过程对持续注意的需求而非干扰对表征的损坏。”

意见 6：不同的抽象概念之间的区别是什么？比如持续注意和“全局注意力”之间的区别，二者都涉及影响到 RCB 的效应。

回应：感谢审稿人的宝贵意见。我们根据您的建议首先将“全局注意”改为了“**注意分配方式上具有全局性**”（正文第 7 页最后一段），对相应表述进行了修正。其次明确了相关定义。具体修改详见“**2.2 状态维持：持续注意支持对记忆表征的激活与可访问性的调控**”（见第 7 页三、四段）

文中部分代表性论证内容（见第 7 页三、四段）：“持续注意是指个体在相对单调的任务中，随时间推移维持对任务的注意力和参与度的控制过程 (Langner & Eickhoff, 2013)。”“**基于维度的回溯线索在注意分配方式上具有全局性，即需要在所有记忆项目间进行特征比对和维度筛选。其仅能减少单个表征中需保留的信息量，通过降低非目标维度的信息权重来优化注意资源分配**”

意见 7: 2.2 节干扰任务的影响机制是否明确。回溯线索后会经历注意力部署、检索和决策等连续认知过程，但如何证明干扰导致的 RCB 减弱是由于上述线索后认知加工的干扰，而不是来自于记忆表征受到了干扰？考虑是否需要补充相关证据或讨论。

回应: 感谢审稿人的宝贵意见。针对这一问题我们在文中进行了回应。详见“**2.2 状态维持：持续注意支持对记忆表征的激活与可访问性的调控**”（正文第 9 页第一段）

正文中修改内容（正文第 9 页第一段）“值得说明的是，有研究发现基于客体线索无干扰条件与无线索干扰条件下的记忆精度无显著差异，说明干扰没有破坏 VWM 原始表征（叶超雄 et al., 2020）。而且上述行为研究中干扰虽削弱基于维度线索的 RCB，却未显著增加中性条件下记忆的偏移量（Liu et al., 2023）。进一步明确 RCB 的削弱源于认知加工过程对持续注意的需求而非干扰对表征的损坏。”

意见 8: 在 3.1 节对 Kuo, Yeh, Chen, & D'Esposito (2011) 研究的解释中，作者将晚期线索效应较差归因于早期线索为受试者提供了更充足的时间来部署自上而下的注意力调节信号，从而增强任务相关表征。然而，这一解释可能需要进一步探讨：在 Kuo 等人的实验中，晚期线索呈现后仅间隔 100ms 即进行记忆检测，这一时间窗口可能不足以支持完整的认知过程分离（如 2.3 节所述）。因此，RCB 的下降可能不仅反映了注意调节信号部署时间的差异，更可能源于认知分离过程未能充分完成。这一发现提示是否需要更深入地理解回溯线索的时间效应（3.1 节）与认知分离功能（2.3 节）之间的内在联系，二者可能共同构成了 RCB 产生的完整机制。建议作者在讨论中更全面地考虑这两种解释的可能性及其相互关系。

回应: 感谢审稿人的宝贵意见。根据您的建议，我们在 3.1 节从神经机制层面对晚线索的自上而下注意力部署和认知分离过程完成过程进行了论述，具体修改内容详见“**3.1 时间过程变化产生的影响**”（正文第 12-14 页）

文中部分代表性论证内容（正文第 13 页第一段）：“而晚期线索因注意调控滞后，需额外激活右侧下额叶（Inferior Frontal Gyrus, IFG）与前扣带回（Anterior Cingulate Cortex, ACC），并增强右顶上小叶（Right Superior Parietal Lobule, R-SPL）与这些脑区的功能连接以缓解冲突（Kuo, Rotshtein, & Yeh, 2011）；这一神经活动恰恰也表明，晚期线索导致认知分离过程未完成，个体需依赖额顶网络的冲突监控功能来缓解探测阶段的资源竞争，而这种额外认知调控不仅消耗更多资源，且难以完全抵消分离不足带来的劣势，最终导致行为层面的效率下降”

意见 9: 注意力模板概念常用于工作记忆引导的视觉搜索研究，但本文综述的研究并不涉及这一过程。不是很明白注意模板在回溯性线索中的作用。这与视觉工作记忆巩固的过程又是什么关系？

回应: 感谢审稿人的宝贵意见。经审慎梳理，我们确实认为将“注意力模板”这一概念应用于内部注意选择中在概念使用场景和作用发挥上均存在差异，若继续保留易引发理解偏差。因此，为更清晰地解释时程变化对内部注意选择过程的影响。我们已修改“注意力模板”相关表述，将论述聚焦于“时间进程影响回溯线索对 VWM 表征的保护机制具有调控作用。”这一问题。具体修改内容详见“**3.1 时间过程变化产生的影响**”正文（第 12-14 页）

文中代表性内容（第 19 页—第 20 页）：“第二，时间进程影响回溯线索对 VWM 表征的保护机制具有调控作用。大量研究通过改变时程证实，回溯线索可保护提示对象免受基于时间的遗忘（Sahu & Tseng, 2021; Matsukura, Luck, & Vecera, 2007）。由于 VWM 中的表征在时间稳定性方面存在差异，而回溯线索的益处可能来自记忆资源的动态转移，这种转移使注意力用于关注被提示项而非在所有项目间分配，以减缓记忆的衰退（Pertzov, Bays, Joseph, & Husain, 2013; Poth, 2020）。Schneider 等人（2016）通过观察非提示项发现回溯线索的保护机制，当 CTI 为 300-400ms 时，RCB 尚未显现。当 CTI 为 600ms 并延长至 1800ms 时，行为表现显著优化，RCB

逐步增强。且非提示项引发的加工冲突逐步减弱，表现为 N450 成分逐渐下降。同时，枕顶叶 α 频段（10-14 Hz）对侧抑制强度也逐步增强并维持稳定，其强度与 N450 衰减速率呈正相关。证明足够的 CTI 可通过抑制无关表征竞争，减少记忆资源损耗。后续研究还发现，已衰减的目标表征会随 CTI 延长逐步恢复，此过程伴随额中回与右侧顶下小叶 α 频段功能连接增强，其连接强度提升速率与信息恢复速率正相关，表明额-顶网络协同活动是线索随 CTI 变化逆转记忆衰退、获得 RCB 的神经基础（Ester, Nouri, & Rodriguez, 2018）。另外，在线索提示后引入外部感知干扰的研究中，SOA 的调控作用同样关键，充足的 SOA 可使回溯线索保护和稳定目标表征质量，降低外部干扰影响（Han & Ku, 2022; Pertzov, Bays, Joseph, & Husain, 2013）。Schneider、Barth 和 Getzmann 等人（2017）进一步证实，当 $SOA \geq 500ms$ 时，回溯线索条件下顶叶负向慢波（Negative Slow Wave, NSW）振幅显著低于中性线索条件，反映 VWM 负荷降低引发认知资源释放，且该效应具有时间依赖性，仅当 SOA 高于 500ms 时，NSW 振幅差异才显著。这与先前研究提出 RCB 在 SOA 为 500ms-600ms 达到最优的结果一致（Van Moorselaar, Gonselir et al., 2015）。”

意见 10：首次提及基于维度和基于客体的回溯线索时（2.3 节）缺乏必要的概念介绍，直到后面的章节（3.3 节）才进行详细解释，这种处理方式影响了行文的连贯性

回应：感谢审稿人的宝贵意见。根据您的建议我们将对基于维度和基于客体的回溯线索概念的解释放在“2.2 状态维持：持续注意支持对记忆表征的激活与可访问性的调控”这一部分进行介绍和区分，并将其结合 2.2 节内容进行了论述（详见 2.2 节，正文第 7-10 页）。

文中部分代表性内容（第 13 页-14 页）：“根据内部注意可选择对象不同，回溯线索分为基于维度和基于客体两类。前者引导内部注意聚焦于所有记忆项共享的特征维度（如颜色）；后者则通过空间位置或客体专属特征定向至具体客体（如蓝色）。基于维度的回溯线索在注意分配方式上具有全局性，即需要在所有记忆项目间进行特征比对和维度筛选。其仅能减少单个表征中需保留的信息量，通过降低非目标维度的信息权重来优化注意资源分配，使目标维度在后续提取中更易被优先访问。”

意见 11：“RCB 对记忆成绩的促进表现在准确率显著提升、混淆率和猜测率下降”这一表述存在冗余，因为 RCB 本身就是指对记忆的促进作用，建议简化为“RCB 表现为准确率显著提升、混淆率和猜测率下降”。

回应：感谢审稿人的宝贵意见。根据您的建议，已对全文类似表述冗余的内容进行了修改。

意见 12：文章的文本还需要检查笔误，比如“续资源模型”。

回应：感谢审稿人的宝贵意见。我们已对此处及文章其他笔误进行检查和修改。

.....

