

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：焦虑个体趋避冲突失调的认知神经机制

作者：夏熠 张婕 张火垠 雷怡 窦皓然

第一轮

审稿人 1 意见：

该文介绍了趋避冲突相关理论，总结了焦虑个体趋避冲突失调的认知过程，包括敏感性失衡导致察觉冲突、威胁预期过高导致习得异常、过度回避形成习惯等，涉及腹侧海马、前额叶以及纹状体等脑区。作者认为将来可以在搭建计算模型、改进实验范式、采用联合疗法等方面展开进一步研究。该文选题有新意，综述思路清楚，写作流畅，但在科学问题、论证重点、评述深度、创新内容等方面存在较大问题。

意见 1：本文首先不满足杂志第一条要求，即要求的是问题导向的综述，明确本文需要解决什么科学问题。本文第一段中“.....等问题不清楚”的表述不是在提出问题，也不是成文的理由，更不是文章的创新之处。建议作者重写前言部分，提出一个明确（至少带有问号）的问题，并论证该问题的独特性和重要性。

回应：感谢您的建议，我们已将以上问题逐一进行了修改：

①提出一个明确的科学问题：我们重写了前言部分以明确本文解决的科学问题：“焦虑个体在冲突感知、冲突处理和反馈学习三个阶段中的认知神经变化，如何共同作用导致趋避冲突中的异常行为？”

②论证该问题的独特性和重要性：虽然趋避冲突的实验模型逐渐取代传统的回避范式，成为评估和预测焦虑的综合模型，但是现有理论难以解释焦虑个体在奖赏刺激很强且威胁刺激很弱的情况下，依旧选择回避行为。这些行为反应可能是对潜在威胁的过度反应或习惯性回避，以及在复杂的决策情境中，预期价值计算的受损。因此，我们提出一个整合冲突感知、冲突处理和反馈学习的三阶段模型，以更准确地描述焦虑个体在趋避冲突失调中的具体机制。具体而言：“一直以来，对于趋避冲突的理解主要从动机维度出发(Gray, 1987; Elliot, 2006; Monni et al., 2020)：个体在趋近回避冲突中主要依赖趋利避害的内驱力进行决策，并且将个体在整个趋避冲突中的反应简化为信息输入和行为输出两个阶段。然而，焦虑个体在奖赏刺

激很强且威胁刺激很弱的情况下，依旧选择回避行为 (Arnaudova et al., 2017; Chase et al., 2020; Pittig et al., 2021)，并且只需要更少的信息就能快速地做出反应(Dillon et al., 2020; Liu et al., 2022; Han et al., 2023)。这表明他们的行为可能并不仅是为了避免痛苦或寻求快乐，还可能源于对潜在威胁的过度反应或习惯性回避(Ball et al., 2022; Watson et al., 2022)。当然，焦虑个体趋近回避冲突失调也可能是由于预期价值计算的受损。因为从进化角度来说，个体的决策往往基于价值的最大化，那么出现这种放弃更高价值的非理性决策行为可能是个体对不同行为对应结果的概率和成本的复杂计算出现了问题(Rangel et al., 2008; Walters & Redish, 2018)。然而现有理论框架未充分考虑预期价值与动机的相互作用，难以全面解释焦虑个体趋避冲突失调的具体机制。因为过度回避可能代表的是回避相关的动机程度，也可能反映的是预期价值计算的受损。同时，趋避冲突的解决涉及多个脑区的协同作用，传统的理论框架将趋近和回避动机作为基本独立的神经机制，局限于独立脑区激活的结果，而焦虑通常与多个脑区的过度激活或功能损伤相关，这些区域并非独立工作，而是通过广泛的网络连接来共同调节行为决策。”

③本文的创新之处在于：我们根据现有理论在描述动态神经交互以及多阶段信息处理过程中的局限，提出趋避冲突三阶段模型。该模型着重于动机与预期价值计算之间的交互作用，以及在接收反馈后的学习过程，旨在全面解释焦虑个体趋避冲突失调背后的复杂机制。具体的修改和补充如下：“对此，本文首先总结了基于强化敏感性、巴甫洛夫条件化以及强化学习等与趋避冲突和焦虑相关的理论及其局限性，在以往理论基础上提出“冲突感知、冲突处理和反馈学习”的趋避冲突三阶段模型；其次，总结该模型所依赖的认知神经基础；最后，探讨焦虑在威胁感知增强、预期价值和动机比较失衡以及反馈学习上的异常表现，解释焦虑对不同阶段的影响，为理解焦虑个体的趋避冲突失调提供新的视角，并对未来的研究方向提供建议。”

意见 2：因为本文缺乏明确的科学问题，因此全文上下逻辑不清楚，前后内容不连贯，且缺乏综述重点，急于采用一个框架来整理介绍现有研究结果，而且这个框架是否有科学依据也没有论证。主要表现为作者总结了现有理论，提出了“图 1 焦虑个体趋避冲突系统失调的认知框架”，但是图 1 中的主要内容和前面的理论总结部分和认知过程及神经机制关系不够紧密，重要术语也不够统一，难以形成一个清晰完整的观点。建议作者在理论介绍部分增加相关评述，并论证本文需要出一个新的框架的理由、科学依据和创新性。

回应：感谢您的建议。

①对于修改论文框架的建议：在明确科学问题后，我们对论文框架进行了调整（图1），原稿的框架在于强调焦虑个体的趋避冲突失调，虽然提出了新的模型，但是后续没有围绕论证和解释新模型而展开。因此，我们在修改稿的框架中更注重从趋避冲突三阶段模型的理论基础到认知神经机制的展开，从而更系统地解析趋避冲突与焦虑之间的关系。具体的修改逻辑如下：

首先，我们扩展了理论基础并增加了相应评述：原稿中“1.焦虑个体趋避冲突系统失调的理论基础”中主要聚焦于焦虑个体，但是缺乏对相关理论的评述和自己的观点，在修改稿“1. 趋避冲突系统的理论基础”中，我们对“强化敏感性理论、巴甫洛夫条件化理论和强化学习理论”都进行了总结和评述，并从趋避冲突系统的一般性理论深入到焦虑这一特殊群体的情况，最后提出包含冲突感知、冲突处理和反馈学习的三阶段模型。

其次，我们对新模型的认知神经基础进行整合：原稿中并没有关于新模型的论证和解释，在修改稿“2. 趋避冲突三阶段模型的认知神经基础”中，强调认知过程和神经机制之间的内在联系，并详细描述冲突感知、冲突处理和反馈学习三个阶段以及对应的神经机制，使得理论与神经科学证据之间的关联更为紧密。

