

# 《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：求助决策研究的认知计算框架

作者：罗浩诚，杜伟，魏琰厅，周晓林，高晓雪

## 第一轮

### 编委初审意见：

整体读来，作者尝试建立关于求助的认知计算框架，但实际上其模型可以认为是对于可能影响求助行为的各种自变量的罗列，其认知框架可以简单概括为对于是否求助的线性模型（意见 1）。作者的最初想法可能想尽量纳入所有可能对求助行为的影响因素，因此介绍了几乎所有和求助行为相关的心理模型，但也正是因为这样，导致文章读来反而没有了重点，最终变成了理论的罗列（意见 2）。该文比较有趣的地方在于社会学习部分，既对于社会反馈后如何调整行为的部分，但目前来看，这部分极为简略。作者仅仅列了一些公式(277-286 行)而对这些更新公式背后对应的心理和认知过程未进行描述，也未对哪些变量需要、值得更新或追踪进行详细阐述，因此我倾向于拒稿或要求作者根据评审意见进行仔细修改后重新投稿（意见 3）。

**回应：**感谢专家对本文的仔细阅读以及提出的建设性意见。编委给出的是一整段意见，为了方便回复，我们将其分解为上述所标记的三点意见。

根据专家的三点意见，我们意识到，上述问题的根源在于初稿存在两点不足：一是写作结构的重点不够清晰；二是未能有效突出本文拟解决的核心问题及其创新性。因此，我们对文章的内容结构进行了重新调整、对关键认知计算模型部分进行了大幅补充和更新，以充分体现本文的创新性、重要性和必要性。

由于专家所提出的并非针对文章某一具体部分的建议，而是对于文章整体结构和写作重点的全面意见。因此，我们以下所列出的回应也并非局限于某一个具体部分，而是阐明根据专家的建议、我们对论文整体结构和内容诠释所进行的重点修改。这些修改包括但不限于：

**第一，回应意见 1，我们重新组织“1 引言”部分，突出本文的创新性、重要性和必要性：**

**1. 突出求助决策机制研究的重要性和必要性，强调相比于现有研究所关注的其他社会**

**决策，求助决策的独特性为何。**

我们单列“1.1 求助决策研究的重要意义”的标题以突出研究意义，同时补充关于求助决策机制潜在独特性的内容（p.2，42-53 行）：

“更重要的是，求助决策本身具有复杂性：因其涉及学业、工作、情感、健康等多种社会情境，并具有解决个人困境或增加个人获益多种决策目标，其背后可能涉及多种的认知计算策略。因此，以往社会决策研究虽然为理解求助决策提供重要启示，但不足以充分解析其机制。例如，现有社会决策理论多聚焦于一般交互情境下的个体决策过程（如与单一或少数几个对象的二元或多项选择），并指出个体往往通过理性决策期望效用最大化的价值计算与社会学习，来驱动决策及其动态调整(Hu et al., 2022; Olsson et al., 2020; Vahed et al., 2024)。然而，这些研究往往未能充分考虑求助相关的特殊情境（如时间压力、认知负荷）与复杂情境（如信息过载或面临众多潜在互动对象）对决策策略的影响；一旦个体处于无法预知所有事件、后果及概率的“不确定性”情境中，经典的期望效用最大化原则可能失去解释力，有限理性启发式策略往往更具现实适应性(Gigerenzer et al., 2022)。因此，开展求助决策的认知机制研究，有助于推动学界对于特殊情境下人类社会决策的理解与预测，拓展和更新社会决策理论体系。”

**2. 强调构建“认知计算框架”，即确定社会情感与行为背后的核心认知成分、以认知计算建模的方式将人类心理和认知过程转化为可计算的模型，是理解求助决策背后机制的关键环节。然而，以往碎片化、非定量的研究视角阻碍了该目标的实现。**

我们单列“1.2 认知计算框架的构建是理解求助决策的关键路径”部分，并在此部分中阐明构建求助的认知计算框架的重要性、以及以往研究所存在的局限如何阻碍了该目标的实现（pp.3-4，73-93 行）：

“构建“认知计算框架”，即确定社会情感与行为背后的核心认知成分、以认知计算建模的方式将人类心理和认知过程转化为可计算的模型，定量刻画个体如何权衡和整合各类核心认知成分以最终产生和动态调整社会情感与行为，是开发恰当的人际互动范式、收集实证数据检验与优化认知计算假设、与进行基于认知计算模型的脑成像研究的关键前提，是串联三层次机制研究的关键环节(Cohen et al., 2017; Cushman, 2024; Guest & Martin, 2021; Hu et al., 2022; Konovalov et al., 2018; Qu et al., 2022; Ruff & Fehr, 2014; Vahed et al., 2024; van Dijk & De Dreu, 2021; Yu et al., 2024)。近年来此类思想和方法已经被成功应用于众多社会决策研究中，如利他决策(Hu et al., 2021; Hu et al., 2023; Wu et al., 2024)、

受助者回馈行为(Gao et al., 2024)、资源分配和不公平厌恶(Gao et al., 2018; Li et al., 2022; Yu et al., 2022)、合作行为(Jin et al., 2022; Philippe et al., 2024; Pisauro et al., 2022; Zajkowski et al., 2024)等, 为理解 and 研究人类社会决策的认知计算神经机制提供了重要的理论和实证基础。

由此可见, 实现求助决策的适应性功能、认知计算机制和神经机制的系统性解析, 其关键前提在于确定其背后的核心认知成分、以认知计算模型的方式提出个体如何权衡和整合各类核心认知成分以最终产生和动态调整求助决策的假设。然而, 以往求助决策研究或主要通过理论分析(Nadler, 2015)、或应用问卷调查、情境想象或一次性真实社会互动等方法(Carnevale et al., 2021; Davison et al., 2023; Doll et al., 2021; Flynn & Lake, 2008; Juhl et al., 2021; Stokes & Bickman, 1974; Zhao & Epley, 2022)探究促进和阻碍个体求助的单一或少数几个心理变量和影响因素(图 1; 详见下文)。此类研究面临两方面重要局限:

(1) 碎片化的研究视角不利于求助决策系统性知识体系的构建与核心认知成分的提炼(Anvari et al., 2025); (2) 定性的研究手段难以定量解析决策背后核心认知成分权衡和整合的认知计算机制, 亦阻碍了以此为基础的神经机制解析和适应性功能理解(Hu et al., 2022; Yu et al., 2024)。”

**3. 澄清本文提出的“认知计算框架”的步骤和逻辑, 其目的并非仅仅对于可能影响求助行为的各种自变量的罗列, 更重要的是在此基础上提炼求助决策的核心认知成分, 确定求助决策研究的关键环节, 将理性决策和有限理性启发式决策理论深化拓展并应用于求助决策研究, 从而为求助决策构建一套系统的候选认知计算模型假设, 为未来研究奠定理论和方法学基础。**

详见“1 引言”最后一段(p.4, 94-102 行):

“为了解决以上问题, 本文应用整合与量化的视角, 提出求助决策研究的认知计算框架: (1) 在系统总结与梳理理论和实证研究的基础上, 提炼求助决策的核心认知成分, 提出决策的产生、动态调整和互动双方特征的调节三个求助决策研究的关键环节, 解决以往研究碎片化、难以构建系统性知识体系等问题, 为后续研究提供更为清晰的理论基础; (2) 将社会和经济决策的认知计算理论, 包括理性决策和有限理性启发式决策理论, 深化拓展并应用于求助决策研究, 从决策的产生、动态调整和个体差异整合性视角出发, 为求助决策构建一套系统的候选认知计算模型假设; (3) 以认知计算模型假设为基础, 提出未来求助决策认知计算与神经机制研究的关键科学问题与研究方法展望。本文将为

未来求助决策及相关合作行为的认知计算与神经机制研究提供新的研究思路、机制假设和方法论。”

第二，为回应意见 2，我们将文章第二部分标题调整为“2 求助决策核心认知成分的提炼与研究框架的构建”，以表格而非文字的形式呈现以往求助相关理论（表 1）和实证研究（表 2）；强调该部分并非仅仅是影响因素和理论的罗列，更重要的是提炼求助决策核心认知成分、确定求助决策研究的关键环节，为提出求助决策的认知计算模型假设奠定重要基础。

