

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：注意力在基于价值决策中的计算机制：加法模型与乘法模型的动态调控

作者：周雨璇，杨依琳，黄建平

第一轮

审稿人 1 意见：

本文围绕“注意究竟通过何种计算方式塑造价值决策？”这一核心问题展开，对乘法机制与加法机制进行了较系统的梳理，并尝试提出“时间×信息层级”的整合框架，以解释既有研究之间的表面分歧。本文具有明确的问题导向与理论整合意识，体现出一定的理论推进价值。有如下问题供作者在修改中参考：

意见 1：本文围绕“乘法机制”与“加法机制”展开讨论，但目前尚未明确两类机制在英文文献中的对应术语及其理论来源。已有研究的表述是否更集中于“multiplicative effect”以及“additive effect”？

回应：尊敬的审稿人，非常感谢您提出关于“乘法机制”与“加法机制”英文术语及理论来源的重要问题。根据您的建议，我们重新查阅了相关文献，并对原稿中的术语表述进行了进一步规范。

目前关于注意如何影响价值决策的研究中，相关文献更常使用“multiplicative interaction”“multiplicative effect”或“multiplicative model”等术语，用以描述注意对价值信号的增益调节；相对地，也有研究使用“additive effect”“additive bias”或“additive model”等术语，用以描述注意提供一种相对独立于价值大小的固定偏移或方向性推动。

如 Smith & Krajbich (2019) 中提到：

(1) “Thus, according to this **multiplicative model**, attention to higher value options exerts a greater effect on choice.”

(2) “Another model, the attentional DDM (aDDM), suggests an interaction between the values of the options and the degree to which **attention influences** the evidence-accumulation process.”

(3) This **additive model** posits that gaze is indicative of the decision maker's instantaneous bias toward an option...”

(4) “The **additive model** maintains that gaze provides a fixed bias in the comparison process...”

基于上述文献内容，我们在修订稿中统一采用“乘法机制（multiplicative interaction/effect/model）”与“加法机制（additive effect/bias/model）”的表述，并进一步补充了其对应理论来源与代表性研究，以避免术语使用上的歧义，详见引言，536-537 行与 541-542 行。

意见 2：Westbrook 等人(2020)的研究认为，在决策早期，注意影响选择；而在决策后期，注意可能反映了个体已经形成的选择。那么，后期注意究竟是在推动选择（注意影响选择），还是在反映已经趋于稳定的选择结果（选择影响注意）？建议作者对两种可能性进行更充分讨论。

回应：尊敬的审稿人，非常感谢您提出这一重要问题。我们同意，关于决策后期注意效应的因果方向，需要进一步区分“注意推动选择”与“选择反过来影响注意”两种可能性。因此，我们在修订稿中进一步补充并明确了不同阶段中注意与选择的关系。

详见 4.4 章，816-825 行，具体内容为：“在决策早期，注意更可能直接参与价值比较与证据积累。例如，aDDM 及相关研究认为，被注视选项的价值会在积累过程中获得更高权重，因此注意会通过放大价值信号影响后续选择形成 (Krajovich et al., 2010; Smith & Krajovich, 2019)。然而，随着证据逐渐积累并接近决策阈值，注意效应的性质可能发生变化。

Shimojo 等 (2003) 提出的“凝视级联效应”表明，在决策临近时，个体注视会迅速集中于最终被选择的选项。Westbrook 等 (2020) 进一步指出，后期注意与价值的关系可能由早期更偏向乘法性交互，逐渐转向更接近加法性的偏移。也就是说，在决策后期，注视行为可能不再主要体现为对价值信号的持续放大，而更多反映系统内部已经形成的选择倾向。与此同时，Cavanagh 等 (2014) 也提出，部分后期注意效应可能更接近于选择收敛、决策承诺以及动作准备过程，而不仅仅是持续性的价值增益。”

意见 3：图 1 中提出“中间过滤阶段”，但文章中并未进行解释这一阶段，中间过滤阶段是怎么发生的？为什么是两种机制并存、可转换的动态过程？

回应：尊敬的审稿人，非常感谢您提出这一重要问题。我们同意，原稿中对于中间过滤阶段的定义与形成机制说明不够充分，容易使其看起来像一个描述性概念，而缺少明确的理论依据。因此，在修订稿中，我们进一步补充了该阶段的操作性定义及其理论来源，将中间过滤阶段更加细致的进行了描述。

总的来说，从早期乘法增益转变为晚期加法推动，并非是一个瞬时过程，因此，“中间过滤阶段”，主要用于描述这一由分散积累逐渐转向收敛积累的过程，随着证据逐渐积累，不确定性开始下降，决策过程从开始广泛的信息采样转向对少数关键选项与属性的集中比较 (Sullivan & Huettel, 2021; Lee & Hare, 2023)。