最后，我们使用新的模型来解释焦虑个体在趋避冲突中的异常行为表现：原稿认为焦虑失调是由于“冲突感知、目标导向和习惯化”三个过程的异常。在修改稿中，基于趋避冲突的三阶段模型，我们将原稿中的目标导向和习惯化过程综合为反馈学习阶段，并提出了动机和预期共同作用的中间阶段。在“3.焦虑个体的趋避冲突失调”中，使用新模型来解释焦虑如何影响趋避冲突的每个阶段以及背后的神经机制。

②对增加相关评述的建议：我们对“1.趋避冲突系统的理论基础”中介绍的每一个理论都增加了相关的评述，并用蓝色字体进行了标注：对于趋避冲突的解释主要来自是强化敏感性理论：“强化敏感性理论通过不同程度的敏感性差异影响回避或趋近动机来解释焦虑个体趋避失调的原因，但是该理论过度简化了个体在面对复杂决策时的内部认知过程，也忽略了动机和认知之间的相互作用。有效地认知处理能够帮助个体平衡趋近和回避动机，但是这种认知处理本身可能在焦虑个体中出现异常，因此对于趋避冲突的解释还需要从认知过程的维度进行扩展。”巴甫洛夫条件化和回避学习理论则描述了刺激-反应-结果之间联结的学习过程“虽然经典条件反射和回避学习理论在一定程度上补充了强化敏感性理论所缺乏的认知加工过程，并解释了在得到结果反馈后，存在两种不同的学习系统应对相同或类似的情况，但

是该理论只探讨了威胁情况下个体如何从刺激-行为-结果的联结中进行学习，并不能全面地解释焦虑个体趋避冲突失调的机制。”强化学习理论则揭示了个体如何动态适应环境和调整预期的内部认知过程：“该理论框架通过量化奖励和威胁的期望值，可以更深入地理解个体进行权衡和决策的认知过程。然而，强化学习理论容易将预期和内部动机混淆。因为预测错误的定义是结果与预期之间差异的符号（正或负），这种定义将预测错误的大小和结果的动机性质混合……传统的强化学习模型通常不擅长处理多维度结果，这些后果难以简单地分类为正面或负面，因此限制了其在解释复杂情境下个体如何权衡趋避冲突的适用性。”对此，亟需一个新的模型来整合趋避冲突的理论研究，并关注其中的内部认知过程和动态的认知循环。对于新模型的介绍在文中“1.4 趋避冲突的三阶段理论模型”用橙色字体进行了标注。重点更改内容如下：

“综上所述，我们认为前人的动机理论将趋避冲突的处理简单划分为一个静态的评价输入和动机输出的两阶段模型，难以解释内部的认知神经机制和个体根据结果进行适应性的调整过程。而描述了认知过程和反馈学习的理论又往往局限于奖赏或威胁的单一维度，没有纳入趋避冲突的情况。因此，我们对上述理论基础进行了整合和扩展，强调冲突处理过程中价值和动机以及两因素的交互作用，并且在得到反馈后获得强化或者更新，从而形成一个动态的认知回路（如图 1）。具体而言，当冲突刺激输入时，引起个体对刺激的注意和解释，受到威胁和奖赏敏感性的影响；随后是冲突处理阶段，个体会对回避和趋近行为分别产生预期价值和动机，并将两者进行比较后做出决策。最后是反馈学习阶段，如果结果反馈与预期不相符，个体以目标导向的学习来调整对信息的判断；如果结果反馈与预期相符，个体强化现有模式，对相同或类似的信息形成习惯化从而维持一贯的行为。下文将对该三阶段模型进行详细介绍，阐明该模型的合理性与独特性。”

意见 3：本文展望部分提到“搭建计算模型”、“改进实验范式”、“采用联合疗法”等均属于方法方面的建议，与本文的理论探索没有直接相关，几乎适合大部分文章。建议作者在展望部分增强综述评述的理论深度和主题相关度。

回应：感谢您的意见。我们重写了“4.总结与展望”部分，趋避冲突三阶段模型的提出主要基于三点：（1）来自动机、条件化和强化学习等不同领域的理论整合；（2）健康个体在趋避冲突中的行为和神经反应；（3）焦虑个体在趋避冲突中的异常表现以及焦虑涉及趋避冲突相关的神经机制。因此，展望也围绕这三点展开。

①未来还需要更多的实证研究对三阶段模型进一步的验证。一方面可以从设计上避免不

同认知机制的混淆以证明阶段的相对独立性,另一方面可以评估趋避冲突失调与焦虑的因果关系。具体而言:“一方面,在趋避冲突的复杂情景下,模型中不同的认知机制可能在实验设计中被混淆。常见的潜在奖赏为金钱或积分,潜在威胁则通常是电击或恐怖图片,这样的设置可能导致对回避和趋近的预期价值并不匹配,而个体对于回避动机和趋近动机也存在主观偏好。如果不能严格控制,可能导致预期编码和内部动机之间的混淆,可以在趋避冲突前增加威胁和奖励的匹配程序(Wong & Pittig, 2022)。此外,由于从经验中学习偶发事件的概率与明确提供概率结果对行为决策的影响不同(Hertwig & Erev, 2009; Baczowski et al., 2023),表明不同阶段还可能受到刺激结构(如不确定性)的影响。未来还需要进一步的实证工作来确定这些阶段的相对独立性。另一方面,未来研究需要评估趋避冲突失调与焦虑的关系。焦虑作为一种指向未来的情绪,主要涉及对未来真实/想象的威胁预期(Grupe & Nitschke., 2013; Fung et al., 2019),而趋避冲突的解决需要预测和模拟未来事件,对于潜在奖励和威胁的差异模拟分别使得行为偏向趋近与回避(Gilbert & Wilson, 2007; Moughrabi et al., 2022)。后续的研究需要回答威胁感知的增强、动机和预期的失衡以及反馈学习的异常,是否会增加患焦虑障碍的风险?还是说这些阶段的受损是长期焦虑所导致的后果?此外,以改变威胁预期为主要目的疗法,实现了对焦虑障碍的有效治疗(Craske et al., 2022; Pittig et al., 2023),后续还可以继续探索焦虑的改善与这三个阶段的神经反应正常化是否相关。”