审稿人 2 意见：

该综述围绕“内部注意如何影响视觉工作记忆”这一科学问题，系统梳理了基于回溯线索范式（retro-cue paradigm）的相关研究，作者对 RCB（回溯线索效益）的产生机制及其影响因素进行了多角度分析，并提出了未来研究方向。结构清晰，具有一定的理论价值和深度。

意见 1：摘要部分内容冗长，建议将语言简练，内容上提高逻辑性。

回应：感谢审稿人的宝贵意见。根据您的建议，我们已对摘要部分进行了修改，详见“摘要”红色字体部分。（正文第 1 页）

文中具体修改内容：“摘要：视觉工作记忆是短时视觉信息存储与在线加工的关键认知系

统，其信息加工灵活性依赖内部注意的定向调控。回溯线索范式是探究二者关系的关键工具，其通过在记忆阵列后、探测前呈现目标线索引发回溯线索效益，可直观反映内部注意的选择优势。本研究以连续资源模型为理论基础，系统梳理相关研究发现：内部注意选择优势的产生以工作记忆巩固充分性决定线索效用为前提，不同程度的依赖持续注意以维持目标表征激活，并通过提升决策信息质量来优化个体记忆表现。而时间进程、记忆项目、线索类型及外部干扰，通过调节工作记忆资源分配效率与表征稳定性，动态影响内部注意选择效果。据此，本研究构建了整合内部注意选择优势产生机制与影响因素交互关系的三维认知模型，提出未来研究对主动抑制机制、复杂刺激加工及神经发育障碍人群的内部注意特征的关注，为理解和完善内部注意对视觉工作记忆中信息灵活管理的过程提供新视角。”

意见 2：文章题目是“内部注意如何影响视觉工作记忆中的信息？基于回溯线索范式视角”。在前言部分，作者阐述 RCB 和 RCC 的概念之后，只聚焦在 RCB 上。“综上，对内部注意选择优势的探究，就是对 RCB 产生机制的观察”，缺少内容过渡。请在文章中增加相关内容，即为什么只探究内部注意选择优势（RCB），其重要的理论意义是什么。

回应：感谢审稿人的宝贵意见。根据您的建议我们做了如下修改：

(1) 为消除主题层面对 RCB 和 RCC 论述的模糊性，我们将题目修改为“视觉工作记忆中内部注意选择优势是如何产生的？基于回溯线索范式视角”，以便突出文章所聚焦的重点在于对 RCB 的探讨。

(2) 根据您的建议，我们在“1.引言”中补充对 RCB 和 RCC 核心概念和理论意义差异的论述，说明为何“对内部注意选择优势的探究，就是对 RCB 产生机制的观察”这一观点。具体修改内容详见“1.引言”（正文第 2 页第一段红色字体部分）。

文中具体修改内容（第 2 页第一段）：“那么，如何从 VWM 行为表现中有效分离内部注意选择效应呢？回溯线索范式（retro-cue）是一种有效操控内部注意选择的实验范式（Myers, Stokes, & Nobre, 2017）。它通过在记忆阵列呈现后、探测测试前的间隔中呈现指向目标项的提示线索，以此促使被试选择性地注意力定向到 VWM 记忆表征位置。其实质是在 VWM 表征编码完成后，对维持阶段的特定记忆表征进行优先加工。在该范式中，线索有效性调控 VWM 表现，当线索有效（指示待测试项目位置）时，个体记忆表现（如准确率、反应时）显著优于中性线索（无指向性）条件，该现象被称为“回溯线索效益（Retro-Cue Benefit, RCB）”（Fu et al., 2022）。当线索无效（指向非测试项目位置）时，记忆表现较中性线索条件受损，即“回溯线索损耗（Retro-Cue Cost, RCC）。可见，RCB 反映内部注意对目标表征的正向调控优势，表明内部注意可灵活调节 VWM 表征的加工优先级，通过引导 VWM 资源向目标表征集中，激活其对应神经编码区域并优化神经编码质量，进而提升记忆表现。RCC 则体现内部注意偏离目标时的选择代价，如非提示项神经集群活动增强，通过侧向抑制或资源竞争削弱目标表征的神经编码强度。二者共同证实内部注意选择不仅具备目标指向性，还能通过资源分配调控 VWM 的加工权重。但 RCB 比 RCC 更直接体现内部注意对目标表征的优先选择，因此对内部注意选择优势的探究，就是对 RCB 产生机制的观察（付凯，2020）。此外，RCB 和 RCC 在目标选择中资源分配上的差异，在理论上获得了连续资源模型的有力支撑，其强调 VWM 中的连续存储资源可被灵活分配，内部注意优先选择的存储项目将被分配到更多的资源（Gao, Zhang, & Zhang, 2023）。”

意见 3：前言第三段，该段主要总结以往关于回溯线索效应的研究，并指出不同研究间结果的 inconsistency。但是，关于 Shepherdson 等人（2018）和 Niklaus 等人（2019）研究结果的阐述不清晰，可读性差：在 Shepherdson 等人（2018）研究中，“但实验 2 中，在准确率方面未观察到显著 RCB”，那么在其他指标上呢？“随后 Niklaus 等人（2019）分别以单词和彩色圆形

作为刺激材料，仍未发现 RCB 对记忆准确性的改善”，如何理解 RCB 对记忆准确性的改善？接着，加入 Liu 等人（2023）的研究成果。以上，作者并未针对所引用的文献系统地梳理出以往研究成果和不同研究得出不一致结果的可能性。

回应：感谢审稿人的宝贵意见。针对上述引言中研究成果阐述不清及逻辑梳理不足的问题，我们进行了如下修改：首先，为避免研究成果堆砌导致的可读性差问题，我们调整了引言段落结构，将第一版稿件引言第三段中关于回溯线索效应的研究总结内容拆分整合至当前引言的第三段和第四段，分别用于支撑对“影响因素”（第三段）和“由结果分歧引发的机制探讨”（第四段）的论述（详见 1 节，第 8 页最后一段-第 9 页）。其次，我们对 Shepherdson 等人（2018）和 Niklaus 等人（2019）的研究关于反应时间和准确率结果进行了补充。关于为何准确率 RCB 减弱或缺失的疑问在“2.1 表征待命：记忆巩固充分性决定内部注意选择定向功能的发挥”部分进行了详细的解释和论述。具体修改详见“2.1 表征待命：记忆巩固充分性决定内部注意选择定向功能的发挥”（正文第 5-7 页）。

意见 4：前言第三段，作者列举了内部注意选择优势的多种假说（如检索领先假说、注意力强化假说、移除假说，防止探测干扰假说等），但缺乏对这些假说之间关系的深入整合。建议作者在“总结与展望”部分尝试提出一个初步的理论框架图或机制模型，以更直观地展示各因素之间的交互关系。

回应：感谢审稿人的宝贵意见。对于这一问题我们进行了如下修改：

（1）为更清晰地聚焦内部注意选择优势产生机制和影响因素，我们对引言内容进行了精简和优化，改变了上一版稿件在引言中对各假说的论述。同时将对假说的探讨调整至总结与展望中的“4.1 基于主动抑制探寻内部注意选择假说的边界与冲突”进行探讨，提出以主动抑制机制为切入点，为未来研究提供思路。

（2）在总结与展望部分，我们整合内容注意选择优势的产生机制和影响因素，构建了“内部注意选择对 VWM 中信息选择的三维认知模型图”并围绕该模型展开详细论述，具体内容详见“4.总结与展望”（正文第 21 页-24 页）

文中部分代表性论证内容（正文第 21-23 页）：“综上所述，VWM 中内部注意选择优势的产生是多因素协同作用的结果，且各影响因素与认知机制存在紧密内在关联。本研究以内部注意选择优势产生的认知机制为核心，构建了内部注意对 VWM 中信息选择的三维认知模型（如图 2 所示），系统整合影响内部注意选择效果的关键变量，构建机制与因素交互下的理论框架。该模型明确了 RCB 产生三大核心点：不充分的记忆巩固、稳定的持续注意，以及高质量的决策信息。回溯线索通过对其进行动态调控来优化 RCB。

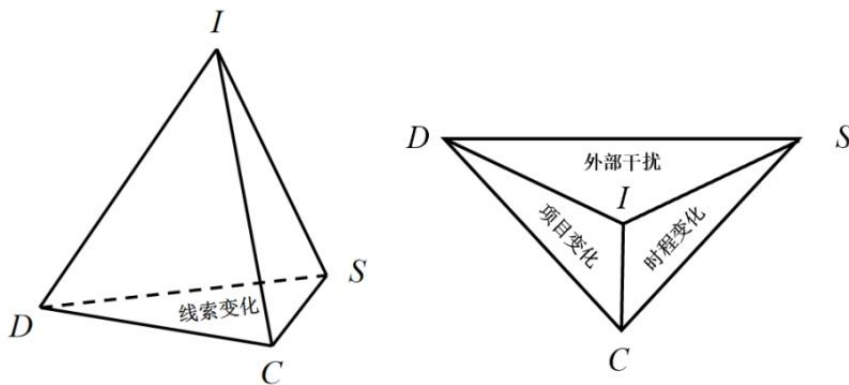


图 2 内部注意对 VWM 中信息选择的三维认知模型

注：C 为巩固时间（Consolidation time）、D 为决策信息（Design information）、S 为持续注意（Sustained attention）、I 为交互作用（Interaction）。CSD 面为影响因素中的线索变化；IDC 面为影响因素中的项目变化；ICS 面为影响因素中的时程变化；ISD 面为影响因素中的外部干扰。

首先，记忆巩固（C）是回溯线索发挥作用的前提，它通过将瞬时视觉信号转化为稳定表征，塑造后续注意选择表征的“基础状态”，仅当表征不充分巩固时，线索发挥其通过定向与选择提升目标表征优先。其充分性受内部注意选择时程、记忆项负荷和特征以及线索类型的多重调节。其中 CT 长短决定记忆巩固充分性，CTI 在一定程度上影响着巩固的延续进而作用于内部注意选择效果；记忆项负荷升高时，巩固的串行加工下会挤占单项表征巩固资源，而在并行加工模式中则通过改变单项表征分配的呈现时间影响 CT。同时记忆项特征的复杂程度与不同类型线索对客体或特征的选择也会调控巩固的方式与速度。其次，持续注意（S）是内部注意选择产生优势的必要条件，既支持早期注意定向与资源分配，又在维持阶段动态区分记忆项优先级，确保目标表征稳定且非目标表征仍具可访问性，支撑内部注意选择优势的产生。其受线索类型、外部干扰和 SOA 的调控。基于客体或特征线索会因其注意分布方式以及对表征调控复杂性的不同，而对持续注意的依赖度存在差异；外部干扰会通过争夺注意资源、破坏注意稳定维持或中断认知加工而增加对持续注意的需求，且需求强度受干扰类型和 SOA 等多因素影响。尤其 SOA 长短会改变回溯线索对目标表征的保护效力，进而调节对持续注意的需求。再次，决策信息（D）是决定行为表现的关键，高质量信息积累可加快决策证据整合、缩短反应时并提升准确率，直接推动内部注意选择优势的显化。它主要受记忆负荷、外部干扰与线索数量影响。记忆负荷升高会加剧内部干扰，降低决策信息质量并延长目标提取时间；外部干扰则通过争夺注意资源，干扰信息积累或破坏感知-行为映射所需的稳定注意，且其与线索数量也存在交互，不同线索数量对反应计划的启动时程不同，导致其对保护决策信息积累过程免受干扰的作用差异。最后，各影响因素的交互同样会作用于上述三大核心点并影响内部注意选择效果。在所有因素中，线索作为回溯线索范式中引导注意对 VWM 内部信息的选择关键工具，不论其有效性、类型还是数量都会对三大核心点产生不同程度影响。区别于传统研究对内部注意选择优势影响因素的单一探讨，本模型以 RCB 产生的认知机制为核心，系统构建机制与各影响因素的关联路径，为理解 VWM 及其运行机制提供理论支持。