详见 4.4 章 799-809 行：“与此同时，越来越多研究表明，这种价值增益过程并不完全依赖外显注视。价值导向注意研究发现，高价值刺激即使未被直接注视，也更容易优先吸引注意资源 (Anderson et al., 2011)。这些结果提示，在决策较早阶段，隐性注意也可能通过优先增强高价值信息的加工与积累，参与乘法式的价值增益过程。随着证据积累持续推进，系统内部的不确定性逐渐下降，注意分配也开始由早期较为分散的信息采样，逐渐转向对少数关键选项与属性的集中比较 (Lee & Hare, 2023; Sullivan & Huettel, 2021)。在这一过程中，部分低相关或低权重信息会逐渐被过滤，决策系统也逐渐由开放式比较转向选择收敛。因此，中间过滤阶段并不意味着乘法机制已经消失，而更可能表现为：价值增益过程仍在继续，但与当前选择方向一致的偏移过程开始逐渐增强。换言之，这一阶段更接近一种乘法与加法机制并存的动态状态，而非两类机制在固定时间点上的突然切换。当证据逐渐接近决策边界，且注意更多作用于整合层时，其行为效应则更容易表现为一种与当前选择方向一致的加法性偏移，即不再主要通过持续放大价值信号影响决策，而是更多参与推动证据积累向某一方向收敛，并稳定已经逐渐形成的选择倾向 (Cavanagh et al., 2014; Westbrook et al., 2020)。”

意见 4：建议作者通读全文，提升语言表达的准确性与流畅性。目前部分语句存在表达不够通顺的问题。例如：122 行，这一视角将研究重点从“价值比较”推进到“价值在决策过程在如何被逐步组织”；311-312 行，“对于……可以表示为……”非常别扭；337 行，“累计”还是“累积”？

回应：尊敬的审稿人，非常感谢您指出语言表达上的问题。规范的语言表述是文章的基本要求，在您的指导下，这篇语言的文章更加的专业升华，对此我们进行全文的通读审查，尽可能的将所有的错误进行修正，例如：

（1）原文“这一视角将研究重点从‘价值比较’推进到‘价值在决策过程在如何被逐步组织’”已修改为：“这一视角将研究重点从“单纯比较不同选项的价值大小”，扩展到“价值信息如何在决策过程中被采样、加权与整合”，并凸显了注意在连接信息采样与决策形成中的关键作用。”

（2）原文“对于决策阶段操作性划分可以表示为……”已修改为：“在操作性上，决策阶段可划分为：“从操作性角度看，决策早期通常对应证据尚未接近阈值、系统仍处于广泛信息采样与权重分配的阶段；而在决策后期，随着证据逐渐逼近阈值，系统内部的选择倾向开始稳定，决策过程也逐渐由开放式比较转向收敛性选择（刘逸康 & 胡传鹏, 2024）。与此一致，证据积累过程中的参数（如漂移率）也可能随时间动态变化（Lombardi & Hare, 2021）。”

（3）已将全文中出现的“累计”的词进行全文修改，改为“累积”，以及“证据积累”，等正确表述，保持术语一致。全文已整体优化语言表达，提升准确性与流畅性。非常感谢您提出的宝贵意见。

审稿人 2 意见：

本文提出了一种整合性的“时间×信息层级”框架，旨在调和价值决策领域中关于注意力计算机制（乘法机制 vs. 加法机制）的长期争议。文章大框架较为清晰，问题导向较为明确。该整合框架具有一定理论价值，能够为后续的计算建模和认知神经研究提供一定启发。为了进一步提升稿件的严谨性和学术深度，建议在以下几个核心维度进行仔细考量和修改：

意见 1：稿件在引言和框架构建中频繁使用“注意”一词，但其引用的核心行为学和计算证据（如 Krajbich 等的 aDDM 模型、Shimojo 的眼动偏向等）几乎全部是基于外显的视觉注视。稿件虽然在 2.3 节用一句话说了“隐性注意同样可以改变 OFC 中的价值编码”，但在后续构建“时间×层级”框架时，没有将“隐性注意”与“外显注视”区分开来。这样会导致一个后果：加法机制中所谓的“决策后期的最终偏向”，很可能只是眼动系统在动作准备阶段的固有限制（如运动凝视偏差），而非真正意义上的“注意计算机制”。如果不严格区分视觉采样（看哪里）和认知资源分配（注意哪里），这个框架的基础是不牢固的。

回应：尊敬的审稿人，非常感谢您提出这一关键问题。我们同意，原稿中对“注意”的使用，确实更多基于外显视觉注视（overt gaze）的行为与计算证据，而对隐性注意（covert attention）与外显注视之间的关系区分不够充分。特别是在“时间×信息层级”框架中，如果不进一步区分“看哪里”（视觉采样）与“注意哪里”（认知资源分配），确实容易使后期加法性偏向被理解为单纯的眼动系统或动作准备偏差，而非真正意义上的注意计算机制。因此，我们在修订稿中进一步补充了隐性注意相关研究，并重新明确了外显注视与注意之间的关系。