②加深交叉领域的探索,将不同领域的理论和方法进行整合。三阶段模型中任一阶段都可能受到焦虑的影响从而导致趋避冲突的失调,但是焦虑损害的具体机制难以通过行为反应直接观察到。未来可以使用计算神经病学的方法对趋避冲突三阶段模型进行参数化:“……计算精神病学(computational psychiatry)使用数学模型(例如,基于贝叶斯定理的模型)来解释无法直接观察到的病理行为的心理和神经生理基础(Smith et al., 2020; Vasilchenko & Chumakov, 2023)。通过对学习和决策过程的参数化,研究发现焦虑个体的趋避冲突失调可以用内部处理计算模型中特定参数的变异来解释,比如敏感性(Yamamori et al., 2023)、悲观信念(Zorowitz et al., 2020)、行动的信心(Smith et al., 2021)等。然而,目前将计算模型的方法应用于理解焦虑中的趋避冲突的研究非常有限,并且难以完整描述刺激感知、预期到行为输出到底如何实现。未来可以尝试将趋避冲突的阶段划分为不同的子模型,通过分层和模块化的方法,不仅可以进一步理解焦虑如何影响个体在复杂情景中的表现,还可以通过调整特定的模型参数(如增加或减少威胁,或改变对奖赏的评价等)来模拟不同焦虑程度下的变化。”

③从发展的角度来进一步考察趋避冲突失调的原因。青春期的特点是寻求刺激的行为增加,这与焦虑的过度回避特征相反,这种寻求刺激行为的增加,在趋避冲突中是否会和回避

行为形成对抗？并且发展早期得到反馈结果的好坏会显著影响之后的选择，然而趋避冲突的相关研究往往以成年人为主，却很少关注发展中的变化：“最近的研究发现青少年的焦虑水平和冒险行为成正比，奖赏敏感性在其中起调节作用，焦虑水平高且奖励敏感性高的青少年表现出更多寻求刺激的行为 (Baker et al., 2022; 李晓明 等, 2022)，成年人的焦虑仅仅与回避和威胁敏感性相关，而青少年的焦虑行为表现更为复杂。原因可能是青春期大脑发育的不平衡，其中负责处理奖励和威胁信息的系统（杏仁核和纹状体）在面对刺激时过度激活，而认知控制和比较系统（前额叶和海马体）尚未发育完全(Baker & Galv'an, 2020; Teruel, 2021)，导致该时期对正反馈的渴望和对负反馈的害怕，并且难以通过自上而下的调节来平衡冲突。总之，焦虑青少年在面对冲突时表现出过度趋近或回避两种截然相反的行为，在成年人中却只与过度回避有关。未来研究可以通过纵向追踪和多模态的研究来探索焦虑个体趋避冲突失调的发展轨迹。”

意见 4: 本文第一部分在介绍前人理论的过程中缺乏必要的评述，创新内容较少，建议作者对每个理论进行恰当的评述，并厘清各个理论之间的关系，同时提出形成本文理论框架的理由和依据。

回应: 感谢您的意见。

①对于缺乏必要的评述的问题，我们重新整理并评述了相关的前人理论，并用蓝色字体进行了标注，主要评述如下：

对于“1.1 强化敏感性理论”：“该模型解释了冲突发生时的输入和输出阶段，并强调了动机在理解和处理趋避冲突中的核心作用。然而强化敏感性理论的初衷在于解释特定刺激下的行为选择，但对于焦虑个体，相同的回避行为可能在多种不同刺激下重复发生，显示出普遍的回避偏向性。对此，Corr 和 McNaughton(2012) 扩展了 RST 的特质维度用以解释焦虑的稳定性，并使用不同的敏感性来进行标记.....强化敏感性理论通过不同程度的敏感性差异影响回避或趋近动机来解释焦虑个体趋避失调的原因，但是该理论过度简化了个体在面对复杂决策时的内部认知过程，也忽略了动机和认知之间的相互作用。有效地认知处理能够帮助个体平衡趋近和回避动机，但是这种认知处理本身可能在焦虑个体中出现异常，因此对于趋避冲突的解释还需要从认知过程的维度进行扩展。”

对于“1.2 巴甫洛夫条件反射和回避学习理论”：“巴甫洛夫恐惧条件反射作为研究焦虑的经典模型，其中回避被视为恐惧和焦虑的直接反应(Hofmann & Aleena 2018).....虽然经典

条件反射和回避学习理论在一定程度上补充了强化敏感性理论所缺乏的认知加工过程,并解释了在得到结果反馈后,存在两种不同的学习系统应对相同或类似的情况,但是该理论只探讨了威胁情况下个体如何从刺激-行为-结果的联结中进行学习,并不能全面地解释焦虑个体趋避冲突失调的机制。”

对于“1.3 对于强化学习”：“该理论框架通过量化奖励和威胁的期望值,可以更深入地了解个体进行权衡和决策的认知过程。然而,强化学习理论容易将预期和内部动机混淆。因为预测错误的定义是结果与预期之间差异的符号(正或负),这种定义将预测错误的大小和结果的动机性质混合,例如,超出预期的奖励(正的预测错误)通常被视为有吸引力,而超出预期的威胁(也是正的预测错误)则被视为有厌恶性。相反,比预期少获得的奖励被视为厌恶性,而比预期少遇到的威胁则被视为有吸引力(Kalisch et al., 2019; Moughrabi et al., 2022)。传统的强化学习模型通常不擅长处理多维度结果,这些后果难以简单地分类为正面或负面,因此限制了其在解释复杂情境下个体如何权衡趋避冲突的适用性。”

②对于厘清各个理论之间的关系的问题:我们基于整理前人的理论发现,强化敏感性理论的重点在于对回避和趋近动机的生理基础和行为表现,而缺少涉及内部认知过程的详细机制,将趋避冲突的处理简单划分为一个静态的评价输入和动机输出的两阶段模型,例如:“该理论过度简化了个体在面对复杂决策时的内部认知过程,也忽略了动机和认知之间的相互作用”;巴甫洛夫条件反射和回避学习理论补充了反馈学习的机制,从而解释过度回避的形成“巴甫洛夫恐惧条件反射作为研究焦虑的经典模型,其中回避被视为恐惧和焦虑的直接反应(Hofmann & Aleena 2018).....虽然经典条件反射和回避学习理论在一定程度上补充了强化敏感性理论缺乏的认知加工过程,并解释了在得到结果反馈后,存在两种不同的学习系统应对相同或类似的情况。”;强化学习理论通过计算建模进一步解释了个体的内部认知加工:“预期误差(实际结果与预期之间的差异)被认为是调整和优化行为决策的核心因素,即如果一个行为的结果比预期好,那么个体会增强对该行为的倾向;如果结果比预期差,那么个体将减少未来采取相同行为的可能性(Sharp et al., 2022; Letkiewicz et al., 2023; Enkhtaiwan et al., 2023)。利用计算建模,该理论揭示了个体如何动态适应环境和调整预期的内部认知过程。”