基于神经科学角度，VWM 中内部注意选择的核心神经基础为枕叶视觉皮层、PPC、PFC 及皮质纹状体，各脑区协同形成调控通路。枕叶视觉皮层承担短时表征的存储与维持，且其神经活动随内部注意选择动态调整，为目标表征优先加工奠定基础（Zhou et al., 2022）。PPC 作为自上而下注意网络的枢纽，依据任务需求形成表征优先级，并据此将相关表征提取至注意焦点（FoA）；PFC 与视觉皮层保持功能耦合，在优先化后接收并暂存转移的信息，稳定当前选择状态并组织后续加工（Panichello & Buschman, 2021）。皮质一纹状体环路则实现“输出门控”，筛选行为关联信息并控制输出，且受内部注意选择调制（Liljefors et al., 2024）。总体而言，通过以上多脑区的时序耦合、功能互补与动态交互，共同支撑 VWM 中内部注意选择优势的产生。”

意见 5：探究 RCB 产生原因，实质上是在探寻并解决内部注意选择过程中的三个关键问题：

（1）记忆是否足够稳定；（2）持续注意是否必要；（3）回溯线索能否被高效利用。”提出这三个问题的理论依据是什么？

回应：感谢审稿人的宝贵意见。根据您的建议，我们一方面以“两阶段优先加工模型”为理论依据，并根据当前实证研究结果，对该模型的关键阶段进行了补充和细化，以完善对这三个关键问题的理论支持（正文第 4 页最后一段）。另一方面，考虑到上述三点不仅是关键问题，更属于内部注意选择对 VWM 中内部信息灵活管理的关键环节与过程，因此我们对“2.内部注意选择优势产生的机制”这部分的探讨进行了整体的修改，以清晰的阐述机制的产生。详见“2.内部注意选择优势产生的机制”。（正文第 4 页）

文中具体修改内容（第 4 页最后一段）：“现有研究一致认为，RCB 的核心功能是通过优

化 VWM 中的记忆表征来提升记忆表现。但需要明确的是，探究 RCB 产生的关键并非仅描述其功能结果，而在于厘清内部注意选择优势的实现过程（付凯，2020）。两阶段优先加工模型指出，回溯线索通过“内部注意定向与选择”与“表征状态重构”两个阶段产生内部注意选择优势（Myers, Stokes, & Nobre, 2017）。前者依赖背侧额顶注意网络锁定目标项并短暂激活感觉表征；后者则依赖腹外侧前额叶皮层与纹状体协同作用，将感觉表征转换为行为导向表征（如建立目标特征与按键规的关系），构建“感知表征-行为输出”的映射关系。然而，该模型认为，回溯线索呈现后仅需短暂神经活动即可完成目标定位与初步激活，无需持续注意。当前认知神经证据显示，不同优先级状态需要持续的注意资源调配与功能耦合（Yu, Teng, & Postle, 2020），这在多线索或线索有效性变化的条件下尤为明显。这提示该模型在“表征状态重构”阶段的动态机制存在简化，缺失“持续注意对表征动态维持与调控”的过程。该过程通过资源动态调配与干扰抑制机制维持目标优先加工，并可能依赖额顶注意网络与早期视觉皮层之间的持续耦合（Yu, Teng, & Postle, 2020）。总体而言，细化该模型可进一步明确：内部注意选择效应的形成以 VWM 表征待命环节的巩固充分性为基础，其效用取决于持续注意在 VWM 维持阶段对目标表征激活与状态调控的支持，并最终通过优化决策输出时的信息质量提升记忆表现。”

意见 6：“本研究最终将影响因素，如线索数量或类型、记忆项特征属性等，归纳在时间过程、记忆项目、线索变化和外部干扰四大部分中进行详细讨论”。作者选中这几个影响因素进行探究的前期基础略显薄弱，建议更详细地描述聚焦这几个影响因素的理论基础。

回应：感谢审稿人的宝贵意见。我们已将对于“影响因素探究的前期基础”的相关论述调整至引言部分，以明确对影响因素归纳的理论依据。我们对影响因素的归纳与划分，核心源于 Souza 和 Oberauer (2016) 提出的“回溯线索功能发挥依赖的核心特性”：时间进程、多项目资源分配、策略调控、抗干扰能力；在此基础上，结合对现有实证研究结果的系统梳理，进一步将影响因素具体归纳为“时程”“记忆项变化”“线索变化”“外部干扰”四大部分，且这四部分与上述核心特性形成直接对应，确保分类逻辑兼具理论支撑与实证依据。详见“1.引言”（正文第 1-4 页）

文中具体修改内容（第 2-3 页）：“可见，VWM 中内部注意选择的核心是对有限资源的分配与竞争。在这场“资源纷争”中，研究者认为回溯线索的功能发挥依赖四大特性：时间进程（Time course）（VWM 不同阶段的关键时间参数）；多项目资源分配（Splitting attention between multiple WM items）（多记忆项间的资源竞争）；策略调控（strategic control）（个体对认知策略的调整）；抗干扰能力（Resistance to distraction）（抵抗外部干扰以保障目标表征稳定）（Souza & Oberauer, 2016）。而与其对应的影响因素将改变回溯线索调控内部注意选择的效果。已有研究为此提供支持，如，内部注意选择优势会随线索和探测刺激间隔时间（Cue-Test-Intervals, CTI）的延长而增强，并在 400ms 时上升至最佳水平（Shepherdson, Oberauer, & Souza, 2018）；不仅如此，选择优势还会随记忆项目数的增多而下降，低记忆负荷时 RCB 显著高于高负荷（Gressmann & M. Janczyk, 2016），而且设置多线索条件时，个体同时对多个目标项分配资源，并通过 α 波对侧抑制为目标项获取资源，此时多线索条件下仍能产生 RCB，但显著低于单线索条件（Poch et al., 2017）；此外，有研究在 VWM 维持阶段引入掩蔽或任务干扰，发现回溯线索条件下均产生内部注意选择优势，且记忆表现显著优于存在干扰的中性线索条件（Lin, Sasin, & Fougine, 2021; Hajonides et al., 2020）。据此，结合对以往研究的梳理，本研究将影响内部注意选择优势的因素归纳为时间过程、记忆项目、线索变化与外部干扰四大维度，并在后续开展详细探讨。”

意见 7：“3.3 线索变化产生的影响”一节中，对线索类型、有效性、可靠性的讨论略显杂乱。建议分点或分小节展开，增强可读性。

回应:感谢审稿人的宝贵意见。我们已对 3.3 节内容进行优化,将其明确划分为“线索类型”与“线索数量”两大子因素展开论述。其中,“线索类型”部分从“线索有效性”和“选择对象属性”两个维度进行分类讨论,考虑到线索可靠性本质是线索有效性的出现概率,故将可靠性与有效性整合在同一维度下合并分析。具体修改内容详见“3.3 线索变化产生的影响”(正文第 16-18 页)。

文中部分代表性论证内容(第 16 页最后一段):“首先,回溯线索从线索有效性以及选择对象属性两大维度分类,不同类型线索通过调控 VWM 中注意分配策略与神经活动模式,对内部注意选择效果产生差异化影响。研究者根据设置线索提示项与目标刺激的是否一致,将线索分为有效线索和无效线索。根据研究目的和实验设计的差别,研究者可调节有效线索在任务中出现的概率,即线索可靠性。”

(第 17 页第二段)“除依据有效性分类外,前述基于维度与客体的回溯线索还会分别引发基于特征的注意(Feature-Based Attention, FBA)和基于客体的注意(Object-Based Attention, OBA),二者对内部注意效果的影响也存在差异。”

(第 17 页最后一段)“其次,回溯线索数量也会对内部注意选择效果产生复杂的影响。”

意见 8:作者在讨论基于特征的注意和基于客体的注意以及这两种注意对应的回溯线索机制时,并未对对应概念以及相关前人研究基础给出足够的介绍。建议先举例说明不同类型回溯线索的核心差别。并且从如何使用回溯线索的角度区分个体对不同类型回溯线索使用过程认知加工机制的差别。在针对不同类型回溯线索的讨论中,建议作者参考以下以往针对不同线索类型机制探究的工作完善这部分的讨论:

- Berryhill, M. E., Richmond, L. L., Shay, C. S., & Olson, I. R. (2012). Shifting attention among working memory representations: testing cue type, awareness, and strategic control. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*.

- Guo, L., Nie, D., Zhang, L., & Ye, C. (2025). Color First, Space Next, Orientation Last: A Temporal Comparison of Retro-Cue Effects in Visual Working Memory. *Memory & Cognition*.