详见正文 pp. 4-9。该修改可以减少本部分所占篇幅，更好地体现“3 求助决策的认知计算模型假设”为本文的重点和核心内容。

如果专家仍认为本部分内容篇幅过大，我们也可以将两个表格放在附录部分。

表 1. 基于理论研究的求助决策核心认知成分初步确认

| 理论名称                                                                   | 认知成分                                                   | 理论解释                                                                                                                     | 参考文献                                           |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 阻抗理论<br>(The Theory of Psychological Reactance)                        | 人际请求阶段<br>社会拒绝 +<br>互惠交换阶段<br>回馈焦虑                     | 个体有最大化自身自由的基本动机。求助行为会通过两种方式限制该自由：在人际请求阶段，求助请求可能被拒绝；在互惠交换阶段，接受帮助后需承担回馈义务。这些对自由的威胁会引发阻抗，从而驱动个体规避求助。                        | (Brehm, 1966, 1989)                            |
| 归因理论<br>(Attribution Theory)                                           | 人际请求阶段<br>社会拒绝                                         | 个体的求助选择取决于他们如何归因自身帮助需求的内外性或常态性。相比于对帮助需求做出外部归因或常态归因时，当个体进行内部归因或非常态归因时，个体很可能会从求助的事实中推断自己不足或无能，担心被他人拒绝或负面评价，进而影响自尊或声誉，阻碍求助。 | (Jones & Davis, 1965; Kelley & Michela, 1980)  |
| 互惠、公平与<br>负债感理论<br>(Theories of Reciprocity, Equity, and Indebtedness) | 互惠交换阶段<br>回馈焦虑                                         | 接受帮助会使个体产生回馈义务、不对等感和心理负债。为恢复声誉、自尊与心理平衡，接受帮助后的个体需要做出回馈；若无法回馈，则会进一步导致焦虑、不公平厌恶或负债感等负面体验。                                    | (Adams, 1965; Gouldner, 1960; Greenberg, 1980) |
| 自我支持-自我<br>威胁理论<br>(Self-support and Self-threat Theory)               | 需求感知阶段<br>求助获益 +<br>人际请求阶段<br>社会拒绝 +<br>互惠交换阶段<br>回馈焦虑 | 接受帮助具有双重性：它既是带来实际获益的自我支持，也代表对他人依赖的自我威胁。自我威胁的方面在于，个体在人际请求阶段可能面临社会拒绝，在互惠交换阶段则可能因无法回馈而感到回馈焦虑。为规避这两种威胁，个体可能选择不求助。            | (Fisher et al., 1982; Nadler, 2015)            |
| 威胁-控制理论<br>(Threat-control Theory)                                     | 需求感知阶段<br>求助获益 +<br>人际请求阶段<br>社会拒绝 +<br>互惠交换阶段<br>回馈焦虑 | 该理论认为个体不仅会预期求助所带来的自我支持（获益）和自我威胁（社会拒绝和回馈焦虑），还会根据求助后实际体验到的自我支持和自我威胁，调整并改变其后续的求助决策                                          | (Bierhoff, 2002; Nadler & Jeffrey, 1986)       |

表 2. 基于实证研究的求助决策核心认知成分提炼

| 核心认知成分                             | 因素操纵         | 影响方式及其解释                                                                                                                                 | 参考文献                                                             |
|------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 需求感知阶段<br>求助获益                     | 求助获益         | 收益增加和损失减少促进个体求助行为。                                                                                                                       | (DePaulo & Fisher, 1980; Luo et al., 2024; Shaffer et al., 2006) |
| 人际请求阶段<br>社会拒绝                     | 被拒绝<br>可能性   | 求助被拒绝的可能性越大，个体预期求助所带来的社会拒绝成本越大，越不倾向于求助。                                                                                                  | (Flynn & Lake, 2008; Luo et al., 2024)                           |
| 人际请求阶段<br>社会拒绝 +<br>互惠交换阶段<br>回馈焦虑 | 帮助者<br>代价    | 当潜在帮助者为陌生人时，其提供帮助所需付出的代价越大，个体预期被拒绝的可能性和感到的负债感程度可能越大，越不倾向于求助。                                                                             | (DePaulo & Fisher, 1980; Shapiro, 1980)                          |
| 互惠交换阶段<br>回馈焦虑                     | 有无<br>回馈机会   | 求助行为会带来社会成本，包括声誉损失和自尊威胁。当个体预期无法回馈时，会产生负债感、焦虑、压力等负面感受。这种无法回馈的预期显著降低了求助意愿。因此，求助后可回馈概率越低，个体体验的回馈焦虑越大，越不倾向于求助。                               | (Gao et al., 2024; Greenberg & Shapiro, 1971; Lee, 2002)         |
| 互惠交换阶段<br>回馈焦虑                     | 求助的<br>组织规范  | 若个体当前所在环境或组织中所有或多数成员认为求助是常见、可被接受的事情，则会降低个体遭受负面评价的风险，自我呈现的风险降低，可能使个体对互惠违反的预期及相应的回馈焦虑降低，更倾向于求助。                                            | (Cleavenger et al., 2007; Cleavenger & Munyon, 2015)             |
| 互惠交换阶段<br>回馈焦虑                     | 问题的<br>自我中心性 | 问题的自我中心性是指个体需要帮助的原因在多大程度上来自于自我相关的维度。问题的自我中心性越低，自我威胁的风险越低，个体因求助而损失的声誉和自尊越少，可能导致预期的回馈焦虑也越少，越倾向于求助。                                         | (Nadler, 1987)                                                   |
| 互惠交换阶段<br>回馈焦虑                     | 求助类型         | 自主型（“求渔”）比依赖型（“求鱼”）求助对声誉和自尊的影响更小，可能导致个体回馈焦虑更少，更倾向于求助。                                                                                    | (Nadler, 2002)                                                   |
| 人际请求阶段<br>社会拒绝 +<br>互惠交换阶段<br>回馈焦虑 | 求助的<br>匿名性   | 匿名求助可以减少因求助带来的负面评价风险，降低对个体自尊的威胁。这使个体即使在违反互惠规范的情况下，也可能避免潜在的声誉和自尊损失，从而减轻其回馈焦虑；同时匿名求助可以降低潜在社会拒绝所带来的声誉和自尊损失，降低社会拒绝成本。相比于实名求助，个体在匿名情境下更倾向于求助。 | (Cleavenger & Munyon, 2015; Nadler & Porat, 1978)                |
| 人际请求阶段<br>社会拒绝                     | 任务难度         | 当任务难度较大时，求助行为往往能提升施助者对求助者能力的积极评价，同时减少对求助者形象自我威胁；这一过程可能通过降低个体感知到的社会拒绝成本，从而进一步促进求助行为的发生。                                                   | (Brooks et al., 2015)                                            |
| 潜在帮助者<br>特征                        | 能力           | 个体更可能向具有高能力（如具备专业知识）的潜在帮助者求助，以期能够更有效地减少不确定性（如面临复杂问题时决策或解决方案的模糊性与风险）。                                                                     | (Hofmann et al., 2009)                                           |

|         |           |                                                                                                                                           |                                           |
|---------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 潜在帮助者特征 | 社会地位      | 研究结果存在争议。Lee (2002)研究发现，个体更愿意向平级的潜在帮助者求助，因为它对自我形象的威胁最小，而向上级求助和向下级求助都具有较高的社会成本。而 Nadler (2002)的研究发现，当低地位群体认同社会等级的合法性时，他们更倾向于向高地位群体寻求和接受帮助。 | (Lee, 2002; Nadler, 2002)                 |
| 潜在帮助者特征 | 吸引力       | 当互动对象未被预设为帮助者时，个体若向更具吸引力的互动对象求助，会预期更高的被拒概率以及更严重的声誉损失和自尊降低，因而倾向于避免求助。反之，当对方身份被明确指定为帮助者时，吸引力对求助决策的影响会减弱。                                    | (Stokes & Bickman, 1974)                  |
| 潜在帮助者特征 | 与求助者的相似性  | 当个体认为所需求助的任务与自我密切相关时，若个体与潜在帮助者越相近，求助所带来的自我威胁越大，因此，个体越不倾向于求助。                                                                              | (Nadler, 1987)                            |
| 潜在帮助者特征 | 与求助者的社会距离 | 个体与潜在帮助者的社会关系越亲近，两者之间的互惠关系越长远，个体受到负债感的影响越小，求助被拒绝的概率越小。因此，个体更可能向亲近的潜在帮助者求助。                                                                | (Shapiro, 1980)                           |
| 求助者特征   | 性别        | 求助所引起的潜在自尊威胁使得男性或从事男性化职业的个体更不倾向于求助。                                                                                                       | (Cox et al., 2024; Lee, 2002)             |
| 求助者特征   | 年龄        | 随着年龄增长，个体逐渐意识到求助的代价，如求助会被认为是无能的体现，导致求助概率降低。对于老年人来说，一旦其感知到公众污名，会很大程度上抑制求助。                                                                 | (Mackenzie et al., 2019)                  |
| 求助者特征   | 依恋特质      | 安全型依恋的幼儿在面临困难时，相比于不安全型(回避型和矛盾型)幼儿，表现出更明显的有效求助行为倾向，即在真正需要帮助的时候求助，且能够合理利用支持解决问题。                                                            | (Matas et al., 1978)                      |
| 求助者特征   | 自尊特质      | 高自尊者预期求助对自尊的损害更大，相比于有机会回馈条件，他们在没有机会回馈时求助更少；而低自尊者的求助行为却不受回馈机会的影响。                                                                          | (Nadler, 1987; Nadler et al., 1985)       |
| 求助者特征   | 成就动机      | 高成就动机者更倾向于避免求助，因为求助行为会削弱他们通过自身努力获得成就感的价值。                                                                                                 | (Tessler & Schwartz, 1972)                |
| 求助者特征   | 自我监控倾向    | 自我监控是指个体根据外部情境适时调整自己行为的能力。研究表明，在众人面前，自我监控度高的人希望自己表现得慷慨好施，以此获得更高的公众评价和社会地位。因此他们会通过减少求助来塑造其高地位形象。                                           | (Flynn et al., 2006)                      |
| 求助者特征   | 共情偏差      | 个体会系统性地低估潜在帮助者答应其求助请求的可能性，低估他人为帮助而付出的努力，因而规避求助。                                                                                           | (Flynn & Lake, 2008; Newark et al., 2017) |
| 求助者特征   | 自我效能感     | 自我效能感（例如，评估问题是否严重，能否自己解决）越强，个体越不倾向于求助。                                                                                                    | (江光荣 & 王铭, 2003)                          |