③形成本文理论框架的理由和依据:基于现有理论在描述动态交互以及多阶段信息处理过程中的不足,本文提出了一个整合性的趋避冲突的三阶段模型。主要内容如下:

“综上所述,我们认为前人的动机理论将趋避冲突的处理简单划分为一个静态的评价输入和动机输出的两阶段模型,难以解释内部的认知神经机制和个体根据结果进行适应性的调整过程。而描述了认知过程和反馈学习的理论又往往局限于奖赏或威胁的单一维度,没有纳

入趋避冲突的情况。因此，我们对上述理论基础进行了整合和扩展，强调冲突处理过程中价值和动机以及两因素的交互作用，并且在得到反馈后获得强化或者更新，从而形成一个动态的认知回路。”

意见 5: 作者提出的焦虑个体趋避冲突系统失调的认知框架在图示表达上不够清楚，内容逻辑和形式逻辑也不够严谨，建议作者重新论证，修改现有图示。

回应: 感谢您的意见。我们在理论的基础上重新修改了图示，并将不同的阶段横向展示。新的图示强调趋避冲突的三个阶段及其关键元素。同时，为避免焦虑与图示内容的混淆，已去除图中红色字体标记（见图 2）。在第二章“趋避冲突三阶段模型的认知神经基础”对其进行了论证，蓝色字体为主要观点。在新的模型中，我们详细介绍了趋避冲突刺激如何被初步处理并触发后续的认知和神经反应。重点更改内容如下：

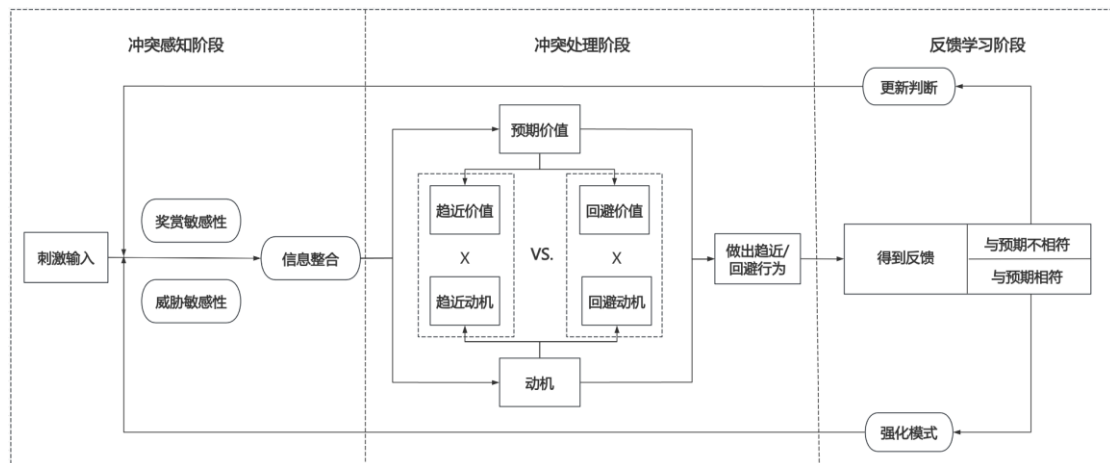


图 2 趋避冲突的三阶段模型

图中的冲突感知阶段开始于刺激输入，个体在威胁敏感性和奖赏敏感性的影响下对冲突刺激进行初步的感知并整合信息：“当个体面临趋避冲突刺激时，会激活强化敏感性系统进行初步的感知和分类(Corr & McNaughton, 2012; Corr & Cooper, 2016; Monni et al., 2020)。冲突感知阶段涉及的是对冲突刺激的快速评估和响应，即强化敏感性系统的奖赏敏感性和威胁敏感性，它们各自影响个体对刺激的注意力分配和理解。……基于威胁敏感性和奖赏敏感性的差异，个体在感知趋避冲突阶段可能已经产生对回避或趋近行为的偏好，并进一步影响下一个阶段”

个体在对信息进行初步感知后，进入冲突处理阶段，这一阶段在图中表现为对趋近和回避动机进行权衡，计算相应的预期价值，并对两者进行比较后做出决策：“个体对信息进行

整合后,开始处理趋避冲突并做出决策,这个过程需要动机和预期价值的共同作用(Roesch & Olson, 2004; Verharen et al., 2020)。在趋避冲突的情况下,追求奖励的趋近动机与避免威胁的回避动机相互对立,产生动机竞争 (McNaughton et al., 2016; McNally, 2021)。……趋近和回避动机的强度因人而异,这被认为是对某种行为的主观偏好(Gray & McNaughton, 2000; Corr, 2004; Corr & Cooper, 2016)。除此之外,个体还会基于对行为与结果之间关系的推测,从客观角度计算趋近和回避的预期价值 (Lee et al., 2012; Biderman et al., 2020; Livermore et al., 2021)。相应地,研究发现个体在面临可能带来奖励或威胁的选择时,与结果相关的记忆表征变得活跃,并且表征的强度预测了随后的行为选择,佐证了在做出决定前存在一个对潜在结果的价值进行模拟的过程(Castegnetti et al., 2020; Cisler et al., 2023)。尽管面对威胁与损失奖赏的预期编码在认知过程中具有相似性 (Tom et al., 2007; Kalisch et al., 2019),但是个体对损失的厌恶通常超过同等大小的收益(Kahneman & Tversky, 1979; Tymula et al., 2023)。这表明获得和损失并不可以等值替换,获得奖励和面对威胁共同决定趋近的价值,而失去奖励和避免威胁共同决定回避的价值。进一步的研究发现,虽然奖励可以调节趋避冲突中的行为反应,却不能调节对威胁的预期(Schlund et al., 2016; Pittig et al., 2018; Pittig & Dehler, 2019)。也就是说趋近和回避的预期价值可能是先独立计算出来,随后再相互比较从而做出决策……在实际决策过程中,动机和预期价值会相互影响,动机引导个体的趋近或回避倾向,而预期价值反过来又调节动机的强度和方向……换言之,个体先对回避和趋近行为的预期价值与动机进行乘积后,再进行比较和整合。并且冲突的核心不仅是刺激的动机属性,而更多地涉及对未来奖励或威胁的预期(Doll et al., 2015; Wise et al., 2021)。经过对预期价值和动机的综合评估后,个体做出回避或趋近行为并得到结果反馈。”