回应:感谢审稿人的宝贵意见。根据您的建议我们做了如下调整和修改:

我们将线索类型的定义及差别调整至“2.2 状态维持:持续注意支持对记忆表征的激活与可访问性的调控”这部分进行阐述。这部分与基于客体和基于维度线索类型的划分高度关联,因此将相关内容整合于此可实现机制讨论与线索分类的紧密衔接。同时,我们根据您的建议优化了论述逻辑,在 2.2 节中,我们先明确两类型线索的核心定义,并举例说明二者在提示方式上的核心差别;再据此,深入讨论个体使用不同类型回溯线索时的认知加工机制差异,具体修改详见“2.2 状态维持:持续注意支持对记忆表征的激活与可访问性的调控”(正文第 7 页-10 页)

意见 9:在总结和展望部分,内容略显泛泛,如“深化变量操纵”“拓展应用领域”等。建议结合当前研究中存在的具体争议或空白,提出具体的未来研究问题。

回应:感谢审稿人的宝贵意见。我们对总结与展望部分进行了整体的修改。

首先,在总结部分,我构建了内部注意选择对 VWM 信息选择的三维认知模型,同时从认知和神经机制层面对全文内容进行总结。在展望部分我们对如下内容进行了论述:“4.1 基于主动抑制探寻内部注意选择假说的边界与冲突”、“4.2 探究复杂刺激下内部注意选择效果的神经调控机制与生态效度优化的路径”、“4.3 扩展对神经发育障碍群体内部注意选择的机制差异与潜在限制的探究”(详见正文第 24 页-第 27 页)。

意见 10:英文摘要需要进一步润色,语言表达应该符合英文语言习惯。例如“the retro-cue has

become an important paradigm that ...”

回应：感谢审稿人的宝贵意见。我们已对英文摘要的内容和表达进行了修改，（详见英文摘要，第 36 页-37 页）

文中具体修改内容：“**Abstract:** Visual working memory (VWM) is a fundamental system for the short-term storage and online manipulation of visual information, with its flexibility depending on the goal-directed allocation of internal attention. The retro-cue paradigm, which presents a cue following encoding but before the probe, is a key tool for indexing the retro-cue benefit (RCB) and revealing the selective advantage of internal attention. Building on the continuous-resource framework, we synthesize recent findings and argue that the emergence of the internal-attention advantage hinges on (i) the sufficiency of memory consolidation, which determines cue effectiveness; (ii) the degree of sustained attention, which maintains the activation of target representations; and (iii) enhanced decision information quality, which improves behavioral performance. Moreover, temporal dynamics, memory load and item characteristics, cue type, and external interference jointly modulate the efficiency of resource allocation and the stability of representations, thereby shaping internal-attention effects over time. On this basis, we propose a three-dimensional cognitive model that integrates the mechanisms producing the internal-attention advantage with the interacting factors that influence it. We also outline future directions, including the role of active inhibition, the processing of complex stimuli, and characteristic profiles of internal attention in neurodevelopmental conditions. These contributions offer a novel perspective on how internal attention flexibly governs the management of information within VWM.

Keywords: visual working memory; internal attention; internal-attention advantage; retro-cue; retro-cue paradigm”

意见 11：在摘要部分，作者提到：“视觉工作记忆在高级认知系统中起着核心作用，内部注意在其中承担着重要功能：一是在众多相关信息中确定处理的优先级；二是从无关信息中筛选出与当前任务相关的信息输入。”“从无关信息中筛选出与当前任务相关的信息输入”这个过程似乎不只是内部注意的功能体现，而是内部注意和外部注意协同合作的结果。请做修改。

回应：感谢审稿人的宝贵意见。我们已纠正了对内部注意选择的表述进行了修改，将原本摘要中对内部注意功能的描述修改为：“视觉工作记忆是短时视觉信息存储与在线加工的关键认知系统，其信息加工灵活性依赖内部注意的定向调控。”同时对摘要全文进行了重新撰写。详见“摘要”部分（正文第 1 页）。

意见 12：全篇文章统一名词，例如：准确率 vs. 准确性（前言第三段）

回应：感谢审稿人的宝贵意见。我们已将全文“准确性”统一为“准确率”进行表述。

意见 13：小标题名称命名。“3 内部注意选择效果产生的影响因素”。内部注意选择优势可能更准确。

回应：感谢审稿人的宝贵意见。根据您的建议，我们已对第 3 节标题进行修改

意见 14：文章中的两个图并未在正文中被引用，也缺乏对图示的详细解释。

回应：感谢审稿人的宝贵意见。针对该问题，我们已在正文中补充对图片的引用及详细阐释，详见“3.内部注意选择优势产生的影响因素”“4.总结与展望部分”

(1) 对于“RCB 产生的各影响因素间关系图”（图 1），我们在“3.内部注意选择优势产

生的影响因素”的最后一段总结部分补充引用，并在图下方以注解形式对图中各维度及交互关系进行了说明。

文中具体修改内容（正文第 20 页最后一段）：“总之，内部注意选择优势产生的各影响因素及其子因素均会对 RCB 产生作用。且各因素间并非独立，存在复杂交互效应，它们共同形成了 RCB 影响因素的复杂关系网络（见图 1）。”

（2）对于“内部注意选择对 VWM 中信息选择的三维认知模型图”（图 2），我们在“4. 总结与展望”的第一段进行引用。并在文中对模型进行了详细描述，并在图片下方添加小标注进一步明确各模块内涵。

文中部分代表性修改内容（正文第 21 页最后一段）：“综上所述，VWM 中内部注意选择优势的产生是多因素协同作用的结果，且各影响因素与认知机制存在紧密内在关联。本研究以内部注意选择优势产生的认知机制为核心，构建了内部注意对 VWM 中信息选择的三维认知模型（如图 2 所示），系统整合影响内部注意选择效果的关键变量，构建机制与因素交互下的理论框架。”

意见 15：内容表达。“视觉工作记忆 VWM”，中文名称和英文缩写名称重复，保留其一即可。

回应：感谢审稿人的宝贵意见。我们已对全文此问题进行检查和修改。

第二轮

审稿人 1 意见：

作者对第一轮审稿意见的认真回应和细致修改。目前文章在理论深度、结构整合以及概念澄清方面有了显著提升。特别是新提出的“内部注意对 VWM 信息选择的三维认知模型”为理解 RCB 的产生机制提供了一个全面的框架，是本文的一大亮点。文章的整体质量有了显著提高。

不过在一些细节和论证的严密性方面，仍有进一步完善的空间。我希望作者能再次仔细审阅以下几点，以确保文章的论点更加清晰、逻辑更加严密，并能充分支持所提出的新模型

意见 1：关于持续注意的必要性与神经机制阐释：文章第二部分对机制的探讨有了显著深入，特别是在 2.2 节中引用 Paluch 等人的研究来阐释持续注意的神经基础。然而，对于 Palurch 研究如何支持持续注意的“必要性”，而非仅仅是其“如何维持”不同优先级信息，仍需进一步澄清。作者的论述“该研究明确了持续注意通过动态调节神经元放电强度，实现对不同优先级记忆项差异化维持的作用。”本身是合理的，但它更侧重于机制的运作方式。“必要性”通常意味着如果没有它，功能就会受损或无法实现。这个证据更多地揭示了维持阶段的神经生理机制，而非持续注意本身作为整个内部注意选择优势产生过程中的“不可或缺性”？请将 paluch 研究的发现更明确地与持续注意在 VWM 功能中的不可或缺性联系起来，以强化其“必要性”的论证。

回应尊敬的审稿专家，感谢您的建设性意见。针对持续注意“必要性”阐释不足的问题，我们已针对性补充完善，具体修改如下：

首先我们明确早期认为“持续注意非必要”观点的原因：记忆优先级锁定后，随即可完成表征状态重构，记忆表征无需持续的神经元放电活动，而以“沉默状态”稳定保留，持续注意的参与也失去了必要性。

其次，以此为切入点构建论证框架。一方面反驳“表征处于沉默状态而无需持续注意”的观点，阐明持续注意对基于优先级的神经活动差异化维持的重要作用；另一方面反驳“表

征重构一次性完成后不再需要持续注意”的观点，强调持续注意支持干扰后内部注意选择过程的重建，以及维持反应准备信息的可用性的关键功能。基于此，我们明确了持续注意在维持阶段作为调控机制的不可或缺性，并已在文中补充相关论述以强化论证。具体修改内容详见“2.2 状态维持：持续注意支持对记忆表征的激活与可访问性的调控”（正文 10-11 页蓝色字体）

文中部分代表性论证内容（正文 10-11 页蓝色字体）：“持续注意的必要性还得到了认知神经电生理研究的支持，Paluch 等人（2025）采用双回溯线索范式，通过内侧颞叶（medial temporal lobe, MTL）图像选择性神经元记录发现，首个线索后，MTL 神经元对提示与非提示项均产生持续性放电。当第二个线索呈现且非提示项仍未被选为目标时，其神经元放电强度虽下降但仍显著高于基线。这表明非提示项未消失或“沉默”，而是以弱持续性放电形式维持其可访问性。结合持续性放电强度与工作记忆表现密切相关的研究结论（Daume et al., 2024），上述发现不仅证实持续性神经活动是信息存储的普遍机制，其强弱还受到注意焦点变化的调控，并与表征质量相关。持续注意使维持阶段基于优先级的神经活动差异得以稳定保持，避免目标与非目标表征在可访问性和决策利用上的差异被削弱，从而影响 RCB 的产生。这有力反驳了早期研究中“持续注意在内部注意选择中非必要”的观点，即记忆优先级锁定后，随即可完成表征状态重构，记忆表征无需持续的神经元放电活动，而以“沉默状态”稳定保留，持续注意的参与也失去了必要性（Myers, Stokes, & Nobre, 2017）。然而，这一观点的局限不仅在于对表征“沉默状态”的片面假设，更忽视了表征重构的动态性与脆弱性。优先级锁定与随之发生的表征重构并不构成可自动抵御后续干扰的终点状态。Gresch 等人（2025）表明，当 VWM 表征及其对应的反应准备在维持阶段受到干扰时，先前建立的内部注意选择优势会显著减弱。此时，RCB 难以仅通过一次性完成的表征重构得以维持，而需要内部注意在干扰后对 VWM 表征与反应准备进行重新选择。这一重选过程中，与视觉表征相关的后部 α 波侧化快速重现，实现注意重定向；而与反应准备相关的中央 β 波侧化则持续性增强，直至探测阶段，以维持可用的反应准备状态；即使在无干扰时，视觉选择信号仍呈瞬时性，而反应准备信号则持续存在（Gresch et al., 2025）。需要明确的是，尽管 α 波侧化是快速注意定向的表现，但它并不直接调控表征质量，也不能完全决定行为表现（Mössing & Busch, 2020）。因此，不仅反应准备需要在持续注意的调控下保持可用性，VWM 表征质量的维持也同样离不开持续注意的参与。