第三，为回应意见 1 和 3 关于认知计算模型假设论述简略、模型多样化可能性考虑不足的问题，我们对“3 求助决策的认知计算模型假设”进行了大幅度补充、更新和澄清。

1. 我们重新思考了求助决策相比于其他社会决策的独特性：因其涉及学业、工作、情感、心理健康、生理健康等多种社会情境，并具有解决个人困境或增加个人获益多种决策目标，其背后可能涉及多种的认知计算策略。因此，本文的目标并非为求助决策提出唯一的认知计算模型假设，而是在于整合多方面以往相关理论和实证证据，结合理性决策和有限理性启发式决策理论，为求助决策构建一套系统的候选认知计算模型假设（表 3），从而为未来实证研究奠定重要基础。

具体而言，尽管以往关于不同种类社会决策的研究（如利他、回馈、合作、资源分配等）均认同产生、动态调整 and 个体差异三个视角是理解人类社会决策的关键，但这些研究也同时发现，因不同的社会决策所涉及的认知因素、决策情境存在差异，其产生、动态调整 and 个体差异所涉及的具体认知计算策略和相应的计算模型可能不同，可能为基于价值计算的理性决策，又或者为基于有限理性的启发式决策。而求助决策本身即具有复杂性：因其涉及学业、工作、情感、心理健康、生理健康等多种社会情境，并具有解决个人困境或增加个人获益等多种决策目标，其背后可能涉及多种的认知计算策略。例如，当个体面对亟需解决个人困境的时间和心理压力时，可能更倾向于应用基于有限理性的启发式策略（如病急乱投医），而当个体可以从容地考虑是否求助以增加个人获益时，可能更依赖于基于价值计算的理性决策；而何时运用理性策略、何时运用有限理性启发式策略也可能具有较大的个体差异，受到互动双方特征的调节。因此，在进行正式研究之前，建立系统的、具有竞争性的候选认知计算模型假设至关重要，有助于未来实证研究提前优化实验范式，使其能够有效诱发并分离目标认知因素的加工过程，从而为后续区分相互竞争的计算模型提供关键的行为与神经证据。基于此原则，本文的目标并非为求助决策提出唯一的认知计算模型假设，而是在于整合多方面以往相关理论和实证证据，结合理性决策和有限理性启发式决策理论，为求助决策构建一套系统的候选认知计算模型假设（表 3），从而为未来实证研究奠定重要基础。

表 3. 求助决策的认知计算模型假设

| 决策框架       | 决策阶段             | 模型类型               | 适用决策    | 基本思想                                                                                                                                                              | 主要参考文献                                        |
|------------|------------------|--------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 理性决策       | 决策产生——<br>价值计算   | 收益-成本价值<br>权衡与整合   | 是否 & 向谁 | 表征不同收益、成本因素，形成主观价值；对主观价值进行整合；最终通过价值比较做出预期价值最大的“是否”或“向谁”求助决策。                                                                                                      | (Hu et al., 2022)                             |
|            | 决策动态调整——<br>社会学习 | 强化学习（价值<br>驱动）     | 是否      | 通过预测误差驱动学习，每次求助结果与预期的差异用于更新对“求助决策”的预期价值，进而调整“是否求助”的倾向。其特点是动态、试错式学习，强调内部价值更新（价值驱动）。                                                                                | (Olsson et al., 2018;<br>Olsson et al., 2020) |
|            |                  | 开采-探索（价值-<br>信息驱动） | 向谁      | “向谁求助”，即个体在多个潜在求助对象间进行策略性选择，除使用类似于强化学习的开采策略外，还可能使用探索策略。开采即持续选择当前价值估计最高的对象，此策略直接应用并强化学习成果（价值驱动）。探索即主动尝试非最优选项，以获取新信息（信息驱动）。开采-探索模型的特点是解决多选项决策中的不确定性，关注选择策略而非单纯价值计算。 | (Ligneul, 2019)                               |
| 有限理性<br>决策 | 决策产生             | 单因子决策              | 是否 & 向谁 | 不依赖价值整合，仅基于单一关键线索（如“最友善的人”）做出决策，或通过序列搜索直到找到满意求助选项。特点是认知节省、依赖显著线索，而非全局最优。                                                                                          | (Gigerenzer &<br>Gaissmaier, 2011)            |
|            |                  | 平等性                | 是否 & 向谁 | 对不同线索赋予相同权重，平等对待所有可用信息，或均等求助所有对象。特点是避免偏好偏差、简化信息处理。                                                                                                                | (Gigerenzer et al.,<br>2022)                  |
|            |                  | 满意化                | 是否 & 向谁 | 不追求最优选项，而是设定一个可接受的“期望水平”，选择第一个达到该水平的求助选项。特点是目标为“足够好”而非“最好”。                                                                                                       | (Simon, 1955)                                 |
|            |                  | 社会化启发式             | 是否 & 向谁 | 不依赖价值计算，决策完全基于社会输入，如模仿他人、依赖群体共识或口碑。特点是外部导向、降低个人认知负担。                                                                                                              | (Hertwig et al., 2012)                        |
|            | 决策动态调整           | 赢留-输移              | 是否 & 向谁 | 不进行价值迭代更新，仅根据上一次求助决策结果直接调整。成功则重复同一选择，失败则切换。特点是简单试错、无长期学习。                                                                                                         | (Worthy et al., 2013)                         |

2. 除了之前已经纳入的基于价值计算的理性决策模型假设外，我们根据求助决策的特点补充了有限理性启发式决策模型假设（单因子决策假设、平等性假设、满意化假设、社会化启发式假设、“对留错移”假设等），并对两种模型所适用的情境和决策类型进行了讨论。

详见正文 pp. 18-20, 381-443 行。

### **“3.2 有限理性决策框架下的求助决策**

#### **3.2.1 有限理性决策框架下求助决策产生**

在有限理性决策框架下，求助决策往往通过启发式完成。启发式决策与理性决策模型的根本区别在于对信息处理方式的差异。理性决策模型追求对全部可用信息进行系统整合与加权，而启发式是一种适用于不确定性情境的决策程序，它通过主动忽略部分信息，以比复杂方法更快速、更节省认知资源，有时甚至更准确地做出判断(Gigerenzer & Gaissmaier, 2011)。基于“生态理性”(Ecological rationality, 即研究策略在何种环境条件下更优)理论，Gigerenzer et al. (2022)提出了“聪明启发式适应性工具箱(The adaptive toolbox of smart heuristics)”的概念，进而归纳出个体在适应不同环境时常用的一套启发式工具，主要包括单因子决策(One-reason decision making)、平等性(Equality)、满意化(Satisficing)与社会化启发式(Social heuristics)几大类。下文将以该启发式适应性工具箱为基础，提出同时适用于“是否求助”和“向谁求助”决策产生的具体启发式假设。

。。。。

#### **3.2.2 有限理性决策框架下求助决策的动态调整**

求助决策并非一成不变，而是在互动中不断动态调整的过程。在经典理性决策框架下，这种调整通常被建模为通过社会学习进行的主观价值更新，即个体根据互动反馈不断修正对他人可信度或决策价值的估计，进而优化后续决策。

然而，在实际求助情境中，个体可能会面临信息不完整、时间压力或认知负荷等限制。在此类条件下，决策者可能采用更为简单、节俭的有限理性启发式策略来完成动态调整。例如，“对留错移”启发式(Win-Stay, Lose-Shift) 便是一种典型的过程性调整策略(Worthy et al., 2013):

。。。。”

3. 对于理性框架下的模型假设，我们根据建议纳入了非线性模型的可能性。

详见正文 p. 15, 282-287 行。

“除此之外，针对“是否求助”和“向谁求助”决策的收益-成本价值整合过程，我们还提出其他的可能性。例如，（1）个体在决定“是否求助”或“向谁求助”时，可能只根据某一或少数特定因素而非所有因素，例如求助获益、社会拒绝成本或回馈焦虑成本中的一个或两个因素，形成“求助”决策主观价值；（2）结合边际效用递减规律，随着求助获益和成本的增加，获益和成本的边际效用可能将递减，即为非线性更新，个体对等量获益和成本增量的敏感性会降低。”

4. 我们进一步根据新的认知计算模型假设框架，更新了“3.3 互动双方特征的调节——个体差异”和“4 求助决策认知计算与神经机制研究的未来展望”相关内容，以更好地指明未来研究所应关注的关键科学问题，并提供系统的理论和方法学基础。详见正文 pp. 20-26。

我们相信，上述修改已充分回应编委专家所提出的所有问题，并使得本文论文质量有了大幅度提升，符合《心理科学进展》的刊发标准。再次感谢编委专家的宝贵意见！

---

## 第二轮

### 审稿人 1 意见：

这篇修改后的综述论文系统性地探讨了求助决策的认知机制，通过整合理论与实证研究，提炼核心认知成分，并构建了一个包含决策产生、动态调整和互动特征调节的三层次认知计算框架，为未来研究提供了理论基础和方法学展望。

本文的亮点在于创新性地将认知计算建模应用于求助决策这一新兴领域，首次提出了系统的候选模型假设（如理性决策和有限理性启发式策略），推动了求助决策研究从定性描述向定量解析的转变。

框架结构清晰，融合了多学科视角（如社会心理学、神经科学），具有重要的理论意义——不仅深化了对人类互助-互惠行为的理解，还为心理健康干预、组织管理等应用场景提供了机制性指导。