最后,根据行为产生的结果进入反馈学习阶段,个体判断结果与之前的预期是否符合,强化现有行为模式或更新判断来调整策略,从而优化对趋避冲突的决策模式:“结果反馈会影响未来的决策(Miletić et al., 2021),如果结果与预期相符合,个体会强化现有的行为模式,奖励结果有助于强化刺激-行为的关联,从而增加趋近行为的可能性(Ranaldi., 2014)。威胁结果则被编码以避免未来类似的威胁,从而加强回避行为(Feigley & Spear, 1970),最终形成习惯化;如果结果与预期不相符,个体计算预测误差,实际与预期结果间的差异触发目标导向的学习,基于预测误差的大小和方向,重新调整回避或趋近的策略(Diederer & Schultz, 2015)。根据学习的双系统理论,习惯化系统会与目标导向系统进行竞争(Keramati et al., 2011; Wood & Rüniger, 2016)……总之,习惯化行为减少了个体对外部反馈和预测误差的敏感性,节省了认知资源的使用。然而当与预期不一致时,即使明确提示旧有的行为策略不再最优,

习惯化行为会干扰目标导向的学习，造成认知和行为上的不一致。同时，无论是哪种反馈学习占据主导，都会在整个认知模型中循环，继而影响后续相同或类似情境的决策。”

意见 6: 作者提出了自己的理论框架，但在后面的认知过程和神经机制方面的综述过程并没有围绕该框架的论证，例如，后面提到的内隐回避倾向、外显回避倾向、外显信息加工系统、内隐信息加工系统等主要内容或关键术语在图 1 框架图中没有任何提示，使得上下内容不连贯，逻辑不清楚。建议作者重新构思框架，或重新撰写后面的综述部分，重点是围绕自己提出的理论框架图来论述。

回应: 感谢审稿人的意见。我们重新构思了框架，删除了原稿中回避倾向、以及加工系统等内容，全文围绕新提出的三阶段模型进行论述。

①首先，我们总结了趋避冲突相关的理论研究，对应于修改稿中的“1.趋避冲突系统的理论基础”：在“1.1 强化敏感性理论”、“1.2 巴甫洛夫条件反射和回避学习理论”以及“1.3 强化学习理论”中，我们分别介绍并评述了动机、条件化以及学习等与趋避冲突和焦虑相关的理论。在此基础上，“1.4 趋避冲突的三阶段模型”提出“冲突感知、冲突处理和反馈学习”的趋避冲突三阶段模型。

②其次，我们介绍该模型在行为和认知神经科学上的证据，对应于修改稿中的“2.趋避冲突三阶段模型的认知神经基础”。这一章节分为“2.1 趋避冲突的认知机制”和“2.2 趋避冲突的神经机制”两个部分，详细描述了趋避冲突的三个阶段——冲突感知、冲突处理和反馈学习——以及对应的神经机制。认知机制中阐述了个体在趋避冲突中经历的心理过程，强调从感知到处理再到反馈学习的连贯性；神经机制则探讨了三个阶段所对应的神经基础。

③再次，我们根据焦虑对模型中不同阶段的影响，解释焦虑个体的趋避冲突失调以及背后的神经机制，对应于修改稿中的“3.焦虑个体的趋避冲突失调”，二级标题凝练为焦虑个体在“冲突感知、冲突处理和反馈学习”三个阶段中的异常表现，即：

“3.1 威胁感知的增强”：这一段的主要内容是焦虑影响趋避冲突的早期输入阶段，体现为焦虑个体的高威胁敏感性对威胁的注意和解释偏差，这种威胁感知能力的增强可能反映出了焦虑个体对潜在的威胁更加敏感，在整合信息后产生回避偏向。

“3.2 预期权重和动机比较的失衡”：这一段的主要内容是焦虑会影响动机和预期价值，焦虑个体回避动机更强，而趋近动机被抑制，同时对威胁的预期更高，导致在计算回避和趋近行为的价值时，给予回避行为更高的预期价值，异常的动机和预期价值相互影响，最终导致过度回避。

“3.3 反馈学习的异常”：这一段关注焦虑个体如何通过反馈学习调整预期和行为，焦虑可能影响目标导向学习和习惯化两种学习系统在不同情况下的转换功能，表现出对环境变化的适应性较低。

④最后，我们对文章进行了总结，并对未来的研究方向提供建议，对应于“4.总结与展望”：趋避冲突三阶段模型的提出主要基于三点：（1）来自动机、条件化和强化学习等不同领域的理论整合；（2）健康个体在趋避冲突中的行为和神经反应；（3）焦虑个体在趋避冲突中的异常表现以及焦虑涉及趋避冲突相关的神经机制。因此，展望也围绕这三点展开。

.....

审稿人 2 意见：

本综述关注焦虑和趋避冲突关系，提出焦虑个体趋避冲突系统失调的认知模型及其神经机制变化，并从理论基础、认知过程和神经机制三个方面进行梳理，最后提出未来研究方向。总体而言，本综述兼具理论和应用价值，具有一定的创新性，但我认为有如下几个问题。

意见 1：在正文部分的“焦虑个体趋避冲突失调的认知过程”这一章节中，二级标题如“敏感性失衡所驱动的冲突感知过程异常”不够凝练概括，建议用更精准的语言代替。

回应：感谢您的建议。我们已将原稿的二级标题“敏感性失衡所驱动的冲突感知过程异常、威胁预期所驱动的目标导向学习过程、习惯化所驱动的学习过程”分别更改为“威胁感知的增强、预期价值和动机比较的失衡、反馈学习的异常”。原因如下：我们重新梳理了趋避冲突和焦虑相关的理论基础，发现在“认知和动机的交互作用”下，以往二阶模型已无法全面解释焦虑个体的趋避冲突。因此本文提出一个包含“冲突感知、冲突处理和反馈学习”的趋避冲突三阶段模型，希望能更好地理解焦虑个体在趋避冲突中的异常行为。相应地，我们对论文框架进行了调整（图 1），原稿的框架在于强调焦虑个体的趋避冲突失调，虽然提出了新的模型，但是后续并没有围绕论证和解释新模型而展开。因此，我们在修改稿的框架中更注重从趋避冲突三阶段模型的理论基础到认知神经机制的展开，从而更系统地解析趋避冲突与焦虑之间的关系。具体的修改逻辑如下：