首先，我们在修订稿中进一步强调：外显注视并不等同于注意本身，而更适合作为注意分配的一种可观测行为指标。已有经典研究表明，即使未发生直接注视，个体仍然可以通过隐性注意优先加工特定位置的信息（Posner, 1980; Carrasco, 2011）。因此，视觉注视更多反映的是注意分配的一种外显表达，而非注意机制本身。详见引言，527-530 行。

与此同时，越来越多研究表明，价值信息对注意的影响并不完全依赖外显眼动。价值导向注意研究发现，高价值刺激即使与当前任务无关，也更容易优先捕获注意资源（Anderson et al., 2011）。进一步地，Xie 等（2018）发现，隐性注意同样可以调节 OFC 中的价值编码；Li 等人的研究也进一步提示，即使未被直接注视，选项的价值越高对注意的作用越强。这

些结果说明，价值与注意之间的相互作用，可能在外显注视发生之前便已经开始，详见 2.3, 610-616 行

基于这些研究，我们在修订稿中进一步明确：本文所讨论的“早期乘法机制”，并不局限于外显眼动本身，而更倾向于描述一种更广义的信息增益过程。在决策早期，高价值信息更容易优先获得注意资源，无论这种注意体现为显性注视还是隐性注意，都可能通过提高价值信息进入积累系统时的权重，从而放大其对后续选择的影响。因此，乘法机制更接近一种“注意调节价值信号增益”的过程，而不仅仅是“看向哪里”的眼动现象详见，4.2 章 736-739 行。

与此同时，我们也同意审稿人提出的重要问题：如果后期最终偏向仅仅来源于眼动系统的动作准备或凝视惯性，那么其未必能够直接等同于真正的注意计算机制。因此，在修订稿中，我们进一步区分了“后期注视偏向”与“后期注意机制”之间的关系。具体而言，我们结合 Shimojo 等（2003）、Westbrook 等（2020）以及 Cavanagh 等（2014）的研究，进一步讨论了后期注视偏向可能更多反映已经逐渐形成的选择倾向、决策承诺或动作准备过程，而不一定代表注意仍在持续放大价值信号。

原文表述为：“Eum 等人（2023）的研究进一步发现，即使未直接操控中心注视位置，未注视的信息仍能够对最终选择产生系统性影响。这说明，后期决策偏向并不完全依赖显性眼动本身，而可能还涉及未被直接注视信息所引发的隐性注意分配过程。

值得进一步讨论，在后期加法机制主导的过程中，究竟是注意推动选择，还是选择影响注意。具体来说，在决策早期，注意直接作用与选项价值，被注视选项的价值会在积累过程中获得更高权重，因此注意影响选项（Krajchich et al., 2010; Smith & Krajchich, 2019）。然而，随着证据逐渐积累并接近决策阈值，注意效应的性质可能发生变化。Shimojo 等（2003）提出的“凝视级联效应”表明，在决策临近时，个体注视会迅速集中于最终被选择的选项。Westbrook 等（2020）进一步指出，后期注视与价值的关系可能由早期偏向乘法交互，逐渐转向更接近加法的偏移。也就是说，在决策后期，注视行为可能不再主要体现为对价值信号的持续放大，而更多反映系统内部已经形成的选择倾向。但这一过程并不意味着隐性注意完全退出决策过程，而更可能表现为隐性注意、选择收敛与动作准备等多个过程之间的共同作用。“

因此，本文目前更倾向于认为：外显注视与隐性注意并非完全等同，但两者都可能参与价值决策中的信息选择过程。其中，隐性注意更可能参与决策早期的信息增益与价值加权，而外显注视则在后期更多表现为选择收敛过程中的行为外显。基于这一点，我们也在修订稿中进一步弱化了将后期注视偏向直接解释为“纯粹注意机制”的表述，而更谨慎地将其理解为注意、选择收敛以及动作准备等多个过程共同作用的结果。详见 4.4, 801-832 行。

参考文献

- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3–25. doi: 10.1080/00335558008248231
- Carrasco, M. (2011). Visual attention: The past 25 years. *Vision Research*, 51(13), 1484–1525. doi: 10.1016/j.visres.2011.04.012
- Anderson, B. A., Laurent, P. A., & Yantis, S. (2011). Value-driven attentional capture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(25), 10367–10371. doi: 10.1073/pnas.1104047108
- Pearson, D., Watson, P., Albertella, L., & Le Pelley, M. E. (2022). Attentional economics links value-modulated attentional capture and decision-making. *Nature Reviews Psychology*, 1(6), 320–333. doi: 10.1038/s44159-022-00053-z
- Marshall, T. R., Ruesseler, M., Hunt, L. T., & O'Reilly, J. X. (2024). The representation of priors and decisions in the human parietal cortex. *PLOS Biology*, 22(1), e3002383. doi: 10.1371/journal.pbio.3002383