尤其值得肯定的是，作者在修改稿中大幅补充了模型假设部分（如强化学习、启发式策略），较好地回应了审稿意见。

**回应：**非常感谢外审专家对本文的审阅、认可以及宝贵的建设性意见！根据建议，我们对“引言”部分进行了结构调整和内容凝练，以更好地突出本文研究意义和重要性；对“核心认知成分凝练”部分进行了调整，以突出核心和骨干；对“是否求助”相关的措辞和计算模型假设进行调整，使其从简单的二项选择，扩展为包含求助、独立解决、等待/拖延、放弃等多种选择在内的策略权衡，以增加模型的可推广性和生态效度。相信经过本次修改，本文的质量得到了进一步重要提升。详情请见下述回应和修改说明。

**意见 1：**我提出以下建议供参考：

第一部分（引言）冗余，当前用了近 3000 字阐述研究意义和特殊性，内容略显重复，建议精炼并突出重点。例如，可以分条列出求助决策的独特性（如多情境复杂性、时间压力下的策略切换），而非泛泛而谈社会决策的通用性。目前内容未能清晰区分求助决策与其他社会决策（如合作决策）的特殊性，导致“为何单独研究求助决策”这一核心问题不够突出。若能聚焦求助决策在解决个人困境时的独特认知负荷（如“病急乱投医”启发式），将更有力体现其研究价值。

**回应：**根据建议，我们对“引言”进行了两方面修改，以精炼文字并突出重点。

**1. “1.1 求助决策研究的重要意义”部分，我们以分条列点的方式提出了求助决策的独特性（p.2, 42-51 行）：**

“值得注意的是，求助决策并非合作或其他社会决策的简单子类，其本身具有区别于其他社会决策的独特性：（1）复杂性：求助决策涉及学业、工作、情感、心理健康、生理健康等多种社会情境，并具有解决个人困境或增加个人获益等多种决策目标(Fan & Lin, 2023; Lim et al., 2020; McLaren et al., 2023; Sijben et al., 2024)。因此，不同社会情境或决策目标下的求助决策可能既具有一般性、又具有特异性的心理和认知过程；（2）情境特殊性：求助决策时常发生在时间压力大、认知资源紧张的特殊情境下（如危机处理、紧急任务等）(Lee, 1997)，这可能导致个体无法进行完全理性的分析，并可能采用快速、更节省认知资源的有限理性启发式策略(Gigerenzer et al., 2022)（例如“病急乱投医”式地广泛求助，或“依赖最熟悉者”的单一对象求助策略）。因此，目前社会决策领域（如合作、资源分配等研究）广泛应用的、基于价值权衡的理性决策框架难以应用于全面理解求助决策(Hu et al., 2022)。”

2. “1.2 认知计算框架的构建是理解求助决策机制的关键路径”部分，重新组织内容结构，删除冗余文本，重点突出提出“求助决策研究的认知计算框架”的重要性和方法路径（pp.3-4，66-97行）：

### “1.2 认知计算框架的构建是理解求助决策机制的关键路径

在心理学、认知科学和脑科学极具影响力的 David Marr 三层次框架(Marr's Level of Analysis Framework; Marr, 2010)认为，研究者需要揭示行为的目标和适应性功能（计算层级，Computation）、解析行为背后的认知计算机制（算法层级，Algorithm），并探究行为背后的神经生物学基础（实现层级，Implementation），从而实现对于行为的系统性理解(Cushman, 2024; Lockwood et al., 2020; Yu et al., 2024)。其中，构建“认知计算框架”，即确定行为背后的核心认知成分、以认知计算建模的方式将其转化为可计算的模型，定量刻画个体如何权衡和整合各类核心认知成分以最终产生和动态调整行为，是开发恰当的实证范式、收集实证数据、检验和优化认知计算假设与进行基于认知计算模型的脑成像研究的关键前提，是串联三层次机制研究的关键环节(Cohen et al., 2017; Cushman, 2024; Guest & Martin, 2021; Hu et al., 2022; Konovalov et al., 2018; Qu et al., 2022; Ruff & Fehr, 2014; Vahed et al., 2024; van Dijk & De Dreu, 2021; Yu et al., 2024)。近年来此类思想和方法已经被成功应用于众多社会决策研究中，如利他决策(Hu et al., 2021; Hu et al., 2023; Wu et al., 2024)、受助者回馈行为(Gao et al., 2024)、资源分配和不公平厌恶(Gao et al., 2018; Li et al., 2022; Yu et al., 2022)、合作行为(Jin et al., 2022; Philippe et al., 2024; PISAURO et al., 2022; Zajkowski et al., 2024)等，为理解和研究人类社会决策的认知计算神经机制提供了重要的理论和实证基础。

然而，以往求助决策研究或主要通过理论分析(Nadler, 2015)、或应用问卷调查、情境想象或一次性真实社会互动等方法(Carnevale et al., 2021; Davison et al., 2023; Doll et al., 2021; Flynn & Lake, 2008; Juhl et al., 2021; Stokes & Bickman, 1974; Zhao & Epley, 2022)探究促进和阻碍个体求助的单一或少数几个心理变量和影响因素（图 1；详见下文）。此类研究面临两方面重要局限：（1）碎片化的研究视角不利于求助决策系统性知识体系的构建与核心认知成分的提炼(Anvari et al., 2025)；（2）定性的研究手段难以定量解析决策背后核心认知成分权衡和整合的认知计算机制，亦阻碍了以此为基础的神经机制解析和适应性功能理解(Hu et al., 2022; Yu et al., 2024)。

为了解决以上问题，本文应用整合与量化的视角，提出求助决策研究的认知计算框

架：（1）在系统总结与梳理理论和实证研究的基础上，提炼求助决策的核心认知成分，提出求助决策研究的关键环节，解决以往研究碎片化、难以构建系统性知识体系等问题，为后续研究提供更为清晰的理论基础；（2）将社会和经济决策的认知计算理论，包括理性决策和有限理性启发式决策理论，深化拓展并应用于求助决策研究，为求助决策构建一套系统的候选认知计算模型假设；（3）以认知计算模型假设为基础，提出未来求助决策认知计算与神经机制研究的关键科学问题与研究方法展望。本文将为未来求助决策及相关合作行为的认知计算与神经机制研究提供新的研究思路、机制假设和方法论。”

**意见 2：**2.1 部分（核心认知成分提炼）存在罗列现象，该部分虽以表格形式总结了影响因素，但更多是罗列而非“提炼”，未能深入挖掘认知成分的内在逻辑。也建议进一步凝练，不求面面俱到，而且突出核心和主干。

**回应：**感谢审稿专家指出该问题。在上一轮修改后，本文的重点和创新性主要在于“3 求助决策的认知计算模型假设”的提出。虽然“2 求助决策核心认知成分的提炼与研究框架的构建”是认知计算模型假设的重要基础，但如审稿人所述，该部分过多信息的罗列，会影响读者对于文章重点的把握。因此，**我们（1）对理论和实证研究的两个表格的结构进行了调整，体现核心认知成分的凝练，并将这两个表格放到了附录中；（2）对该部分文字进行了进一步的凝练，突出核心逻辑。**这一修改可以更好地突出本文的重点，也能使得读者的阅读更为流畅。详见 p.4，99-110 行：

#### **“2.1 基于理论与实证研究的求助决策核心认知成分提炼**

根据上文所述求助的定义(Lee, 1997, 2002; Nadler, 2015)，求助决策涉及三个关键阶段：（1）需求感知，即个体感知到自己具有解决个人困境或增加个人获益的需求，是求助的起因和推动力；（2）人际请求，即个体主动发起求助请求，是求助的重要环节；（3）互惠交换，即接受帮助后的回馈行为，是求助的重要结果。

通过对以往理论研究（附表 1）和实证研究（附表 2）的系统总结、梳理和分析，本文发现：（1）以往求助相关理论所关注的心理变量与认知成分分别与上述三个阶段密切相关：需求感知阶段的求助获益、人际请求阶段的社会拒绝和互惠交换阶段的回馈焦虑，可能是求助决策的三个基本核心认知成分；其中，求助获益是促进求助的认知成分，而社会拒绝和回馈焦虑是阻碍求助的认知成分（附表 1-2）；（2）互动双方（求助者与潜在帮助者）的特征是调节求助决策的重要核心认知成分（附表 2）。因此，本文以这四类核

心认知成分（图 1）为基础和重点进行后续“求助决策的认知计算模型假设”的构建。”

**意见 3：**3.1.1 节（理性决策框架）的局限性，该节将求助决策简化为“是否求助”的二元选择，但现实中求助是多种解决方式中的一种（如比较求助、自我努力或放弃）。这种简化可能降低研究的生态效度，建议扩展模型以涵盖求助与其他选项的比较，例如通过多选项决策框架（如“选择求助” vs. “选择拖延”）来突出求助决策的独特性，从而更好体现其社会情境复杂性。

**回应：**感谢审稿专家的这一极具启发性的意见！我们完全同意审稿专家所指出的，“是否求助”决策实际上是一种应对策略选择，即意识到自身解决问题能力受限后，个体需要在“主动求助”（主动发起求助）、“独立解决”（继续尝试独立解决问题）、“放弃解决”（直接独立承担后果）、“等待帮助”（等待他人发现自身困境并主动帮助）或“拖延等待”（不做出上述选择等待事态变化）等不同应对方式之间做出选择。以往研究多采用将“主动求助”与其他应对策略（即不求助）相对比的研究视角，以“是否求助”作为研究对象和决策指标，但这一研究方式的可推广性和生态效度受限。**作为一篇为未来求助决策研究奠定重要理论基础和提出对应认知计算模型的观点性文章，本文应该将视角扩展至“应对策略选择”，而不是仅仅聚焦于“是否求助”决策。因此，我们修改了“1 引言”部分以及全文对求助决策类型的阐述，以引言修改为例（pp.2, 29-41 行）：**