综上，行为与神经证据一致表明，持续注意作为控制机制，不仅在内部注意选择的早期部署阶段发挥关键作用，更通过稳定维持基于优先级的表征可访问性以及反应准备状态，在随时间推移或干扰条件下支持内部注意选择优势的保持与重建，从而对 RCB 的产生与稳定性具有不可或缺的意义。”

意见 2:关于目前三个方面机制的理论基础的考虑:文章强调内部注意选择优势的产生机制“基于连续资源模型”，这一点或许需要请作者进一步阐释和论证：**a.**请作者说明选择“连续资源模型”作为理论基础的具体原因和优势，以及它如何与文章提出的三个核心机制（记忆巩固、持续注意、决策信息质量）紧密结合。**b.**当前 VWM 领域存在多种理论模型，例如“基于状态”的模型（D'Esposito & Postle, 2015; arocque et al, 2014）在回溯线索研究中也得到广泛认可，请作者探讨，如果脱离“连续资源模型”，本文提出的这三个核心机制是否依然有效或需要调整？**c.**是否需要讨论，将研究建立在特定理论模型（如连续资源模型）之上，是否会影响本文对内部注意选择优势机制解释的泛化性？以及该选择如何与学界其他主流模型（如基于状态的模型）进行整合？

回应尊敬的审稿专家，感谢您的建设性意见。针对您关于“连续资源模型作为理论基础”的系列问题，我们已进行补充并完善论述，具体修改如下：

(1) 关于您提出的 a 问题：我们将“连续资源模型作为理论基础的具体原因和优势”的相关论述，调整至引言部分。文中补充说明了该模型能刻画内部表征质量的连续变化，以及可有效解释内部表征噪声与不确定性，分别对应其作为理论基础的原因与优势；且该模型作为理论基础契合“内部注意的选择效果主要体现为表征质量和记忆表现的程​​度差异，而非表征是否被存储”的特征，为全文机制探讨提供合理性的解释。具体修改内容详见“1.引言”（正文第 2 页最后一段蓝色字体）

文中代表性论证内容（正文第 2 页最后一段蓝色字体）：“此外，RCB 和 RCC 在目标选择中资源分配上的差异，可由连续资源模型提供有力的理论支撑。该模型强调 VWM 中的连续存储资源可被灵活分配，内部注意优先选择的记忆项将获得更多的资源（Gao, Zhang, & Zhang, 2023）。连续资源模型作为理论基础的主要原因在于，内部注意的选择效果主要体现为表征质量和记忆表现的程​​度差异，而非表征是否被存储，这在理论上要求模型能够刻画记忆表征质量随内部注意选择而发生的连续变化。在此基础上，连续资源模型展现出其关键优势，它能够将 VWM 中内部表征的噪声性视为有限资源约束下的内在属性，从而解释回溯线索范式下内部注意选择如何改变内部表征的不确定性。具体来说，VWM 的内部表征由于受神经噪声影响，导致其在试次间随机变异，并在表征层面表现为不确定性；认知加工并非对刺激属性直接读取，而是基于这些不确定性的表征进行推断，并在决策中逐步整合不确定性信息以指导行为（Bays et al., 2024）。在此框架下，针对线索引发的内部表征不确定性变化，连续资源模型可通过资源分配的梯度及其波动，解释不确定性的大小与变异，并借助神经和行为指标对目标与非目标表征间的精细权衡进行估计。”

另外，关于 a 问题中“模型与三大核心机制的结合”，以及 b、c 问题，我们将这三部分内容整合至文章“2.内部注意选择优势产生的机制”中并形成单独段落以集中论述（正文第 13-14 页蓝色字体）。

(2) 关于您提出的 a 问题中“模型与三大核心机制的结合”：该部分明确三大核心机制与模型的对应关系：记忆巩固反映资源逐步投入的连续进程，持续注意体现对资源分配结构化差异的稳定维持，决策信息质量则对应着资源分配结果向行为的转化，三者围绕“连续资源的动态调控与利用”形成完整论述。

文中代表性论证内容（正文第 13 页最后一段蓝色字体）：“整体而言，上述三大核心点协同解释了 RCB 的产生机制，基于连续资源模型，该机制可概括为内部注意通过线索对有限资源的动态重加权与持续调控，以及在决策层面的有效利用。从记忆巩固的本质来看，该过程并非瞬时的状态转换，而是资源逐步投入、表征不确定性持续降低的连续进程。Tomić 和 Bays（2024）基于回溯线索范式与动态神经资源模型的研究表明，刺激呈现初期感觉信号与 VWM 资源并存且动态整合，表征快速巩固且受负荷限制；随后感觉信号衰退、表征精度随噪声扩散下降，而回溯线索可触发资源重新分配并整合残留感觉信息，从而延续对目标表征的巩固，该结果表明，回溯线索可引导资源向目标项集中，使表征处于可进一步被神经增益调制与优化的范围。在维持阶段，连续资源模型进一步体现持续注意的核心功能在于稳定维持资源分配结构化差异，而非单纯改变资源总量。Li 等人（2025）通过线索操纵表征优先级，并结合生成模型与全脑分析发现，总体资源水平与维持期内分布式额-顶-颞网络活动相关，而资源优先化程度则依赖双侧上中央前沟（superior precentral sulcus, sPCS）及右侧后下颞叶皮层（posterior inferior temporal cortex, PIT）。其中，前额叶（prefrontal cortex, PFC）（尤其 sPCS）维持期活动的试次间波动可预测视觉皮层中不同优先级项目的解码精度差异，结合 PIT 参与视觉注意控制的既有证据（Stemmann & Freiwald, 2019），表明持续注意依赖额-顶-颞扩展控制网络，通过自上而下的反馈信号稳定维持基于优先级的资源配置与表征质量差异。另外，该研究还发现，线索触发的资源重分配及其伴随的神经增益调制，使高优先级项目的表征不确定性降低，并由此转化为更快的反应时和更小的记忆误差，揭示了

从内部表征质量到行为优势的连续映射关系。相关 EEG 研究观察到，线索呈现后中央顶叶正波（central parietal positivity, CPP）在决策启动前呈现逐步累积的动力学特征，其积累斜率随表征提取效率与决策速度的提升而增大，补充证明了在决策阶段内部表征信息通过渐进式证据积累机制转化为行为输出（van Ede & Nobre, 2024）。总之，巩固充分性、持续注意、决策信息分别体现着对连续且有限的 VWM 资源的投入、维持与转化。”

（3）回应 b 问题：我们在文中一方面表明了连续资源模型与主流模型（如基于状态的模型）之间的互补关系；另一方面，阐明三大机制的核心逻辑具备跨模型适配性，即便脱离连续资源模型，如基于状态模型，仍可通过对表征状态建立、稳定维持及再激活后信息可靠性的调控来理解上述机制，而无需改变机制本质。

文中代表性论证内容（正文第 14 页）：“值得强调的是，连续资源模型与基于状态模型并非相互排斥。基于状态模型关注记忆项不同表征状态的转换，而巩固充分性、持续注意与决策信息三大核心机制，分别约束了表征状态的建立、稳定维持及再激活后的信息可靠性。连续资源模型揭示了表征质量的“连续调控机制”；而基于状态模型则明确了表征的“状态转换路径”。”

（4）回应 c 问题：我们补充论述了 VWM 的加工瓶颈可发生在不同层面，不同理论模型在多层级功能体系中提供互补解释（Ngiam, 2024）。连续资源模型可在不同实验条件下与其他 VWM 模型整合，共同支持对内部注意选择机制的解释。强调本文机制框架不受单一模型局限，具备跨理论解释力，未影响解释的泛化性。

文中代表性论证内容（正文第 14 页）：“进一步而言，VWM 加工瓶颈可发生在不同层面，而不同模型也在 VWM 多层级功能体系中提供互补解释（Ngiam, 2024）。在此意义上，连续资源模型可在不同实验条件下与其他 VWM 模型实现整合，共同为内部注意选择机制提供支持。因此，本文提出的机制框架具有跨理论模型的解释力，以及对 RCB 影响因素的支撑力。”

意见 3：决策输出机制的证据支撑：2.3 中最后，Ding 等人的研究（2024）中，原文似乎并没有直接证据支持作者的论述“减轻该竞争对决策前信息积累和决策准备的干扰”，可能还需要额外的能区分决策过程的模型的结果来证明，看起来目前更多是作者对他们结果的一种推导。是否需要进一步补充阐释。

回应：尊敬的审稿专家，感谢您的建设性意见。您指出了 Ding 等人（2024）的研究证据与“减轻竞争对决策前信息积累和决策准备的干扰”这一论述缺乏直接关联的问题，我们已针对性补充完善，具体修改如下：

我们新增了 Ester 和 Nouri（2023）的研究作为支撑该论述的神经电生理研究证据，强化论证的严谨性：阐明额中线 θ 波通过增强认知控制调节竞争关系，稳定目标表征，避免刺激驱动的干扰导致目标选择偏离，支撑“减轻竞争干扰”的论述；同时进一步明确这种竞争调控最终会转化为决策准备的优化效果。具体修改内容详见“**2.3 决策输出：信息积累质量驱动内部注意选择行为表现的优化**”