意见 2：对 aDDM 的曲解：稿件在 2.1 节指出 aDDM 的核心假设是“在任意时刻，被注意的选项在证据积累中权重更高”（即折扣因子 θ ）。然而在 4.2 节中，作者却强行将乘法机制框定在“决策早期”。实际上，Krajbich 原始模型中乘法折扣是贯穿整个 trial 直至触碰决策边界的，没有“早期乘法、后期失效”的设定。

回应：尊敬的审稿人，非常感谢您指出的意见。确实如您所说，在对于 Krajbich 的原始模型中，乘法折扣是贯穿整个 trial 只是触碰决策边界的，并没有早期乘法，后期失效的设定。因此我们已修改稿件中 4.2 节关于 aDDM 乘法机制的表述，以确保忠实原始模型。

具体修改详见 4.2 章 748-751 行：“需要说明的是，在 aDDM 中，注意折扣因子 θ 并非仅在决策早期发挥作用，而是在整个试次中持续调节被注视与未被注视选项的价值贡献，直至决策变量达到边界 (Krajbich et al., 2010, 2011, 2019)。因此，本文所说“早期更接近乘法机制”，并不意味着乘法机制在后期完全消失，而是指在不确定性较高、信息仍在被采样与加权的阶段，价值增益效应在行为上更容易被观察到。”

意见 3：加法机制的本质被掩盖：稿件认为后期的加法机制是“注意提供的额外推动力”。但计算神经科学界对后期加法项有另一种主流解释：紧急信号或运动准备。决策后期的加法漂移可能不是“注意”在起作用，而是大脑为了打破僵局强制输出结果而注入的非特异性基线偏移。综述对此避而不谈，将所有后期的加法推力都归功于“注意”，存在归因偏颇。

回应：尊敬的审稿人，非常感谢您提出这一重要问题。我们同意，原稿中对于后期加法机制的讨论，确实更多从“注意提供额外方向性推动”的角度进行解释，而对计算神经科学领域中另一类重要解释，紧急性信号、基线偏移以及动作准备讨论不足。因此，原稿容易给人一种“后期加法项完全来源于注意机制”的印象，这一点确实需要进一步澄清。

根据您的建议，我们在修订稿中对后期加法机制的表述进行了重新修改。同时，我们进一步补充讨论了：决策后期的加法项，除了可能反映注意偏向之外，也可能部分来源于决策系统在接近反应输出时所产生的紧急性过程（urgency-like process）、非特异性基线推进（baseline shift）以及动作准备过程。相关修改已补充于修订稿第 4.2 节关于后期加法机制的讨论部分。详见 3.3 章 670-671 688-689 行

此外，我们在修订稿中进一步强调：后期注视偏向未必完全代表注意仍在持续放大价值信号，而可能更多反映已经逐渐形成的选择倾向或潜在选择状态。例如 Cavanagh 等（2014）也提出，部分后期偏移过程可能与决策承诺和动作准备有关，而不仅仅是持续性的价值增益，详见 831-832 行。

意见 4：框架缺乏可证伪性：稿件中的框架（图 1）将决策分为“早期（高不确定性）”、“中间过渡”和“后期（低不确定性）”。但是，究竟什么是“中间过渡”？从乘法向加法转换的“触发条件”是什么？是因为时间流逝？还是因为证据积累到了某个绝对阈值？如果是时间流逝，那么，多早算早？多晚算晚？是否有物理层面的定义？如果不对这种“动态转换”的数学临界点进行操作化定义，这个框架就沦为了一种“万能膏药”式的描述性语言。任何表现出乘法效应的数据都可以被归为“处于早期/属性层”，任何加法效应都可以被解释为“进入了后期/整合层”。这使得该理论无法被未来的实验真正推翻。

回应：尊敬的审稿人，非常感谢您提出这一重要问题。我们同意，原稿中对于“早期—中间过渡—后期”的描述，确实更偏向理论层面的动态框架，而缺少对“动态转换条件”与“阶段边界”的操作性定义。如果缺乏明确的计算标准，那么这一框架确实容易沦为一种事后解释性

的描述语言，而难以被未来实验真正检验或证伪。因此，根据您的建议，我们在修订稿中进一步补充了对“中间过滤阶段”及“阶段转换条件”的操作性说明，并明确强调本文所提出的并非严格离散的阶段切换模型。

具体而言，我们在修订稿第 4.2 节中进一步强调：本文中的“决策早期”“中间过滤阶段”与“决策后期”，并不对应固定的物理时间窗口，而更适合被理解为决策过程中不同的计算状态。**详见第 4.2 章 732-736 行**

与此同时，我们进一步明确指出：本文所说的“中间过滤阶段”，并非一个具有固定时间边界的独立阶段，而是用于描述系统由高不确定性的信息广泛采样，逐渐过渡到低不确定性的选择收敛过程。在这一过程中，系统内部的证据竞争范围逐渐缩小，低相关或低权重信息逐渐被过滤，注意开始更多集中于当前优势选项。因此，“中间过滤阶段”的核心定义，并不依赖单纯的时间流逝，而更接近于证据积累状态、不确定性水平以及选择倾向稳定程度的动态变化。