“因此，求助决策，即个体如何做出“是否”或“向谁”求助的决策，一直是社会心理学(Juhl et al., 2021; Teng et al., 2024; Zhao & Epley, 2022)、组织管理心理学(Davidai, 2025; Friedman et al., 2018; Lim et al., 2020)、教育心理学(Fan & Lin, 2023; Fong et al., 2023; Ruihua et al., 2025)和临床心理学(Clement et al., 2015; McLaren et al., 2023, 2024)等诸多领域广泛关注的科学问题。其中，“是否求助”决策实际上是一种应对策略选择，即意识到自身解决问题能力受限后，个体需要在“主动求助”(Lee, 1997; 主动发起求助)、“独立解决”(Shute et al., 2016; 继续尝试独立解决问题)、“放弃解决”(Law et al., 2026; 直接独立承担后果)、“等待帮助”(Crocker et al., 2017; 等待他人发现自身困境并主动帮助)或“拖延等待”(Zhong et al., 2025; 不做出上述选择等待事态变化)等不同应对方式之间做出选择。以往研究多采用将“主动求助”与其他应对策略（即不求助）相对比的研究视角，以“是否求助”作为研究对象和决策指标。“向谁求助”决策实际上是一种求助对象选择，即决定“发起求助”后，个体需要决定“向谁求助”以更好地解决自身问题并规

避潜在成本(Luo et al., 2024; 如求助被拒、回馈焦虑等)。”

更重要的是,受到该意见的启发,我们重新思考了“应对策略选择”和“求助对象选择”两类决策之间的关系,并认为本文所提出的理性和有限理性认知计算模型框架,其实是这两类决策的一般性、整合性机制框架。具体来说,为了操纵与测量方便,以往研究通常将“应对策略选择”和“求助对象选择”视为一先一后两个决策过程、进行独立研究。然而,一方面,这两类决策可能并非完全独立,例如当潜在求助对象较少时,个体可能直接在“求助潜在帮助者 1”、“求助潜在帮助者 2”、“独立解决”、“等待帮助”等选项中进行一次性、而非先后两次选择。因此,提供理解两种决策的整合性机制框架,有助于更为全面、系统地理解求助决策。另一方面,这两类决策(无论涉及两项选择或者多项选择)本质均是对于潜在选项的加工和权衡,因此均可以基于理性决策、有限理性启发式决策、理性决策与有限理性启发式决策间的转换、以及互动双方特征的调节的认知框架进行建模(表 1)。因此,在**“3 求助决策的认知计算模型假设”**部分,我们不再将“应对策略选择”和“求助对象选择”的模型假设进行分开阐述,而是强调我们的模型假设可以同时适用于理解两类决策,同时对该部分的模型展示和介绍也进行了相应的全面修改(pp.6-25, 150-614 行)。以该部分“认知计算模型假设提出的基本思路”修改为例(pp.7-8, 175-202 行):

“认知计算模型假设提出的基本思路如下:

第一,聚焦决策产生与动态调整机制,延伸至关于互动双方特征调节作用的讨论。如上所述,决策产生和动态调整过程的解析是理解求助决策基本机制的关键,因此本文首先分别针对这两个关键认知过程提出相应的认知计算模型假设,并以此为基础提出互动双方特征调节两类认知计算过程的潜在靶点。

第二,兼顾理性决策与有限理性启发式决策。现有社会决策理论多聚焦于一般交互情境下的个体决策过程(如与单一或少数几个对象的二元或多项选择),并指出个体往往通过期望效用最大化的价值计算与社会学习,来驱动决策及其动态调整。然而,这些研究往往未能充分考虑复杂情境(如信息过载或面临众多潜在互动对象)与特殊情境(如时间压力、认知负荷)对决策策略的影响。面对兼具复杂性和特殊性的求助决策,个体如何在基于理性计算的价值权衡与基于启发式的快速适应之间进行选择,成为一个关键而尚未充分探讨的科学问题。因此,本文不仅引入社会决策研究中提出的多种理性价值计算与社会学习模型,同时纳入多种有限理性启发式策略作为备择假设,进而有助于未来研究揭示两类策略各自适用的情境条件与认知边界。

第三，提供理解“应对策略选择”和“求助对象选择”的一般性、整合性机制框架。

如前所述，日常生活中个体不仅需要在“主动求助”、“独立解决”、“放弃解决”、“等待帮助”或“拖延等待”等不同应对策略之间做出选择，还需要在面临多个潜在帮助者时决定向谁寻求帮助。为了操纵与测量方便，以往研究通常将“应对策略选择”和“求助对象选择”视为一先一后两个决策过程、进行独立研究(Lee, 1997; Luo et al., 2024)。然而，一方面，这两类决策可能并非完全独立，例如当潜在求助对象较少时，个体可能直接进行“求助潜在帮助者 1”、“求助潜在帮助者 2”、“独立解决”、“等待帮助”等选项中进行一次性、而非先后两次选择。因此，提供理解两种决策的整合性机制框架，有助于更为全面、系统地理解求助决策。另一方面，这两类决策（无论涉及两项选择或者多项选择）本质均是对潜在选项的加工和权衡，因此均可以基于下文所述的理性决策、有限理性启发式决策、理性决策与有限理性启发式决策间的转换、以及互动双方特征的调节的认知框架进行建模（表 1）。”

**相信通过上述修改，本文所提出的求助决策的认知计算模型假设在可推广性和生态效度上具有重要提升。**

**意见 4：**建议避免过度聚焦于初始的“是否”决策，当前框架更接近“其他选项不可选时的求助决策”，如如何选择求助对象（如基于社会距离或能力评估）。

**回应：**根据意见 3，本文应已经将视角扩展至“应对策略选择”，而不是仅仅聚焦于“是否求助”决策，以提高本文认知计算模型假设的可推广性和生态效度。请见上文对意见 3 的回应和修改。

**意见 5：**总体而言，本文具备较高的学术价值，若能在上述方面加以完善，将更贴合实际应用场景，并为后续实证研究提供更精准的指导。

**回应：**非常感谢审稿人对本文的肯定。我们已根据建议，对文章进行了更全面地补充和完善，相信经过本次修改，论文质量已得到大幅度提升，能够为未来求助决策及相关社会决策研究提供理论指导和方法论。

.....

审稿人 2 意见：

本文重点关注求助行为决策机制的研究，系统整合了求助决策的核心认知成分与心理模型，构建了涵盖“决策产生-动态调整-互动双方特质调节”的认知计算框架，并且提出了由此引发的研究展望，论文结构有了较大改善，但是仍有一些问题需要加强解释。

回应：非常感谢外审专家对本文的审阅、认可及宝贵意见。我们已经根据建议，补充“理性决策”与“有限理性启发式决策”的切换、潜在备择假设的数学模型及区分、有限理性启发式决策策略的计算模型假设等内容，并对全文文字进行优化，以提高可读性。

意见 1：作者在文中较为系统地梳理了“理性决策模型”与“启发式策略模型”两类决策框架，但在真实决策情境中，这两类模型如何在个体内部实现切换，本身是一个极具理论价值的问题。当前作者仅在第 483 - 488 行对该问题进行了简要讨论，若能进一步阐明个体的“决策模型切换”的条件，揭示两类模型在个体内部的动态交互机制，而非仅将其作为并列的假设，会进一步加强文章的解释力。

回应：根据建议，我们把“理性决策与有限理性启发式决策的转换”作为求助决策的认知计算模型假设关键部分，纳入了表 1 和正文论述，以提高本文的理论价值：

**1. 重点突出强调理性决策模型和有限理性启发式模型在个体内部进行转换的潜在认知机制，提出理性和有限理性启发式双系统的复合模型假设(pp.22-23, 525-557 行)：**

**“3.3 求助决策策略在理性决策与有限理性启发式决策间的转换**

前文分别阐述了理性决策与有限理性决策框架下，求助决策产生和动态调整的若干认知模型假设。然而，在日常生活中，个体往往并非静态地固守于某一种模型策略。相反，个体能够根据自身状态和外界环境，在精细的“理性价值计算”与高效的“有限理性启发式”之间动态转换。这引出了一个更深层的问题：驱动策略转换的认知机制为何？

认知心理学与神经科学的大量证据表明，人类的决策依赖于多种子系统协同完成。其中，最经典且富有影响力的框架之一是 Kahneman (2011)提出的“双系统”理论。该理论将认知过程划分为两种系统：系统 1（快速、直觉、情绪化）与系统 2（缓慢、审慎、具有逻辑性），系统 1 能毫不费力地产生直觉性的印象与感觉，而这些印象与感觉构成了系统 2 进行审慎思考、形成理性信念或做出选择时所依赖的主要来源。类似的，强化学习领域也认为个体的学习过程存在双系统认知过程：其一是无模型(Model-Free)系统，它

使个体倾向于重复那些在过往经验中曾带来奖励的特定行为；其二是基于模型(Model-Based)系统，它使个体能够基于对环境的心智模型进行规划，从而做出对应决策以获得奖励(Daw et al., 2005; Feher da Silva et al., 2023)。