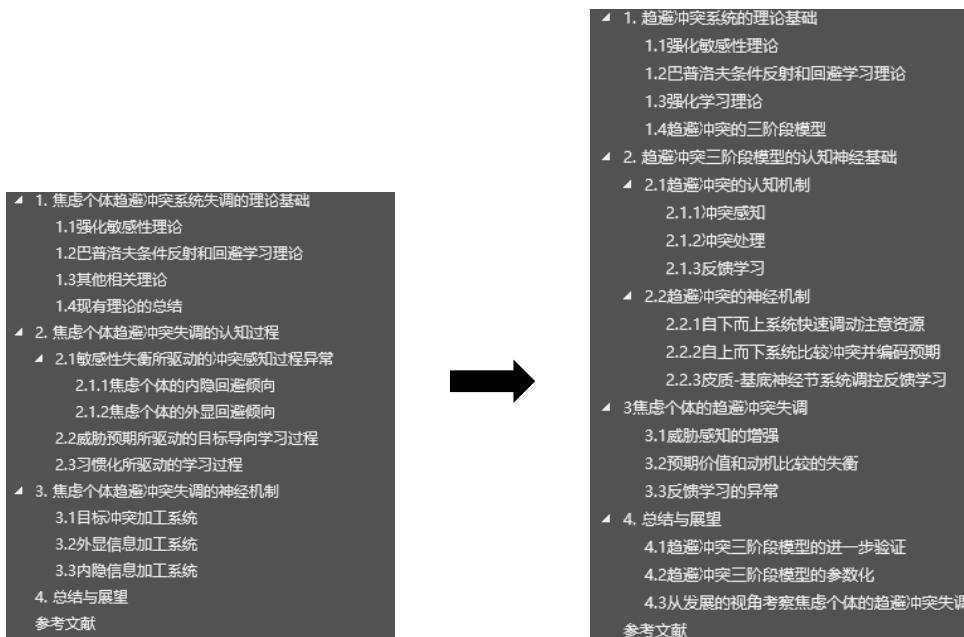


图 1. 论文框架修改图

①对理论基础的扩展：原稿中“1.焦虑个体趋避冲突系统失调的理论基础”中主要聚焦于焦虑个体，但是缺乏对相关理论的评述和自己的观点，在修改稿“1. 趋避冲突系统的理论基础”中，我们对“强化敏感性理论、巴甫洛夫条件化理论和强化学习理论”都进行了总结和评述，并从趋避冲突系统的一般性理论深入到焦虑这一特殊群体的情况，最后提出包含冲突感知、冲突处理和反馈学习的三阶段模型。

②对新模型的认知神经基础进行整合：原稿中并没有关于新模型的论证和解释，在修改稿“2. 趋避冲突三阶段模型的认知神经基础”中，我们强调认知过程和神经机制之间的内在联系，并详细描述冲突感知、冲突处理和反馈学习三个阶段以及对应的神经机制，使得理论与神经科学证据之间的关联更为紧密。

③对焦虑个体趋避冲突失调的重新分析：原稿认为焦虑失调是由于“冲突感知、目标导向和习惯化”三个过程的异常。在修改稿中，基于趋避冲突的三阶段模型，我们将原稿中的目标导向和习惯化过程综合为反馈学习阶段，并提出了动机和预期共同作用的中间阶段。在“3. 焦虑个体的趋避冲突失调”中，使用新模型来解释焦虑如何影响趋避冲突的每个阶段以及背后的神经机制。对应的二级标题凝练为焦虑个体在“冲突感知、冲突处理和反馈学习”三个阶段中的异常表现，即：

“3.1 威胁感知的增强”：这一段的主要内容是焦虑影响趋避冲突的早期输入阶段，体现为焦虑个体的高威胁敏感性对威胁的注意和解释偏差，这种威胁感知能力的增强可能反映出了焦虑个体对潜在的威胁更加敏感，在整合信息后产生回避偏向。

“3.2 预期权重和动机比较的失衡”：这一段的主要内容是焦虑会影响动机和预期价值，焦虑个体回避动机更强，而趋近动机被抑制，同时对威胁的预期更高，导致在计算回避和趋近行为的价值时，给予回避行为更高的预期价值，异常的动机和预期价值相互影响，最终导致过度回避。

“3.3 反馈学习的异常”：这一段关注焦虑个体如何通过反馈学习调整预期和行为，焦虑可能影响目标导向学习和习惯化两种学习系统在不同情况下的转换功能，表现出对环境变化的适应性较低。

意见 2：在正文部分的“焦虑个体趋避冲突失调的神经机制”这一章节中，作者首先提到了目标冲突加工系统的异常活动，具体脑区是腹侧海马，随后作者提到了外显和内隐加工系统，先后涉及到内侧前额叶、背外侧前额叶、纹状体和杏仁核，作者在每段中介绍一个脑区的作用，似乎是在罗列不同脑区功能，缺乏对不同脑区功能的整合和解释，建议增加段落之间的联系和过渡。

回应：感谢您的建议。我们已将以上问题逐一进行了修改。

①对于缺乏对不同脑区功能的整合和解释的问题，在修改稿中，我们以趋避冲突三阶段模型的认知过程所依赖的神经机制为基础，重新梳理了冲突感知、冲突处理和反馈学习三个阶段所涉及的关键脑区（图 2a~c）。具体而言：

首先，我们在“2.2.1 自下而上系统快速调动注意资源”中阐述了前扣带回和杏仁核如何快速响应威胁以及腹侧纹状体如何增强对奖励的注意：“随着刺激的输入，前扣带回唤醒对冲突刺激的注意，并快速激活内隐信息加工系统进行情绪驱动的信息处理(Loijen et al., 2020)。杏仁核(Amygdala)在感知威胁时迅速响应，促进个体对潜在威胁保持警觉，从而增强对威胁刺激的注意和解释偏向，使得高威胁敏感性个体的加工速度更快，注意力更集中(Choi & Kim, 2010; Diehl et al., 2019; Miller et al., 2019);相反，腹侧纹状体(ventral striatum) 的激活增强了个体对奖赏刺激的注意和动机，从而促进趋近动机并抑制回避动机，高奖赏敏感性个体表现出更大的奖赏关注和积极的解释偏向(Nguyen et al., 2019; LeBlanc et al., 2020)。如图 2a，在面对趋避冲突刺激时，首先被激活的是速度最快的自下而上的信息加工系统，主要涉及对威胁敏感的杏仁核以及对奖赏敏感的纹状体，这些结构为刺激提供情绪效价并传递信号。”