因此，我们希望通过上述修改进一步明确：本文提出的“时间 × 信息层级”框架，并非一种不可证伪的描述性分类，而是一个关于注意机制如何随证据积累状态动态变化的理论假设，其核心变量包括不确定性水平、证据接近阈值程度以及信息竞争范围的变化，而这些因素均可以在未来研究中被进一步操作化检验。

意见 5：图 1 呈现了信息层级和时间层级的整合框架，乘法和加法原则，3*3 的方格中，加法和乘法原则如何影响 DDM 模型参数的数学表达？系统性梳理，会帮助研究者进行实操建模和备择模型选择。

回应：尊敬的审稿人，非常感谢您提出来的宝贵意见，确实如您所说，我们需要系统的梳理一下数学表达公式，可以帮助研究者更好的进行实操建模以及备择模型的选择。根据您的意见，我们添加了有关于乘法公式与加法公式的数学表达式，并对其进行了解释。

具体而言，我们补充说明：乘法机制更接近于注视与价值的交互作用，即注意通过改变价值信号在证据积累中的相对权重影响漂移率，并进一步结合经典 aDDM 模型中的注意折扣因子 θ 进行了说明；相比之下，加法机制则更接近于一种与价值差异无关的方向性偏移，即注意作为额外输入直接推动证据积累向某一方向收敛。此外，我们还进一步补充讨论了 GLAM 与 GARD 等模型如何在同一计算框架中同时纳入价值加权与方向偏移成分，并据此说明本文与已有模型的区别在于：本文更强调两类机制在决策时间进程中的动态主导性变化，而不仅仅是参数层面的共存。**详见第 4.4 章，第 836-855 行。**

意见 6：作者在图 1 中，对于属性层和选项层中，都进行了决策早期、中间过滤阶段和决策后期的精细区分，提出了乘法机制由主导到逐渐消退的时间变化，然而现有行为和神经证据能否支持这么精细的动态变化假说？需要谨慎考虑。哪些是有明确支持的，哪些是作者延伸拓展的？需要进行区分。

回应：尊敬的审稿人，非常感谢您提出这一重要意见。我们同意，原稿中对于“决策早期—中间过滤阶段—决策后期”的划分，以及“乘法机制逐渐减弱、加法机制逐渐增强”等表述中，确实会存在某些过于绝对化的表述，我们对此进行了修改，并且补充了能够证明分为早期晚期，以及早期更多可能作用于属性，信息等层面的内容，并区分了解释了哪些存在明确支撑，哪些属于延伸。

因此，根据您的建议，我们补充了如：Li 等人认为，隐性注意主要作用于高价值的选项，价值于选择之间呈现乘法式交互，位于选择过程的早期，甚至早于显性注意。Westbrook 等人提出，早期以乘法为主，随着时间推移逐渐过度到加法等内容。除此之外，还包含了决策过程具有动态性，信息会随着时间逐步被采样与整合，而非同时进入比较（Sullivan &

Huettel, 2021); 注意在不同阶段可能对应不同计算功能, 例如早期更接近信息增益与价值加权, 后期更接近选择收敛与决策承诺 (Cavanagh et al., 2014; Marshall et al., 2024); 决策过程中系统不确定性会逐渐降低, 证据积累状态也会随时间动态变化 (Lombardi & Hare, 2021; Lee & Hare, 2023)。

与此同时, aDDM 及相关研究也支持, 注意在决策较早阶段更可能表现为依赖价值大小的增益调节, 即高价值信息在获得注意后, 其证据积累优势会被进一步放大 (Krajbich et al., 2010; Smith & Krajbich, 2019; Zilker & Pachur, 2022)。另一方面, 部分研究也提示, 单一乘法型增益机制可能难以解释所有注意效应。例如, 后期最终注视偏向、与价值差异相对独立的方向性偏移, 以及未被直接注视信息对最终选择偏差的调节等现象 (Cavanagh et al., 2014; Eum et al., 2023; Frömer & Shenhav, 2022), 均提示注意在决策后期可能更多参与选择收敛与方向偏移过程。详见 606-612 678-684 741-744 804-820 行。

此外, 本文提出的“属性层—选项层—整合层”以及“中间过滤阶段”等名称表述, 并非已有研究直接提出的标准阶段划分, 而是本文基于现有行为、计算与神经证据所进行的理论组织与延伸, 用于描述不同信息层级在决策推进过程中可能对应的不同注意作用方式

意见 7: 神经证据的解剖学功能过度外推: 稿件将 pre-SMA 的激活时间靠后 (3.3 节, Aquino et al., 2023) 作为“后期加法机制”的神经铁证。但 pre-SMA 本质上是辅助运动皮层, 它的后期信号也有可能反映的是动作规划, 而不是在进行纯粹的“价值整合”。将运动控制脑区的晚期信号, 强行等同于认知心理学层面“注意的加法推动”, 在神经生物学逻辑上是非常跳跃的。