基于以往理论的“双系统”理论思路，本文提出，面对不同的决策情境时，大脑会赋予两种系统的使用权重不同，使得决策者能够根据具体情境在“理性”与“有限理性”两种策略之间灵活切换。例如，当个体面临不确定性、时间压力或存在较大认知负荷（如选项过多、认知疲劳）时，大脑可能更加倾向于使用“有限理性”模式，而当个体可以从容地考虑是否求助以增加个人获益时，可能更加倾向于使用理性决策。在数学形式上，参照以往关于无模型(Model-Free)和基于模型(Model-Based)系统的强化学习实证研究(Feher da Silva et al., 2023)，这一转换过程可以用两类策略加权（公式 35）形式进行刻画，以帮助在实证研究中定量刻画不同情境下或不同个体对两种策略的依赖程度：

$$S_{Final} = w * S_{Rational} + (1 - w) * S_{Heuristics} \quad \text{公式 35}$$

其中，权重参数  $w$  表征了在当前情境下，相比于启发式策略  $S_{Heuristics}$ ，决策者对理性策略  $S_{Rational}$  的依赖程度，其取值范围为[0,1]。当  $w = 1$  时，决策完全由理性系统主导，对应于经典的理性决策模型；当  $w = 0$  时，最终决策  $S_{Final}$  完全由有限理性启发式系统主导，对应于纯粹的有限理性启发式决策。在某些特定情况下， $w$  取中间值，表明最终决策  $S_{Final}$  是两种系统输出的混合。

然而，需要注意的是，在整个决策领域，大脑究竟如何选择或者权衡理性和有限理性策略仍是未解之谜。该过程可能是一个基于以往决策经验的、“自下而上”的自动化过程，也可能是一个“自下而上”的、个体主动灵活选择策略的过程。因此，上述模型公式仅用于在实证研究中定量刻画个体决策偏好，但不代表着策略选择和转换的过程完全是一个价值权衡的过程。”

## 2. 强调互动双方特征不仅调节理性和有限理性启发式决策本身，还可能调节两种系统的转换，进一步拓展本文所提出的双系统认知模型的适应性（p.25, 599-614 行）：

### “3.4.3 互动双方特征调节理性决策和有限理性启发式决策的策略转换

值得注意的是，以上关于互动双方特征影响理性决策和有限理性启发式决策的讨论，还指向一个问题：个体在何时会采用理性决策，又在何时会转向有限理性启发式决策？这一策略选择过程本身，同样可能受到互动双方特征的系统性调节。本文认为，个体的求助决策受到理性和有限理性启发式双系统的调控，最终的行为输出取决于哪个系统在

特定情境下具有更高的“权重”。因此，互动双方特征可能通过调节双系统加工过程进而影响个体的求助决策：例如，作为求助者的重要特质，个体的理性倾向决定了策略选择的基线偏好(Stanovich, 1999)，高理性倾向者的理性系统权重可能更大，意味着其更依赖精细计算，而低理性倾向者的有限理性启发式系统权重可能更大，意味着其更倾向于快速启发式判断。然而，这一偏好基线可能会因特殊情境（如时间紧迫、思维负担过重）而发生改变——当认知资源不足时，有限理性启发式系统因其“快速”的优势可能会被优先启动（具有更大的权重），从而暂时取代需要深度计算的理性策略，主导当下的决策。同时，潜在帮助者的特征也可能影响这一权衡过程：当求助对象是权威专家时，精细计算的边际收益显著降低，这使得即便高理性倾向者也可能出于认知经济性原则，转而采用“信任权威（即，口碑传播）”这一高效的启发式策略（增大有限理性启发式系统权重，减少理性系统权重）(Gigerenzer, 2002; Gigerenzer et al., 2022)。”

表 1. 求助决策的认知计算模型假设

| 决策框架      | 决策阶段     | 模型类型            | 基本思想                                                                                                                                     | 主要参考文献                                     |
|-----------|----------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 理性决策      | 决策产生——   | 收益-成本价值权衡与整合    | 表征不同收益、成本因素，形成主观价值；对主观价值进行整合；最终通过价值比较做出预期价值最大的选择。                                                                                        | (Hu et al., 2022)                          |
|           | 价值计算     |                 |                                                                                                                                          |                                            |
|           | 决策动态调整—— | 强化学习（价值驱动）      | 通过预测误差驱动学习，每次求助结果与预期的差异用于更新对选项的预期价值，进而调整决策。其特点是动态、试错式学习，强调内部价值更新(价值驱动)。                                                                  | (Olsson et al., 2018; Olsson et al., 2020) |
|           | 社会学习     | 开采-探索（价值-信息双驱动） | 个体面对多个潜在选择时，可能采用开采-探索（价值-信息双驱动）策略。开采即持续选择当前价值估计最高的对象，此策略对应于价值驱动的强化学习过程。探索即主动尝试其他选项，以获取新信息（信息驱动）。开采-探索模型的特点是解决多选项决策中的不确定性,关注选择策略而非单纯价值计算。 | (Ligneul, 2019)                            |
| 有限理性启发式决策 | 决策产生     | 单因子决策           | 不依赖价值整合，仅基于单一关键线索（如“最友善的人”）做出决策，或通过序列搜索直到找到满意选项。特点是认知节省、依赖显著线索，而非全局最优。                                                                   | (Gigerenzer & Gaissmaier, 2011)            |
|           |          | 平等性             | 对不同线索赋予相同权重，平等对待所有可用信息，或均等尝试所有选项（如求助所有对象）。特点是避免偏好偏差、简化信息处理。                                                                              | (Gigerenzer et al., 2022)                  |
|           |          | 满意化             | 不追求最优选项，而是设定一个可接受的“期望水平”，选择第一个达到该水平的求助选项。特点是目标为“足够好”而非“最好”。                                                                              | (Simon, 1955)                              |
|           |          | 社会化启发式          | 不依赖价值计算，决策完全基于社会输入，如模仿他人、依赖群体共识或口碑。特点是外部导向、降低个人认知负担。                                                                                     | (Hertwig et al., 2012)                     |
|           | 决策动态调整   | 赢留-输移           | 不进行价值迭代更新，仅根据上一次结果进行直接的决策调整。成功则重复同一选择，失败则切换。特点是简单试错、无长期学习。                                                                               | (Worthy et al., 2013)                      |

|                    |               |              |                                                                           |                                               |
|--------------------|---------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 理性决策与有限理性启发式决策间的转换 | 决策产生 & 决策动态调整 | 复合双系统模型      | 面对不同的决策情境时，大脑赋予两种系统的使用权重不同。使得决策者能够根据具体情境在“理性”与“有限理性”模式之间灵活切换。             | (Feher da Silva et al., 2023; Kahneman, 2011) |
| 互动双方特征的调节          | 上述各决策阶段       | 调节上述各模型的关键参数 | 互动双方的特征可能调节了决策产生和决策动态调整的理性加工、有限理性加工，以及理性与有限理性的转换过程中的模型关键参数，进而产生决策偏好的个体差异。 | (Gigerenzer, 2002; Stanovich, 1999)           |

意见 2：文中提到了“潜在备择模型”的描述，但是并未给出不同模型之间的适用条件或者可区分性，建议进一步整合或者区分。

回应：根据建议，我们对每部分的“潜在备择模型”进行了更详细的解释和说明，论述不同备择模型对应的认知假设，以凸显不同备择模型之间的使用条件和区分性。详见正文（pp.12-13，251-275 行）、正文（pp.14-16，315-350 行）、正文（pp.17-18，378-411 行）：

“潜在备择模型：

除此之外，针对收益-成本价值整合过程，本文还提出其他的可能性。

（1）基于特定因素的求助决策价值模型

该模型假设，不同个体求助决策所依赖的核心价值成分可能存在差异。即，个体可能只根据某一或少数特定因素而非所有因素，如求助获益、社会拒绝成本或回馈焦虑成本中的一个或两个因素，形成求助决策主观价值。例如，部分个体的求助决策可能几乎完全由“求助获益”驱动（收益主导型），而对社交成本不敏感；另一些个体的求助决策则可能主要受“社会拒绝”或“回馈焦虑”支配（成本规避型）。这些差异可以通过设置不同个数或大小的收益、成本权重参数来捕捉。以收益主导型求助决策为例（公式 3）：

$$Value_{Choose\ potential\ helper\ 1} = w_{Benefit} * Benefit_{seek\ help} \quad \text{公式 3}$$

该模型表示个体决策时只考虑获益因素，而不包含其他成本因素，其中关键参数  $w_{Benefit}$  代表个体对求助获益的考虑权重。

（2）基于边际效用递减的非线性价值整合模型

结合边际效用递减规律，随着求助获益和成本的增加，获益和成本的边际效用可能将递减，即为非线性更新，个体对等量获益和成本增量的敏感性会降低。其核心假设为：随着收益或成本的绝对值增大，其每增加一单位所带来的心理感受变化会逐渐变小，这一定程度上反映了个体的社会适应性。这一特征可以通过非线性的收益、成本价值刻画来捕捉。以所有收益、成本因素皆为非线性价值整合为例（公式 4）：

$$Value_{Choose\ potential\ helper\ 1} = w_{Benefit} * Benefit_{seek\ help}^{Y_{Benefit}} - w_{Rejection\ Cost} * Rejection\ Cost_{seek\ help}^{Y_{Rejection\ Cost}} - w_{Repayment\ Cost} * Repayment\ Cost_{seek\ help}^{Y_{Repayment\ Cost}} \quad \text{公式 4}$$