文中代表性论证内容（正文第 13 页第一段蓝色字体）：“而且无效线索更易引发目标驱动的自主注意调控与刺激驱动的非自主注意调控间的竞争，但这并不意味着会引发决策信息积累的失败。EEG 研究表明，额中线 θ 波（4—7Hz）功率随该竞争中的认知控制需求升高而增强，且 θ 波增强并未伴随对非目标项的优先选择，而是与目标项获得优先加工的时间延迟显著同步（Ester & Nouri, 2023），反映 θ 波通过认知控制调节竞争关系，同步调控目标项加工的时间进程，而非对特定表征的选择性操控，以此来稳定目标表征，避免刺激驱动干扰对目标选择的偏离。并且，当目标表征被成功选择后，较高的 θ 活动还与后续更快的反应启动相关（Ding, Postle, & van Ede, 2024）。可见，额中线 θ 波通过调控竞争优化决策准备，确

保决策的准确与高效。”

意见 4: 摘要的句子可以优化提升可读性：“内部注意选择优势的产生以工作记忆巩固充分性决定线索效用为前提，不同程度的依赖持续注意以维持目标表征激活，并通过提升决策信息质量来优化个体记忆表现。”

回应: 尊敬的审稿专家，感谢您的建设性意见。针对摘要中该句子的可读性优化问题，我们已按您的建议进行修改。

对应文中修改内容（第 1 页蓝色字体）：“本研究以连续资源模型为理论基础，系统梳理相关研究发现：内部注意选择优势的产生首先受制于工作记忆巩固程度，其决定线索效用的发挥；在此前提下依赖持续注意维持目标表征的激活，并通过提升决策阶段信息质量促进记忆表现。”

意见 5: 引言中行为与神经机制推导的过渡：引言第二段中关于“可见”部分的推导：“可见，RCB 反映内部注意对目标表征的正向调控优势，表明内部注意可灵活调节 VWM 表征的加工优先级通过导 WM 资源向目标表征集中，激活其对应神经编码区域并优化神经编码质量，进而提升记忆表现。“从行为表现（记忆表现显著优于中性线索）直接推导到神经机制（激活对应神经编码区域并优化神经编码质量），中间的逻辑跳跃略大。为了使读者更容易理解，请考虑在该推导前补充一些信息。”

回应: 尊敬的审稿专家，感谢您的建设性意见。您指出了引言中从行为表现到神经机制的推导存在逻辑跳跃的问题，我们已针对性补充信息、完善逻辑关系，具体修改如下：

我们在提及 RCB 与 RCC 涉及神经机制内容前新增了关于记忆表现差异依赖线索引发的注意网络激活及感觉皮层调控的衔接信息作为铺垫。对应文中具体修改内容（第 2 页第一段蓝色字体）：“在该范式中，线索有效性调控 VWM 表现，当线索有效（指向待测试项目位置）时，个体记忆表现（如准确率、反应时）显著优于中性线索（无指向性）条件，该现象被称为“回溯线索效益（Retro-Cue Benefit, RCB）”（Fu et al., 2022）。当线索无效（指向非测试项目位置）时，记忆表现较中性线索条件受损，即“回溯线索损耗（Retro-Cue Cost, RCC）”。而这种记忆表现的差异依赖于线索引发的内部注意选择会激活内、外部注意共享注意网络及其特有的神经网络，并调控与 VWM 表征相关的感觉皮层活动（Myers, Stokes, & Nobre, 2017）。可见……”

意见 6: 引言第二段中“但 RCB 比 RCC 更直接体现内部注意对目标表征的优先选择，因此对内部注意选择优势的探究，就是对 RCB 产生机制的观察。”此处的因果关系表达不是很好理解。

回应: 尊敬的审稿专家，感谢您的建设性意见。您指出了引言中该句因果关系表达不易理解的问题，我们已针对性优化表述、明确逻辑关联，具体修改如下：

我们删除了原句中略显笼统的表述，调整了论述逻辑，先明确 RCB 与 RCC 的核心区别，再建立其与“内部注意选择优势”的关联。同时着重强调 RCB 的核心特征是将认知资源集中于目标表征，以此实现高效的记忆加工，这一特征与内部注意选择“优势”的核心内涵直接对应。从而自然得出“探究内部注意选择优势就是对 RCB 产生机制的观察”的结论。

对应文中修改内容（第 2 页第一段蓝色字体）：“二者共同证实，内部注意选择兼具目标指向性与资源分配调控能力，但与 RCC 所反映的“资源向非目标项分散”不同，RCB 更直观体现资源权重向目标项倾斜的特征，使其在较低代价下被优先加工并前瞻性地转化为有益于后续探测的表征格式。这恰是内部注意选择的“优势”所在。因此对内部注意选择优势的探究，就是对 RCB 产生机制的观察（付凯，2020）。”

意见 7: 在文章第 8 页第一段, 首次提及“SOA”时 (“无论 SOA 长短, 干扰都会显著削弱维度线索的 RCB”), 请补充其全称

回应: 尊敬的审稿专家, 感谢您的建设性意见。针对您的意见我们已在文中首次提及 “SOA” 处补充英文全称及缩写。对应文中修改内容 (第 8 页最后一段蓝色字体): “研究发现, 无论**线索与干扰呈现间隔 (Stimulus Onset Asynchrony, SOA)** 的长短与否, 干扰都会显著削弱维度线索的 RCB (Liu et al., 2023)”

意见 8: 记忆项目变化部分的结构与焦点: 在 3.2 节“记忆项目变化产生的影响”中, 总领句“当前研究主要围绕记忆项目的数量与特征展开, 进而引发记忆感知特征及记忆负荷对内部注意选择? 果的相关讨论。”与后续段落的组织顺序不完全匹配。目前是先讨论“感知特征属性”, 再讨论“记忆负荷”。建议将段落顺序调换。此外, 在讨论记忆项目 (数量和特征) 产生的影响时, 请更明确地阐释这些变化如何具体影响 RCB 的产生和调节, 而不仅仅是影响“内部注意的选择性维持机制”, 以增强与文章核心主题的关联度。

回应尊敬的审稿专家, 感谢您的建设性意见。尊敬的审稿专家, 感谢您的建设性意见。针对 3.2 节内容提出的问题, 我们已进行优化与修改, 具体如下:

(1) 调整段落结构与总领句对应关系: 我们根据总领句的逻辑顺序重新组织了段落结构, 先阐述记忆负荷的影响, 再讨论记忆项感知特征的作用, 使总领句与后续论述在逻辑上完全一致。

(2) 强化论述感知特征属性对 RCB 影响的关联: 首先, 我们对相应论述段的首句进行修改明确指出二者的显性关联。其次, 在具体论述中不再停留于描述感知特征属性如何调控内部注意的选择性维持机制, 而是进一步将该过程明确对应到 RCB 的增强或削弱这一核心结果; 再次, 在段落尾部综合行为和神经机制研究的研究证据与解释, 概括并阐明感知特征属性影响 RCB 的内在逻辑, 确保论述始终围绕核心论点和主题展开。

对应文中修改内容 (正文第 16-18 页):

“3.2 记忆项变化

记忆项变化是回溯线索范式变式中首要的元素改变。当前研究主要围绕**记忆负荷和记忆感知特征对内部注意选择效果的影响**展开。

一方面, 记忆负荷通过影响记忆项内内部干扰, 调控 RCB 发挥, 以及信息进入决策过程的质量与非决策时间。过往研究表明, 记忆负荷升高会降低识别策略的速度与准确率 (Gressmann & M. Janczyk, 2016; van Moorselaar, C. N. Olivers, et al., 2015; Vandenbroucke et al., 2015), 而回溯线索可通过明确内部注意分配方向, 减轻信息维持和处理难度, 且作用模式随负荷变化: 低负荷时促进目标记忆, 高负荷时抑制干扰 (Han & Ku, 2022)。这一过程与右侧顶内沟 (intraparietal sulcus, IPS) 功能动态相关。低负荷下有效线索抑制右侧前 IPS 的负荷敏感激活, 强化对目标项的注意选择; 高负荷下右侧后 IPS 仍存在对非目标项的残留表征激活, 线索需通过抑制非目标项的干扰以维持 RCB (Trapp & Lepsien, 2012)。需注意的是, RCB 并非随负荷升高持续增强。Shepherdson 等人 (2018) 设置 2、4、8 个记忆项目发现, 当记忆项超出 VWM 容量时, RCB 严重削弱, 无效线索引发显著 RCC。这说明, 过高的记忆负荷会增加 VWM 的资源损耗, 信息存储与提取受项目间干扰增大, 决策相关信息的混淆或错误增多, 致使 RCB 减少, RCC 上升。同时, 负荷升高会降低漂移率 (反映表征质量)、延长非决策时间 (反映表征提取效率) (Smith et al., 2016; Sewell et al., 2016), 表明负荷通过降低信息积累效率与质量影响决策。高记忆负荷意味着 VWM 中保留信息增多, 单个表征的质量可能下降, 导致参与者在探测测试中判断记忆项表征的耗时增加。尤其在对速度和准确率双重要求下, 记忆负荷增加使任务变得更加困难, 影响 RCB 的产生。