回应: 尊敬的审稿人, 非常感谢您提出这一重要问题。我们同意, 原稿中对于 pre-SMA 晚期活动的解释, 确实较容易给人一种“直接支持注意加法机制”的印象, 在神经功能层面的表述不够谨慎。

具体而言, 我们在修订稿中补充说明: pre-SMA 不仅参与决策相关过程, 也广泛涉及动作准备、反应选择与行为承诺等功能, 因此其后期活动未必完全反映注意对价值整合的直接推动, 也可能包含决策收敛后的动作规划与输出准备成分。

与此同时, 我们进一步补充讨论了后期加法性偏移还可能受到动作准备、决策承诺以及更一般性的紧急性过程等因素的共同影响, 以避免对神经解剖功能进行过度外推。相关修改详见第 3.3 章。

参考文献

Hasan, E., & Trueblood, J. S. (2024). The Role of Salience in Multialternative Multiattribute Choice. *PsyArXiv*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/6fht4>

意见 8: 理论贡献问题: “时间×层级”整合模型, 和领域中关于价值决策中注意的广泛共识: 前期关注属性层级, 也即乘法加权, 后期关注证据累积, 也即加法加和, 有什么本质区别? 理论创新性在哪里?

回应: 尊敬的审稿人, 非常感谢您提出这一关键问题。我们同意, 当前价值决策领域中已经存在一种较广泛的共识, 即: 决策早期的注意作用更接近属性或价值权重调节, 而决策后期则更多涉及证据积累、选择收敛以及方向性偏移。因此, 如果本文仅仅将“前期乘法、后期加法”重新进行描述, 那么其理论贡献确实会较为有限。

根据您的意见, 我们在修订稿中进一步明确了本文“时间×信息层级”框架与已有观点之间的区别。具体而言, 本文的理论贡献并不在于简单提出“早期乘法、后期加法”这一现象本身, 而在于进一步尝试解释: 决策的全过程中, 信息于时间是交互影响的, 不仅仅只是单纯的早期为乘法, 后期为加法, 而是一个时间于信息的动态交互过程。

根据您提出的意见，我们更细致的对时间×信息框架进行了更明确的操作性定义，并且表述了中间转换过程并且一个瞬时过程，而是动态过滤的过程。以及进一步讨论了显性注意于隐性注意，并非是独立存在的，即使是隐性注意，也可能会存在一个早决策早期以乘法机制为主的影响。除此之外，我们还补充讨论了，在决策后期，注意于选择他们之间的关系。**详见 4.2 章，4.4 章**

因此，本文的理论创新点并不在于提出一个全新的“乘法 vs. 加法”二分模型，而在于进一步从“时间×信息层级”的角度，对不同注意效应之间的关系进行动态整合。

意见 9：文献疏漏问题：前人真的完全没有对两种规则进行整合过吗？是否遗漏了一些文献？例如，凝视加权优势竞争扩散模型（GARD, Gaze-weighted Advantage Race Diffusion）在数学表达上同时包含乘法和加法项，从而既能解释由于价值大小带来的幅度效应（乘法），又能解释基线选择概率的偏移（加法）。

回应：尊敬的审稿人，感谢您指出这一重要问题。我们同意，原稿中对于乘法与加法机制“彼此对立”的表述确实不够准确，也忽略了部分已有模型已经尝试同时纳入两类机制。例如，Gaze-weighted Advantage Race Diffusion（GARD）模型在数学表达上同时包含价值放大与基线偏移成分，从而能够同时解释幅度效应与选择偏移。

类似地，GLAM 等注意影响证据积累的模型也表明，注意对证据积累的影响可能嵌入到动态竞争过程中，而并非单一静态机制。基于此，我们在修订稿中补充了对相关模型的讨论，并相应调整了理论贡献的表述。

本文的创新并不在于首次提出“乘法+加法”的混合形式，而在于尝试进一步从“时间×信息层级”的动态视角，解释两类机制为何会在不同研究中呈现不同主导性，以及它们如何可能在同一决策过程中动态共存。我们因此将本文定位为一种对既有行为、计算建模与神经证据的系统性整合，而非对已有混合模型的替代，**详见：757-763 行。**

参考文献

- Molter, F., Thomas, A. W., Heekeren, H. R., & Mohr, P. N. (2019). GLAMbox: A Python toolbox for investigating the association between gaze allocation and decision behaviour. *PloS one*, 14(12), e0226428.
- Thomas, A. W., Molter, F., Krajbich, I., Heekeren, H. R., & Mohr, P. N. C. (2019). Gaze bias differences capture individual choice behaviour. *Nature Human Behaviour*, 3(6), 625 ~ 635. <https://doi.org/10.1038/s41562-019-0584-8>

Minor:

意见 1：引言第一段，作者引用强化学习模型和时间折扣模型来说明主观价值的动态行，然而这两种模型都和你们的框架刻画的价值决策内在时间过程没太大关系，强化学习中，主观价值的动态更新是基于反馈的学习，时间折扣模型中，时间作为指数，使得价值产生折扣。提及无关模型反而会产生混淆，影响读者理解。你们的框架应该放在 DDM 中讨论，在第一段直接引出 DDM 即可。

回应：感谢审稿人提出的重要意见。确实如您所说，原稿引言部分对于强化学习模型与时间折扣模型的引用，容易将不同层面的“时间动态性”混合在一起，从而弱化本文真正关注的价值决策内部动态过程。

其中，强化学习模型主要描述跨试次反馈学习中的价值更新过程，而时间折扣模型关注的是奖励延迟对主观价值的影响，这两类模型与本文所讨论的证据积累与注意动态调节过程并不完全对应。

根据您的建议，我们在修订稿中删除了强化学习与时间折扣相关内容，并将引言部分的理论基础进一步聚焦于序列抽样模型与漂移扩散模型（DDM）框架。

意见 2: 引言第三段（第 128 行开始），作者回顾了注意分配会影响决策的种种证据，到底要支持什么论点？为何要放在这里？意味不明，建议在此段第一句话明确。

回应: 感谢审稿人提出的重要意见。我们同意，原稿中该段落缺乏明确的主题句，导致相关研究之间的逻辑联系不够清晰，容易使读者难以理解该部分在全文中的理论作用。

根据您的建议，我们在修订稿中对该段进行了调整，并在引言第三段“**越来越多的研究表明，注意并非只是形成主观偏好之后的被动结果，而可能主动参与信息采样，价值构建与最终选择形成过程。**”这句话作为开头，明确此段的目的。

意见 3: 2.2 的第二段（199 行开始），作者的证据支持了乘法原则会独立于加法原则的存在，然而并没有支持乘法和加法的时序性证据，为什么乘法先发生，加法后发生。

回应: 尊敬的审稿人，非常感谢您的这一重要意见。我们同意，原稿中关于“乘法机制先发生、加法机制后出现”的时序性表述不够全面，因此需要进一步说明其依据。因此，我们在修订稿中进一步区分了已有研究直接支持的内容与本文基于现有证据所提出的理论整合。

我们补充了 Westbrook 等（2020）的观点，注视对选择的影响随着时间的推移而演变：早期注意与高价值相互影响，价值越高越吸引注意越强，这与注意漂移扩散模型一致。后期凝视在已经形成选项的基础上出现，高价值高成本的选项推动注意。我们将此作为补充，添加到修改稿中作为乘法于加法的时序证据。详见 4.2 章 728-729 731-735 行。

意见 4: 2.3 的第二段（217 行开始），作者的证据表明，选项价值在神经表达中的表达幅度受到注意的调节，然而作者仍然需要明确说明表达幅度是否独立于相对价值大小这个关键问题，来区分乘法还是加法原则。需要回顾原始文献或者数据分析过程进行澄清。

回应: 尊敬的审稿人，非常感谢您的这一重要意见。我们同意，原稿中关于“注意调节价值信号表达强度”的表述，尚未充分区分这种调节究竟更接近乘法增益还是加法偏移。根据您的建议，我们重新回顾了相关原始文献，并进一步明确了本文对该问题的界定。

我们对相关段落进行了修改与澄清。例如，Lim 等（2011）与 McGinty 等（2016）的研究表明，vmPFC 与 OFC 中的价值编码会随着注意状态与注视位置发生变化。这些结果提示，注意影响的并非信息是否被编码，而是价值信号本身的表达强度。与此同时，结合 aDDM 及相关研究（Krajch et al., 2010; Smith & Krajch, 2019; Zilker & Pachur, 2022），我们进一步强调：这种调节并非对所有信息的统一增强，而更可能依赖于选项的相对价值大小。详见 2.3 章 605-612 616-621 行。

意见 5: 2.3 的第三段（226 行开始）说明，显性或隐性被关注，会导致信息获得更高的编码精度之神经计算机制，来改变选择结果，但是如何支持了乘法原则，如何互斥于加法法则，也即表达幅度如何依赖于或独立于相对价值大小？需要明确说明。

回应: 尊敬的审稿人，非常感谢您的这一重要意见。我们同意，原稿中关于“显性或隐性注意提高信息编码精度”的表述，尚未充分说明这种调节为何更接近乘法型增益，而非与价值无关的加法性偏置。根据您的建议，我们重新回顾了相关文献，并进一步明确了本文对于该问题的界定。

我们在修订稿中进一步补充说明了相关证据。已有研究表明，高价值刺激即使未被直接注视，也更容易优先获得注意资源（Anderson et al., 2011）。进一步地，隐性注意同样可以改变 OFC 中的价值编码（Xie et al., 2018）。Li 等人的研究进一步发现，即使未发生外显注视，高价值选项仍然更容易吸引隐性注意。这些结果提示，价值可能通过引导隐性注意，优先增