其中， $w_{Benefit}$ 、 $w_{Rejection\ Cost}$  和  $w_{Repayment\ Cost}$  代表个体对求助获益、社会拒绝成本和回馈焦虑成本的考虑权重。随着求助获益和成本的增加，获益和成本的边际效用可能将递减，即个体对等量获益和成本增量的心理价值评估会降低。该递减速率由敏感性系

数 $\gamma_{Benefit}$ 、 $\gamma_{Rejection Cost}$ 和 $\gamma_{Repayment Cost}$ ( $0 < \gamma < 1$ )刻画。

ooo

潜在备择模型：

本文还提出其他的求助决策强化学习可能性。

#### (1) 社会学习部分——非对称性强化学习

经典的强化学习模型假设个体对正负反馈的学习速率是相同的。然而，神经科学证据表明，个体学习可能存在非对称性(Niv et al., 2012)。个体对消极预期误差的学习可能快于对积极预期误差的学习，即存在适应性的“负面偏差”，有助于个体快速规避威胁。预期误差的正负可能导致获益和成本的主观价值通过不同的学习率更新（公式 11-13）。该模型可能更适用于社会风险较高的情境或焦虑特质显著的个体。其意义在于，该模型揭示了求助决策可能旨在快速规避社会威胁而非最大化长期收益。

$$Benefit_{seek\ help}^t = \begin{cases} Benefit_{seek\ help}^{t-1} + \alpha_{Benefit}^{Positive} * PE_{Benefit}^{t-1} & \text{if } PE_{Benefit}^{t-1} > 0 \\ Benefit_{seek\ help}^{t-1} + \alpha_{Benefit}^{Negative} * PE_{Benefit}^{t-1} & \text{if } PE_{Benefit}^{t-1} < 0 \end{cases}$$

公式 11

$$Rejection\ Cost_{seek\ help}^t = \begin{cases} Rejection\ Cost_{seek\ help}^{t-1} + \alpha_{Rejection\ Cost}^{Positive} * PE_{Rejection\ Cost}^{t-1} & \text{if } PE_{Rejection\ Cost}^{t-1} > 0 \\ Rejection\ Cost_{seek\ help}^{t-1} + \alpha_{Rejection\ Cost}^{Negative} * PE_{Rejection\ Cost}^{t-1} & \text{if } PE_{Rejection\ Cost}^{t-1} < 0 \end{cases}$$

公式 12

$$Repayment\ Cost_{seek\ help}^t = \begin{cases} Repayment\ Cost_{seek\ help}^{t-1} + \alpha_{Repayment\ Cost}^{Positive} * PE_{Repayment\ Cost}^{t-1} & \text{if } PE_{Repayment\ Cost}^{t-1} > 0 \\ Repayment\ Cost_{seek\ help}^{t-1} + \alpha_{Repayment\ Cost}^{Negative} * PE_{Repayment\ Cost}^{t-1} & \text{if } PE_{Repayment\ Cost}^{t-1} < 0 \end{cases}$$

公式 13

其中， $\alpha_{Benefit}^{Positive}$ ， $\alpha_{Rejection\ Cost}^{Positive}$ ，和 $\alpha_{Repayment\ Cost}^{Positive}$ 分别代表预期误差为正时，个体对求助获益、社会拒绝成本和回馈焦虑成本的学习率； $\alpha_{Benefit}^{Negative}$ ， $\alpha_{Rejection\ Cost}^{Negative}$ ，和 $\alpha_{Repayment\ Cost}^{Negative}$ 分别代表预期误差为负时，个体对求助获益、社会拒绝成本和回馈焦虑成本的学习率。

#### (2) 社会学习部分——社会成本统一学习模型

此外，个体在动态学习过程中，可能采用一个统一的学习率 $\alpha_{Social\ Cost}$ 来更新所有社会成本，即，个体可能从一次被拒绝的求助经历中学到的信息，与从一次无法回馈的求助经历中学到的信息，在其认知系统中被同等程度地更新加工（公式 14-15）。该模型可能更适用于个体对不同社会成本进行“整体打包”评估的初期学习阶段。其意义在于提出了社会成本认知可能存在“概括化”加工，而非独立存储与计算的简化机制。该模型

假设 $\alpha_{Rejection Cost}$ 和 $\alpha_{Repayment Cost}$ 参数具有相同取值，即同为 $\alpha_{Social Cost}$ 。

$$Rejection Cost_{seek\ help}^t = Rejection Cost_{seek\ help}^{t-1} + \alpha_{Social Cost} * PE_{Rejection Cost}^{t-1} \quad \text{公式 14}$$

$$Repayment Cost_{seek\ help}^t = Repayment Cost_{seek\ help}^{t-1} + \alpha_{Social Cost} * PE_{Repayment Cost}^{t-1} \quad \text{公式 15}$$

其中， $\alpha_{Social Cost}$ 代表个体更新社会拒绝成本和回馈焦虑成本价值的统一社会成本学习率。

### （3）价值权衡和整合部分——基于特定因素的求助决策价值模型

与求助决策产生部分的备择假设相同，即，个体可能只根据某一或少数特定因素而非所有因素，如求助获益、社会拒绝成本或回馈焦虑成本中的一个或两个因素，形成求助决策主观价值（公式 3），详见上文。

### （4）价值权衡和整合部分——基于边际效用递减的非线性价值整合模型

与求助决策产生部分的备择假设相同，即，结合边际效用递减规律，随着求助获益和成本的增加，获益和成本的边际效用可能将递减，即为非线性更新，个体对等量获益和成本增量的敏感性会降低（公式 4），详见上文。

。。。 ”

**意见 3：**关于有限理性决策中的单因子决策、平等性、满意化与社会化启发式以及动态调整中的“对留错移”等假设，当前作者仅以罗列和简单举例说明，没有体现本文“量化”的目标。

**回应：**根据建议，我们针对每一种有限理性启发式假设，都补充了对应的认知模型公式，以实现“量化”的目标，同时在未来展望部分指出目前启发式策略研究仍面临数学模型转化不足的问题，说明未来研究的发展方向。

## 1. 补充有限理性启发式决策假设对应的数学模型，以期量化个体的启发式求助决策。

在“3.2 有限理性决策框架下的求助决策”部分，我们一一对应补充了启发式假设对应的数学模型（pp.18-22，412-524 行）。

“。。。 ”

### ①单因子决策假设：

而单因子决策模型则认为，在特定情境中，决策者可依靠一条具有足够诊断力的关键线索实现快速且有效的判断(Gigerenzer & Gaissmaier, 2011)。

单因子决策模型主要包括两种形式：单一聪明线索(One-clever-cue)启发式与序列搜索(Sequential search)启发式。若个体仅依据某一核心因素，如求助可能带来的获益、社会拒绝成本或无法回馈成本中的任意一项，无需对其加权整合形成主观价值，而是直接做出决定，则可视为采用了单一聪明线索启发式（公式 25）。例如，只要判断某位求助对象能够带来获益，个体便决定向其求助。

$$D = \begin{cases} i & \text{if } C_{i,m} = 1 \\ 0 & \text{if } C_{i,m} = -1 \end{cases} \quad \text{公式 25}$$

其中， $m$  用于标识或索引具体的线索。 $C_{i,m}$  代表个体针对求助对象  $i$  在线索  $m$  上的评价（例如“向该对象求助能否带来获益”），其取值为二分类变量：当该线索符合个体对求助对象  $i$  的正面预期时  $C_{i,m} = 1$ ；反之  $C_{i,m} = -1$ 。 $D$  代表个体的最终选择结果，当  $C_{i,m} = 1$  时，个体向求助对象  $i$  求助；当  $C_{i,m} = -1$  时，个体不向任何对象求助或采用其他策略。

反之，若个体首先基于某一因素进行初步判断，再按一定顺序逐次考量后续因素（例如，先评估求助是否可能带来获益，若条件满足，再进一步考虑其是否可能引发社会拒绝或回馈焦虑），并且不对多因素进行整体权衡或累加，则属于序列搜索启发式的应用（公式 26）。

$$D = \begin{cases} i & \text{if } C_{i,1} = 1 \wedge C_{i,2} = 1 \wedge \dots \wedge C_{i,m} = 1 \\ 0 & \text{if } C_{i,1} = -1 \wedge C_{i,2} = -1 \wedge \dots \wedge C_{i,m} = -1 \end{cases} \quad \text{公式 26}$$

其中，对于每个求助对象  $i$ ， $C_{i,1}, C_{i,2}, \dots, C_{i,m}$  分别代表个体在决策中依次考量的  $m$  个不同线索（例如， $C_{i,1}$  可能为“向该对象求助能否带来获益”， $C_{i,2}$  为“该向该对象求助能否带来社会拒绝”）。每个线索  $C_{i,k}$  均为二分类变量：当该线索符合个体的正面预期时  $C_{i,k} = 1$ ；反之  $C_{i,k} = -1$ 。决策变量  $D$  代表最终的选择结果，其取值规则为：若存在某个对象  $i$  满足其所有线索  $C_{i,1} = 1 \wedge C_{i,2} = 1 \wedge \dots \wedge C_{i,m} = 1$ ，则  $D = i$ ，表示向对象  $i$  求助；若所有对象均未能满足全部线索条件，则  $D = 0$ ，表示不向任何对象求助或采用其他策略。

。。。 ”