另一方面, 记忆项的感知特征属性通过调控内部注意的选择性维持机制对 RCB 产生影

响 (Fan et al., 2021)。Sasin 和 Fougne (2020) 指出, 内部注意可在特征层面对 VWM 表征进行选择维持, 使被提示特征获得优先加工, 但这一过程并不必然意味着非提示特征被有效抑制。Chen 和 Ye (2024) 等人进一步探讨了这一现象, 当回溯线索提示同一客体的某一特征而需要忽略另一特征时发现, 简单特征 (如颜色、简单形状) 作为提示特征时比复杂特征 (如多边形) 更易被主动维持, 引发更显著的 RCB; 但当它作为非提示维度时, 却更难被忽视或抑制, 这类特征在后续引入的搜索任务中作为无关特征重现时, 仍会捕获注意并产生显著干扰, 反而削弱 RCB。相反, 复杂特征为非提示特征时, 则不易出现此类干扰效应, 对应 RCB 也更显著。这说明 RCB 的变化可由记忆项感知特征属性通过调控内部注意的选择性维持机制所驱动, 而这种选择性维持的差异, 本质上可通过不同特征属性引发的整合效率与资源需求加以解释。ERP 证据显示, 高度整合的多特征客体在编码与选择阶段的加工效率更高, 并在维持阶段形成更为稳定的神经表征状态, 表现为编码阶段后部对侧正波 (posterior positivity contralateral, PPC) 降低, 注意选择阶段 N2pc 增强, 以及维持阶段更稳定的对侧延迟活动 (contralateral delay activity, CDA) (Chen, Töllner et al., 2024)。并且, 记忆项整体复杂度的升高伴随枕叶 P2 的增强, 提示后部脑区需投入更多神经资源以完成对复杂刺激的感觉过滤与编码 (Cepeda-Freyre et al., 2020)。综合上述研究, 共同为 RCB 的变化提供了统一解释: 简单特征因整合效率高而在被提示时迅速获益, 但在作为非提示特征时也更难被移除, 持续占用资源并削弱 RCB; 而复杂特征依赖注意加工对细节信息的整合, 需要更多注意资源、整合效率与表征稳定性更低, 在作为非提示特征时更易从 VWM 中衰减或移除, 减少后续的资源竞争和干扰并增强 RCB。此外, 记忆项特征与内部注意选择是一个动态的过程, 随着时间的推移和任务要求的变化, 内部注意会根据记忆项特征的重要性和相关性进行调整。”

意见 9: 图 2 挺有创新性的、不过可能很难增加读者的理解、比如, 读者通常习惯于将“因素”视为独立的变量 (点或轴), 而将“初制”或“交与”视为关系, 这里将“机制”和“交与”设为顶点, 而将“影响因素”设为面, 这种映射方式在认知上不是最直观的。通常一个“面”代表的是三个顶点之间的某种关系或共同影响。这个请作者考虑

回应: 尊敬的审稿专家, 感谢您的建设性意见。针对您指出的认知模型图在映射关系上不够直观的问题, 我们对图示结构与说明方式进行了系统性调整, 具体如下。

(1) 图示整合与结构优化: 我们将原图 1 (RCB 产生的影响因素关系图) 与原图 2 (内部注意对 VWM 中信息选择的认知模型) 进行整合, 合并为新的图 1。在保留两幅图核心信息的基础上, 通过统一结构呈现, 使影响因素与核心机制之间的关系更加集中和清晰。

(2) 图中元素与关系的重构说明: 在整合后的认知模型图中, 我们以蓝色圆表示各影响因素及其子因素, 以橘色圆表示 RCB 产生的核心机制, 并在其外围标注对该机制起主要调节作用的影响因素; 同时, 通过单向箭头与双向箭头分别表示方向性影响与相互作用关系, 并在图注中明确说明各类元素与关系的含义。

对应文中修改内容 (正文第 23 页):

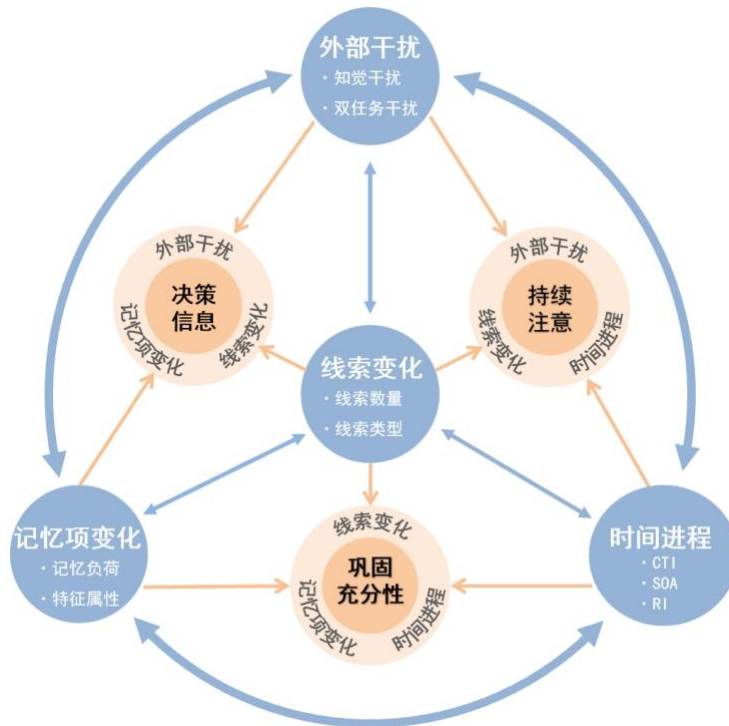


图 1 内部注意对 VWM 中信息选择的认知模型图

注：（1）橘色圆形表示 RCB 产生的核心机制，其外围标注为各机制受到的主要影响因素；（2）蓝色圆表示影响 RCB 的关键因素及其子因素；（3）单向箭头表示方向性影响关系，双向箭头表示相互作用关系。

审稿人 2 意见：

该论文经修改后有很大的提高，为进一步完善可参考以下内容进行修改。

意见 1: 引言部分, 第三页第二段作者以两篇代表性研究 (Shepherdson et al., 2018; Niklaus et al., 2019) 为例来展示 RCB 在准确率层面缺失的不同情形, 根据这两篇研究, RCB 缺失的原因有: 刺激表征层面, 任务结构层面, 加工机制层面, 而作者只总结了其中两种, 建议修改。这段内容从材料类型、呈现方式、记忆负荷的影响, 到跨材料、跨任务均存在, 进而提出多因素整合视角, 引出本文的模型建构, 完善语言表达, 使文章更加流畅。

回应: 尊敬的审稿专家, 感谢您的建设性意见。针对您指出的引言部分中 RCB 缺失原因总结不够全面、论述有待优化的问题, 我们主要通过细化实验设计描述并强化研究间的对比逻辑, 对相关内容进行了系统性修改, 具体如下:

首先, 我们对 Shepherdson 等人 (2018) 的实验操纵进行了更为清晰和完整的呈现, 明确其关键变量设置, 包括刺激材料类型 (字母/单词)、记忆负荷梯度 (1-8 个项目)、CTI 时长 (100/400/2000 ms), 以及刺激呈现方式 (同时呈现/顺序呈现)。

其次, 我们相应补充并梳理了 Niklaus 等人 (2019) 研究中与前述研究可直接对照的关键变量设置, 重点强化两项研究在实验设计层面的对比逻辑。具体而言, 修改中突出其通过统一顺序呈现方式、固定 CTI (500ms) 与记忆负荷 (5-6 个项目), 并通过操纵刺激间隔等来调整任务结构, 从而体现对部分因素的控制与改变。

最后, 通过对上述两项研究在材料类型、呈现方式、记忆负荷及任务结构等多个层面的

精细化对比，系统概括并总结 RCB 在准确率层面缺失的多维度原因，并进一步指出该现象在跨材料、跨呈现方式及跨任务条件下均可能出现。在此基础上，自然引出从多因素整合视角理解 RCB 产生机制，并结合产生机制与影响因素构建认知模型的研究思路。

对应文中修改内容（正文第 4 页第二段蓝色字体）：“根据前述观点，内部注意选择优势的产生并非由单一要素主导，而是相对复杂的过程，因此其表现差异的原因也不可一概而论，应基于核心机制与影响因素共同作用的多维视角分析。Shepherdson 等人（2018）通过操纵刺激材料（字母或单词）、记忆负荷（1-8 个项目），以及 CTI（100/400/2000ms）发现，同时呈现字母时，线索条件下记忆准确率和反应时均存在 RCB；而顺序呈现单词时，无论 CTI 与记忆负荷如何改变，RCB 仅体现在反应时上，准确率层面则未出现。该研究推断 RCB 的缺失可能源于刺激材料表征类型的差异，但其忽略了刺激呈现方式的潜在影响。随后，Niklaus 等人（2019）分别以单词或彩色圆形作为记忆项，统一采用顺序呈现方式，同时通过固定 CTI（500ms）与记忆负荷（5-6 个项目）、改变刺激间隔等调整任务结构设置，结果仍显示 RCB 仅体现在反应时而非准确率上。这说明 RCB 在准确率层面的缺失或削弱不仅涉及刺激表征类型和呈现方式，也与任务结构甚至是加工机制差异密切相关。因此，本研究尝试结合内部注意选择优势的产生机制和影响因素构建认知模型，整合其内在关联，为明确 RCB 产生和优化的条件及机制提供关键支持。”

意见 2：第三部分“3 内部注意选择优势产生的影响因素”的小标题，是否可改进。1. 使用名词小标题，例如：时间进程，记忆负荷与特征属性，线索类型与数量。或者 2. 名词+对内部注意选择的影响，例如，时间进程对内部注意选择的影响。

回应：尊敬的审稿专家，感谢您的建设性意见。结合您指出的两种小标题优化思路，并综合考量本文第三部分各小节的核心研究内容与逻辑层次，我们已对该部分的小标题进行了调整与完善，均使用名词小标题。

对应文中修改内容：“**3.1 时间进程、3.2 记忆项变化、3.3 线索变化、3.4 外部干扰**”

意见 3：第 3 页，作者提到“通过 α 波对侧抑制为目标项获取资源”， α 波是一段神经振荡，其反映特定的行为和认知状态，建议更改此处表达。此外，前文（引言第一段中）提到侧向抑制，这两者是否相同含义，如相同请表达一致。

回应：尊敬的审稿专家，非常感谢您针对本文 α 波相关表述及“侧向抑制”概念一致性提出的精准且专业的建议。您的这一建议帮助我们修正了表述上的疏漏，进一步提升了本文内容的科学性与严谨性。我们非常认同您的观点， α 波作为特定频段的神经振荡，其功能体现为与认知状态相关的神经活动调控，文中对与其相关的表述不够严谨，易造成读者的误解。因此，我们删除了原句中“ α 波对侧抑制”以及“侧向抑制”的表述，分别将其修改为：“**而且设置多线索条件时，个体需为多个目标项分配资源，并通过**对无关信息的抑制性调控来维持目标项的优先加工，使多线索条件下仍能产生 RCB，但显著低于单线索条件（Poch, Carretie, & Campo, 2017）”（正文第 3 页第二段蓝色字体），以及“**RCC 则体现内部注意偏离目标时的选择代价，如非提示项神经区域活动增强，通过资源竞争或抑制性调控削弱目标表征的神经编码强度。**”（正文第 2 页第一段蓝色字体）。