强高价值信息的编码与积累过程，因此更接近一种依赖于价值大小的增益调节，而非与价值无关的固定推动。详见 2.3 章 4.2 章 4.4 章（616-621；741-744；804-808 行）。

意见 6：2.4 的第三段（244 行开始），这一点局限是否属于时间信息层级的框架局限性有待商榷，属于主观价值如何被塑造的问题。

回应：尊敬的审稿人，非常感谢您的提醒。我们同意，原稿中相关表述容易将“主观价值如何被塑造”的问题，与本文“时间 × 信息层级”框架的讨论对象混合在一起。

根据您的意见，我们在修订稿中进一步调整了相关表述，更明确地区分了“价值建构”与“价值信息如何进入比较与证据积累过程”这两个层面的问题。修订后，我们强调：虽然主观价值会随目标与情境动态变化，但本文更关注的是这些价值信息如何在决策过程中被采样、比较与整合，以及注意如何影响后续证据积累与选择形成。相关修改详见 511-513 行。

第二轮

两位外审专家第二轮审理均已同意发表，目前已可以进入编委复审环节。编辑部注意到稿件中未见对编委初审意见的回应，在送编委复审前，建议考虑以下两条意见：

编委 1 意见：题目中的乘法和加法的意义不清，建议修改。

回应：尊敬的编委您好，非常感谢您提出的宝贵意见。正如您所指出的，若仅在题目中使用“加法与乘法”而缺乏进一步界定，容易显得较为抽象，并可能引发理解歧义。

根据您的建议，我们将题目由原来的“*注意力在基于价值决策中的计算机制：加法与乘法的动态调控*”修改为“*注意力在基于价值决策中的计算机制：加法模型与乘法模型的动态调控*”，以更清晰地指向相关计算理论框架。

其中，乘法模型（multiplicative model）指注意通过放大被关注信息的价值权重，从而影响漂移率或证据积累过程（Smith & Krajchich, 2019）；加法模型（additive model）则指注意作为一种额外的方向性影响，直接作用于决策变量的积累过程，使其朝当前关注选项方向发生偏移，其作用相对独立于选项价值大小（Cavanagh et al., 2014; Frömer & Shenoy, 2022）。

此外，我们已在修订稿的引言、2.1、3.1 及 4.2 等关键部分进一步补充并统一了对加法模型与乘法模型的定义与阐释，以确保全文术语的一致性与概念清晰性。

编委 3 意见：建议作者补充说明该研究的应用价值。

回应：尊敬的编委您好，非常感谢您提出的宝贵意见。我们同意，在原稿中对研究应用价值的呈现不够充分，这一问题在您的建议下得到了进一步完善。根据您的意见，我们在修订稿结论部分补充了关于本研究应用价值的相关内容。

具体而言：“除此之外，对于本研究的应用价值，可以从计算建模与消费者决策等多个层面加以说明。首先，在计算建模层面，传统漂移扩散模型及其扩展形式（如 aDDM、GLAM 等）通常假定注意对证据积累过程的影响较为稳定，难以刻画其在决策过程中随时间变化的动态特征。本文提出的“时间×信息层级”框架为理解这一问题提供了新的视角，即注意对决策过程的作用可能并非固定不变，而是会随着时间推进以及信息加工阶段的变化而发生调整：在决策早期，注意更可能通过增强价值信息的权重来影响证据积累过程；而在决策后期，其作用则更可能表现为对选择方向的引导，从而促进决策收敛。这一观点为进一步发展具有时间结构的动态决策模型以及改进模型比较方法提供了参

考。

其次，在消费者决策情境中，在决策早期，个体通常处于多选项比较与信息整合阶段，此时通过突出价格优惠、用户评分以及核心性能参数等关键信息，可以增强相关信息在决策过程中的影响，从而强化目标选项的相对优势。例如，在广告页面前端呈现折扣信息或用户评价，有助于提升商品的吸引力。而在决策后期，当消费者逐渐缩小选择范围并接近最终决策时，通过优化界面布局、提高购买按钮的可见性或设置默认推荐选项等方式引导注意集中，则可能进一步促进最终购买行为的形成。”详见结论最后两段

审稿人 1 意见：

作者基本回答了首轮审稿中提出的问题和疑问，论文也有了明显的提升，建议发表。

审稿人 2 意见：

作者很好地回答了我的问题，对于支持性证据的严谨性和数学表达都有了很多提升。

第三轮

编委 1 复审意见：

同意修后发表。建议把图里面的加法和乘法机制，也改为加法和乘法模型。

编委 2 复审意见：

文稿已阅，我认为修改稿已达到发表水平。

主编意见：

论文经过多轮评审与修改，达到了《心理科学进展》的要求，建议录用。请作者将论文打印出来，多读几遍，确保规范。