## 2. 指出目前启发式策略研究仍面临数学模型转化不足的问题，展望未来研究如何进一步具体地量化该类型决策：

“虽然本文尝试构建、提出有限理性框架下的启发式策略的量化模型，但总体上，正如 Gigerenzer et al. (2022)所指出，启发式策略研究仍面临数学模型转化不足的问题，

尚未形成系统性的、可量化比较的数学表达体系。”(p.28, 686-688 行)

“在有限理性决策方面，基于本文提出的初步量化模型，未来研究亟需将各类启发式策略（如满意化策略、1/N 均分策略、模仿策略等）进一步转化为更具体、更贴合实验任务的数学形式，明确其触发条件、阈值设定与信息筛选规则。”(pp.28, 693-695 行)

**意见 4:** 论文细节上还有可以优化之处，例如重复论述（42-45 行与 179-185 行等），用词优化（例如：“我们”可以改为“本文”等）表格可读性优化（例如表 2 首列可以适当合并），引用格式不统一（例如：Luo 等人，Luo et al. (2024)等）。

**回应:** 根据外审专家的建议，我们已对论文文字细节进行了优化，包括但不限于：减少重复论述、替换口语化词汇、简化表格以提升可读性和修改引用格式等。

---

### 第三轮

**审稿人 2 意见:**

相较于初稿，本文在结构安排与逻辑论述上均有显著提升。作者完整地整合了相关理论综述，构建了求助决策研究的认知计算框架，使得理论综述、模型提出与机制讨论之间的逻辑衔接更加清晰，文章从认知计算建模的视角深入解析了求助决策这一重要的社会决策行为。经修改，文章不仅系统梳理了“理性决策模型”与“启发式策略模型”两类核心决策框架，在此基础上补充了关于求助决策策略在理性与有限理性启发式之间的转换机制，使模型不再被理解为静态对立，而是进一步揭示了两类模型在个体内部的动态交互过程，显著增强了理论框架的解释力。此外，作者对各部分的“潜在备择模型”进行了详尽的补充解释，深入论述了不同备择模型所对应的认知假设。本文通过对求助决策假设进行量化并构建具体的数学计算模型，高度契合并且回应了“认知计算”这一研究主题，使文章不再停留于概念层面的模型对比，而具备了进一步实证检验与扩展的潜力，为该领域的后续研究奠定了坚实基础。尽管整体理论框架已显著完善，但部分公式在符号使用、变量定义及数学一致性方面仍有进一步规范的空间。建议作者系统检查公式符号的一致性，并在必要处补充变量的数学定义与心理学含义，以进一步提升模型的严谨性与可复现性。

**回应:** 非常感谢审稿专家对本文的细致审阅与高度肯定！根据建议，我们通篇检查了所有数学公式和符号，确保全文的数学一致性；同时，我们在文章模型部分补充了重要变量的数学定义与心理学含义，以期提高本文所提出模型的严谨性和可复现性。

我们相信，经过本次修订，文章的理论框架与数学模型将更加严谨、清晰，能够为该领域的后续实证研究奠定更坚实的基础。

**意见 1:** 在公式 25 - 34 中，作者使用  $D$  表示最终决策侧的策略或决策结果，而在公式 35 中则改用  $S$  表示决策策略，符号使用前后不一致，建议统一符号体系，或在文中明确给出各符号的完整定义与对应关系。

**回应:** 根据建议，为统一符号体系，公式 25-34 依旧使用  $D$  代表决策结果，同时结合意见 2（详见下条回复），我们将原公式 35 中的  $S$  修改为对应理性系统和有限理性启发式系统的输出选择概率  $P_{Rational,i}$  和  $P_{Heuristics,i}$ （现公式 35-37），进一步明确了更新模型中符号的完整定义与对应关系（p.24, 574-589 行）。

$$P_{Rational,i} = \frac{\exp(\lambda * V_{Rational,i})}{\sum_j \exp(\lambda * V_{Rational,j})} \quad \text{公式 35}$$

公式 35 刻画了理性系统形成理性决策概率的过程： $V_{Rational,i}$  表示理性系统赋予选项  $i$  的主观价值，该项通过 Softmax 函数转化为理性系统选择选项  $i$  的概率，即  $P_{Rational,i}$ ； $\lambda$  指的是逆温度系数，刻画了主观价值差异与理性决策之间的映射关系，反映了理性决策的随机性。

$$P_{Heuristics,i} = \begin{cases} 1 & \text{if } D = i \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{公式 36}$$

公式 36 刻画了有限理性启发式系统输出的离散决策结果： $D$  表示有限理性启发式系统所选择的具体选项；该式将有限理性启发式系统的离散输出转化为确定性分布：当有限理性启发式系统选择选项  $i$  时，选项  $i$  被选中的概率  $P_{Heuristics,i}$  取值为 1，否则取值为 0。

$$P_{Final,i} = w * P_{Rational,i} + (1 - w) * P_{Heuristics,i} \quad \text{公式 37}$$

公式 37 刻画了两种系统共同影响最终决策概率的过程：权重参数  $w$  表征了在当前情境下，相比于有限理性启发式系统，决策者对理性系统的依赖程度，其取值范围为  $[0,1]$ 。具体而言，当  $w = 1$  时，最终决策概率  $P_{Final,i}$ ，即最终选择选项  $i$  的概率，完全由理性系统主导，对应于经典的理性决策模型；当  $w = 0$  时，最终决策概率  $P_{Final,i}$  完全由有限理性启发式系统主导，对应于纯粹的有限理性启发式决策。在某些特定情况下， $w$  取中间值，表明最终决策概率  $P_{Final,i}$  是两种系统输出的混合。 ”

**意见 2:** 公式 35 旨在通过线性加权的形式整合理性决策与有限理性启发式决策，以表征个

体在不同情境下的策略切换或共存机制。然而，目前的公式形式在数学定义与量纲存在问题：具体而言，SRational 表征的是连续的主观价值，反映了个体对选项偏好的强度；而启发式模型的输 SHeuristics 是离散的决策索引或经阈值处理后的二值结果，而非连续的价值度量。二者直接线形加权，在数学逻辑上却少解释性。或许可以把 SRational 通过 Softmax 转化为选择概率，以及把 SHeuristics 视为二值概率分布。

**回应：**根据建议，为统一量纲，提升模型的适用性和可解释性，我们将原本模型的中  $S_{Rational}$  修改为基于理性系统主观价值  $V_{Rational,i}$ 、且通过 Softmax 函数转换的理性系统选择概率  $P_{Rational,i}$ （公式 35）；同时，我们将原本模型中的  $S_{Heuristics}$  修改为有限理性启发式系统离散输出结果的确定性分布  $P_{Heuristics,i}$ （即有限理性启发式系统选择概率，其取值仅为 1 或 0；公式 36）。这里使用“确定性分布”是因为该分布由启发式系统的离散输出  $D$  唯一确定：当且仅当  $D = i$  时概率为 1，其余  $D \neq i$  时概率均为 0，这种只有一种值的分布，即为确定性分布（或称退化分布，即 Degenerate Distribution）的定义特征；进一步，我们更新了公式 37（原公式 35），从而在同一量纲上刻画个体通过对理性系统选择概率和有限理性启发式系统选择概率的加权整合、生成最终决策概率  $P_{Final,i}$ 、做出决策的过程。详见下文（p.24, 574-589 行）：

$$P_{Rational,i} = \frac{\exp(\lambda * V_{Rational,i})}{\sum_j \exp(\lambda * V_{Rational,j})} \quad \text{公式 35}$$

公式 35 刻画了理性系统形成理性决策概率的过程： $V_{Rational,i}$  表示理性系统赋予选项  $i$  的主观价值，该项通过 Softmax 函数转化为理性系统选择选项  $i$  的概率，即  $P_{Rational,i}$ ； $\lambda$  指的是逆温度系数，刻画了主观价值差异与理性决策之间的映射关系，反映了理性决策的随机性。

$$P_{Heuristics,i} = \begin{cases} 1 & \text{if } D = i \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad \text{公式 36}$$

公式 36 刻画了有限理性启发式系统输出的离散决策结果： $D$  表示有限理性启发式系统所选择的具体选项；该式将有限理性启发式系统的离散输出转化为确定性分布：当有限理性启发式系统选择选项  $i$  时，选项  $i$  被选中的概率  $P_{Heuristics,i}$  取值为 1，否则取值为 0。

$$P_{Final,i} = w * P_{Rational,i} + (1 - w) * P_{Heuristics,i} \quad \text{公式 37}$$

公式 37 刻画了两种系统共同影响最终决策概率的过程：权重参数  $w$  表征了在当前情境下，相比于有限理性启发式系统，决策者对理性系统的依赖程度，其取值范围为[0,1]。

具体而言，当  $w = 1$  时，最终决策概率  $P_{Final,i}$ ，即最终选择选项  $i$  的概率，完全由理性系统主导，对应于经典的理性决策模型；当  $w = 0$  时，最终决策概率  $P_{Final,i}$  完全由有限理性启发式系统主导，对应于纯粹的有限理性启发式决策。在某些特定情况下， $w$  取中间值，表明最终决策概率  $P_{Final,i}$  是两种系统输出的混合。”

**意见 3：**公式 11 第二行出现乱码字符，影响公式的可读性与可复现性，建议作者核查排版或源码。

**回应：**感谢审稿专家的仔细审阅！我们进一步核查了全文的公式呈现，以确保最终稿件的可读性。

---

#### 第四轮

**审稿人 2 意见：**经检查，修改后的公式没有问题，同意发表。

**编委 1 意见：**同意审稿人的判断，建议发表。

**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。