意见 4：“顶叶 α 波（8-14Hz）”频段范围的说明出现在 20 页，应放在首次出现 α 波的地方，标注一次即可。图 2 注释把四个面的英文缩写与中文对照再核对一次，避免读者误读，例如，D 为决策信息，是 decision 而不是 Design。

回应：尊敬的审稿专家，感谢您的建设性意见。根据您的 α 波频段标注位置，以及图 2 注释

所提出的细致建议，我们已进行了针对性优化：

(1) 关于 α 波频段范围的标注位置：我们已将“ α 波 (8-12 Hz)” 的频段说明调整至文中第 9 页 α 波首次出现处，同时删除了原文中重复的频段标注，确保信息呈现的准确性与简洁性。

对应文中修改内容（正文第 9 页第二段蓝色字体）：“表现为线索呈现后 200 ms 顶枕叶 α 波 (8-12 Hz) 侧化显著并伴随向目标客体位置的注视偏向，同时可观察到顶枕叶对同一客体特征间的注意扩散”

(2) 关于原文图 2 注释的英文缩写问题：我们对原图 1（RCB 产生的各影响因素间关系图）与原图 2（内部注意对 VWM 中信息选择的三维认知模型）进行了合并调整，形成了新的整合图，即修改后的图 1（内部注意对 VWM 中信息选择的认知模型图）。新图不再沿用原顶点的英文标识，而是通过 RCB 产生机制与影响因素之间的逻辑关联，直接呈现内部注意对 VWM 信息选择的影响因素与认知过程，因此相应删除了原注释中的英文及其缩写内容。

对应文中修改内容（正文第 23 页）：“

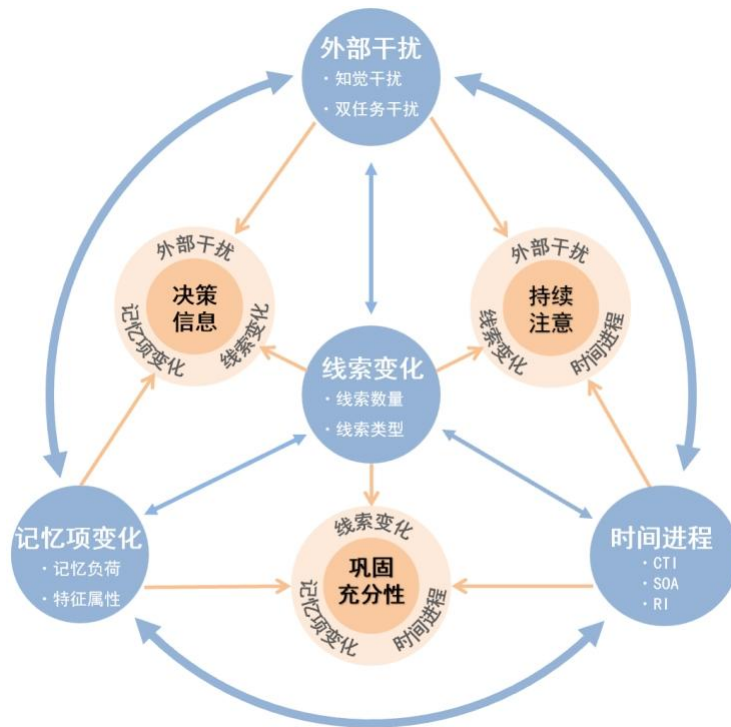


图 1 内部注意对 VWM 中信息选择的认知模型图

注：(1) 橘色圆形表示 RCB 产生的核心机制，其外围标注为各机制受到的主要影响因素；(2) 蓝色圆表示影响 RCB 的关键因素及其子因素；(3) 单向箭头表示方向性影响关系，双向箭头表示相互作用关系。”

意见 5: 第 14 页第一段 (p.14), 有书写错误, (Han & Ku, 2022; Pertzov, Bays, Joseph, & Husain, 2013), 最后的年份带有删除线; 也有掉字问题, 如“准率”; 语病问题, 第 21 页第二段 (p.21), “记忆巩固 (C) 是回溯线索发挥作用的前提, 它通过将瞬时视觉信号转化为稳定表征, 塑造后续注意选择表征的“基础状态”, 仅当表征不充分巩固时, 线索发挥其通过定向与选择提升目标表征优先”。

回应: 尊敬的审稿专家, 感谢您的建设性意见。您针对本文文字错误与语病问题提出的细致

指正，帮助我们大幅提升了文本的严谨性与通顺度。针对您指出的问题，我们已逐一修正：

(1) 文献书写错误：我们已将带有格式错误的文献进行修正，同时根据文献引用规范对引用文献格式进行修改。

对应文中修改内容（正文第 16 页第一段蓝色字体）：“充足的 SOA 可使回溯线索保护和稳定目标表征质量，降低外部干扰影响（Han & Ku, 2022; Pertzov et al., 2013）。”，

(2) 掉字问题：将“准率”补充完整为“准确率”，并对文中类似问题进行了检查和修正。

对应文中修改内容（正文第 4 页第二段蓝色字体）：“而顺序呈现单词时，无论 CTI 与记忆负荷如何改变，RCB 仅体现在反应时上，准确率层面则未出现。”

(3) 语病问题：我们已对病句问题进行修改，补充了成分缺失的内容，使语句逻辑更通顺、表意更完整。

对应文中修改内容（正文第 23 页第二段蓝色字体）：“巩固充分性是回溯线索发挥作用的前提，它通过将瞬时视觉信号转化为稳定表征，塑造后续注意选择表征的“基础状态”，仅当表征未充分巩固时，线索才能通过定向与选择提升目标表征的优先级。”

第三轮

审稿人 1 意见：

作者已经较好的回答了我的问题，建议录用发表。

意见 1： 审稿意见答复中还有个错误，“3.1 时间进程、3.2 记忆项变化、3.3 记忆项变化、3.4 外部干扰”，因审稿意见也要挂网，所以建议纠正。

回应： 尊敬的审稿专家，感谢您的宝贵意见。我们已对审稿意见回复中标题重复的错误进行了核对与修正，确保全文结构标题规范统一、无标注错误。

具体修改如下：

“3.1 时间进程、3.2 记忆项变化、3.3 线索变化、3.4 外部干扰”

审稿人 2 意见：

作者已针对上一轮的审稿意见进行了全面且深入的修改。修改后的稿件在理论深度和逻辑严密性上有了显著提升。特别是文章将“连续资源模型”作为理论基础引入，并细致阐述了该模型作为理论基础的必要性与适配性。关于“持续注意必要性”的补充论证引用了最新的神经生理学证据，逻辑链条完整。此外，重构后的“内部注意对 VWM 中信息选择的认知模型图（图 1）”结构清晰、逻辑自洽，极大地提升了文章的可读性与理论整合度。

另外一点关于格式、文本流畅性的小建议：

意见 1： 引言最后一段 & 4. 总结部分：文中出现了“（付凯 et al., 2020）”这种写法，需要明确到底是英文还是中文引用；此外，建议统一中英文人名与中文“等人”之间的空格式。

回应： 尊敬的审稿专家，感谢您的宝贵意见。针对文献引用格式和文中空格的问题，我们已对全文进行了统一规范，具体修改如下：

(1) 已将文中不规范的中英文混合引用格式统一修改为标准中文引用格式，确保引用格

式清晰规范。

文中代表性内容如下：“个体倾向选择对行为结果最有益且执行便利的方式处理被内部注意选择或未选择的项目（付凯等，2020）。”（正文第4页第2段）

“巩固时间（Consolidation Time, CT）是衡量该状态的关键指标（龙芳芳等，2019）。”（正文第5页第2段）

“根据现有研究，外部干扰可分为知觉干扰和双任务干扰（潘志虎等，2024）。”（正文第21页第1段）

“持续注意是指个体在相对单调的任务中，随时间推移维持对任务的注意力和参与度的控制过程（王一峰等，2025）。”（正文第8页第2段）

有研究发现基于客体回溯线索无干扰条件与无回溯线索干扰条件下的记忆精度无显著差异，说明干扰没有破坏VWM原始表征（叶超雄等，2020）。”（正文第9页第2段）

（2）已删除全文中英文人名与“等人”之间多余的空格，统一了空格格式。

文中代表性内容如下：

“Paluch等人（2025）采用双回溯线索范式……”

“叶超雄等人（2020）通过操纵回溯线索与探测呈现的关系验证了这一机制。”

意见 2: 2.1 表征待命：“这补充说明了，RCB 削弱不只是来自表征完全巩固或无巩固，而是其顺序呈现中引发的巩固过程竞争，也会影响 RCB 的产生。”不只是……而是……也会这样的逻辑连词，不是很符合中文学术写作习惯。建议作者通读全文，对文章整体的流畅度进行润色提升。

回应：尊敬的审稿专家，感谢您的宝贵意见。针对文中语句逻辑衔接不够合理的问题，我们已对相关句式与连接词进行了优化调整，使表达更符合中文学术写作规范。同时，我们已按照专家建议通读全文，从语句逻辑、语法规则、用词精准性与行文流畅度等方面对全文进行了统一润色与完善，相关修改内容已在文中以绿色字体标注。

文中代表性内容如下：

“这补充说明了，RCB 的削弱不只是来自表征完全巩固或无巩固，在顺序呈现条件下，巩固过程本身引发的竞争，同样会影响 RCB 的产生。”

编委 1 意见：同意发表。

编委 2 意见：同意发表。

主编意见：稿件经过多位专家的审阅，作者进行了认真的修改，达到了发表水平，同意发表。