其次，在“2.2.2 自上而下系统比较冲突并编码预期”中，我们介绍了自上而下系统在综合信息并作出决策时的重要性，特别是海马和前额叶如何在编码预期价值和制定响应策略

中发挥核心作用：“在自下而上的快速加工完成后，冲突处理阶段逐渐由自上而下的加工主导 (Kelley et al., 2017; Lacey & Gable, 2020; McNally, 2021)。具体而言，自上而下的预期价值的编码和对趋避冲突的比较则主要依赖于海马和前额叶以及它们之间的通路……趋避冲突的处理还涉及其他神经回路，其中一些倾向于追求奖励，而另一些则更多地避免威胁。腹侧海马对趋避冲突进行信息整合并做出决策，既要接受来自包括杏仁核、纹状体的信息输入，还需要将信息输出到前额叶皮层等区域，从而形成网络连接(如图 2b.)……这些结构和通路共同参与精细的神经调节从而决定着个体对奖励和威胁刺激的反应策略。”

最后，在“2.2.3 皮质-基底神经节系统调控反馈学习”中，我们解释了个体如何通过皮质和基底神经节之间的神经回路来对结果反馈进行学习。如“反馈学习依赖的是连接皮质和基底神经节(basal ganglia, BG)的神经回路(cortical-BG)，纹状体在其中起重要作用，可以自主计算用于学习的预测信号误差，然后再将信息传入回路从而调整行为策略(Engelhard et al., 2019; Baladron & Hamker, 2020)……在破坏 PFC 的功能后，目标导向的学习能力降低，习惯更难以被改变。总之，长期的习惯化行为可能导致大脑的决策制定路径变得相对固定，根据新的预测误差来更新行为策略变得更加困难，即使个体理解新的策略可能带来更大的奖励，改变根深蒂固的行为模式也需要更多的努力(如图 2c)。”

而焦虑涉及更广泛的脑区(图 2d)，关于趋避冲突失调的研究表明，焦虑个体在威胁感知、平衡动机和预期以及反馈学习相关的神经回路存在异常。分别体现在：

“3.1 威胁感知的增强”：“处理趋避冲突的相关神经系统与焦虑的相关神经机制相重叠(Aupperle & Paulus, 2010; Teruel & Tobeña, 2020)。例如，以威胁、奖赏的神经处理为目标的研究确定了焦虑所带来的影响，主要表现为焦虑既使杏仁核对威胁的反应性增加，也使纹状体对奖赏的反应性降低(Stelly et al., 2020; Chavanne & Robinson, 2021; McDermott et al., 2022; Auerbach et al., 2022)。总之，焦虑个体在早期的信息加工处理中，杏仁核和纹状体在面对威胁和奖赏刺激时表现出不平衡的反应，杏仁核的过度活跃加剧了趋避冲突信息中对威胁信息的感知，而对奖赏敏感的纹状体激活程度的较低，导致对威胁成分产生偏向。”

“3.2 预期价值和动机比较的失衡”：“动机和预期价值的失衡表明，焦虑个体评估趋避冲突以及期望计算的神经回路可能存在异常。当趋避冲突发生时，腹侧海马(vHPC)负责仲裁和比较，在趋近和回避之间进行决策，而 vHPC 对焦虑非常敏感(Bryant & Barker, 2020; Xia & Kheirbek, 2020; Shi et al., 2023)，一方面焦虑可以通过改变突触可塑性，影响 vHPC 的兴奋-抑制平衡，破坏趋避冲突中的比较功能(Couch et al., 2021)；另一方面，vHPC 是调节焦虑的神经回路的中心，其中 vHPC-AMY 回路负责接收与威胁相关的感官刺激，并在处理与焦

虑相关的事件中发挥作用，其信号增强导致焦虑行为，特质焦虑个体的 vHPC-AMY 的信息传递同步率显著增强(Felix-Ortiz et al., 2013; Jimenez et al., 2018)……在以自上而下的控制占据主导时，由于焦虑导致 vHPC 比较功能的损坏以及在回路中放大焦虑信号，从而让个体对无害的刺激也产生过高的威胁预期……腹侧纹状体和杏仁核以不同的方式处理信号，然后传入 mPFC 来编码回避和趋近的相对价值和权重。这些系统的稳态失衡将导致期望价值更消极，从而引起趋避冲突失调。”

“3.3 反馈学习的异常”：“涉及目标导向和习惯化系统的神经机制主要在额叶皮层和纹状体以及周围神经活动的变化(Banca et al., 2015)……无法更新威胁预期与 mPFC 过度激活显著相关(Apergis-Schoute et al., 2017)……mPFC 异常激活与焦虑症有关。目标导向和习惯化系统之间的转换不灵活可能是由于焦虑导致前额皮质节点缺乏自上而下的抑制控制，额叶与尾状核的功能连接的减少降低了认知灵活性，从而阻碍了快速的学习转换。因此，焦虑导致反馈学习异常的关键节点或许在于 mPFC 受损，这也需要后续更多的研究来证明。”

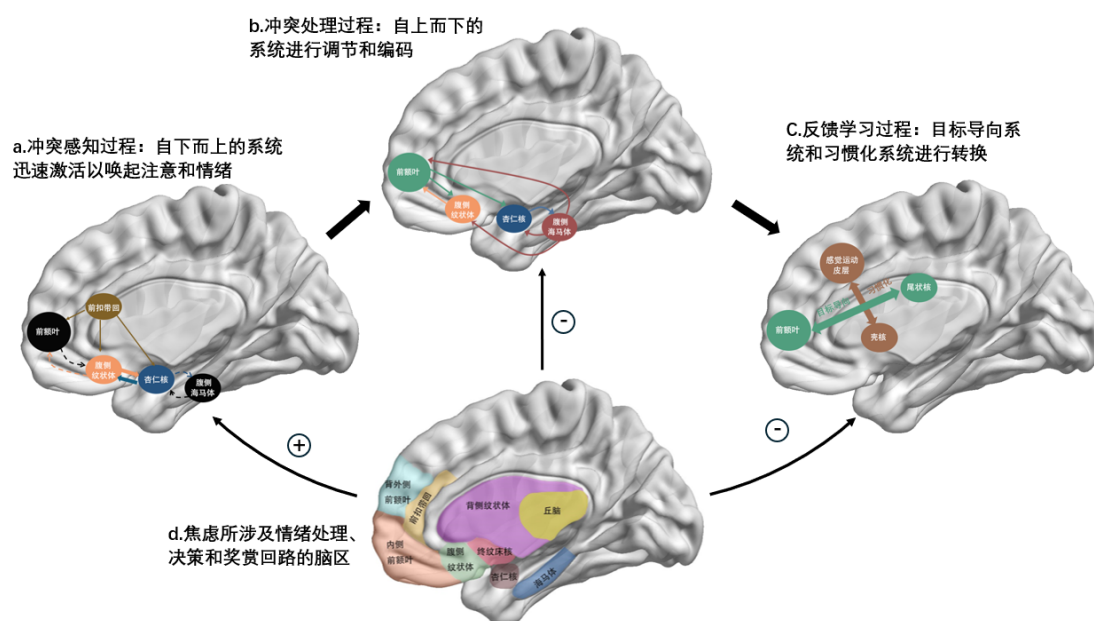


图 2. 焦虑影响趋避冲突失调的神经机制

②对于增加段落之间的联系和过渡的问题：我们在段首、段尾都添加了总结或过渡，例如，在“2.2.1 自下而上系统快速调动注意资源”的结尾，我们总结了冲突感知的神经基础：“涉及对威胁敏感的杏仁核以及对奖赏敏感的纹状体，这些结构为刺激提供情绪效价并传递信号。”，以此引入更为复杂的冲突处理阶段。在“2.2.1 自上而下系统比较冲突并编码预期”中，段首明确指出自上而下的区域开始占据主导，形成从感觉输入到决策输出的完整过程：“在自下而上的快速加工完成后，冲突处理阶段逐渐由自上而下的加工主导 (Kelley et al., 2017;

Lacey & Gable, 2020; McNally, 2021)。自上而下的预期价值的编码和对趋避冲突的比较则主要依赖于海马和前额叶以及它们之间的通路。”在这一部分中，我们分别介绍了腹侧海马和前额叶分别是比较趋避冲突以及编码预期的关键区域，并探讨了以这两个脑区为中心的神经网络，最后在段尾进行总结：“这些结构和通路共同参与精细的神经调节从而决定着个体对奖励和威胁刺激的反应策略。”最后，在“2.2.3 皮质-基底神经节系统调控反馈学习”中，我们根据认知机制的顺序介绍了反馈学习所依赖的神经回路：“通过自上而下对趋避冲突的比较以及价值编码后，个体得以做出决策并开始反馈学习。反馈学习依赖的是连接皮质和基底神经节(basal ganglia, BG)的神经回路(cortical-BG)”这部分阐述了接收到反馈后，大脑对目标导向和习惯化两个学习系统的选择机制：“总之，长期的习惯化行为可能导致大脑的决策制定路径变得相对固定，根据新的预测误差来更新行为策略变得更加困难，即使个体理解新的策略可能带来更大的奖励，改变根深蒂固的行为模式也需要更多的努力(如图 2c)。”

意见 3：认知机制和总结与展望章节内容略显单薄，可以再检索一些相关文献。

回应：感谢您的建议。

①我们增加了对趋避冲突三阶段模型的认知机制的介绍。原稿中，我们在“1. 焦虑个体趋避冲突系统失调的理论基础”提出了一个新的趋避冲突模型，但是后续的内容并没有围绕模型展开，因此，我们增加了对新模型的论证。根据趋避冲突的解决过程，我们将原稿中的“冲突感知、目标导向和习惯化”改为“冲突感知、冲突处理和反馈学习”三个阶段。具体而言：

在“2.1.1 冲突感知”中，在面对趋避冲突时，强化敏感性系统被激活，用以唤醒注意并初步感知冲突刺激，根据强化敏感性理论，该系统分为威胁敏感性和奖赏敏感性，两者会影响个体对刺激的注意力分配和对刺激的理解：“高威胁敏感性的个体可能对威胁刺激产生较强的生理唤醒和持续的注意，这通常表现为对威胁线索过度敏感，从而在遇到潜在威胁时迅速产生回避行为(Pascalis et al., 2019)；相对而言，高奖赏敏感性的个体则可能对奖励刺激的识别和反应更加敏感，使得他们在预测到潜在的积极结果时更倾向于趋近行为(Amodio & Jones, 2011; Kaye et al., 2018)...高威胁敏感性的个体在日常生活中经历的负面情绪较多，而在积极情境中感受到的正面情绪增加较少，反映出消极的解释偏向。他们也更倾向于将环境线索视为潜在威胁，从而激发更多的消极情绪，而高奖赏敏感性个体则表现出相反的倾向(Warr et al., 2021)...基于威胁敏感性和奖赏敏感性的差异，个体在感知趋避冲突阶段可能已经产生对回避或趋近行为的偏好，并进一步影响下一个阶段”；

在“2.1.2 冲突处理”中，我们增加了动机相关的研究“在趋避冲突的情况下，追求奖励的趋近动机与避免威胁的回避动机相互对立，产生动机竞争 (McNaughton et al., 2016; McNally, 2021)。”，随后介绍预期价值的计算在趋避冲突处理中的重要研究“...个体还会基于对行为与结果之间关系的推测，从客观角度计算趋近和回避的预期价值 (Lee et al., 2012; Biderman et al., 2020; Livermore et al., 2021)。相应地，研究发现个体在面临可能带来奖励或威胁的选择时，与结果相关的记忆表征变得活跃，并且表征的强度预测了随后的行为选择，佐证了在做决定前存在一个对潜在结果的价值进行模拟的过程(Castegnetti et al., 2020; Cisler et al., 2023)。”最后在实际决策过程中“...动机和预期价值会相互影响，动机引导个体的趋近或回避倾向，而预期价值反过来又调节动机的强度和方向(Doll et al., 2015; Wise et al., 2021; Moughrabi et al., 2022)。”

在“2.1.3 反馈学习”中，我们介绍了个体在做出行为后得到反馈，从而获得强化或者更新信息，形成一个动态的认知回路：“根据学习的双系统理论，习惯化系统会与目标导向系统进行竞争(Keramati et al., 2011; Wood & Runger, 2016)。Gluck 等人(2021)结合趋避冲突来评估习惯性回避对目标导向学习的影响，首先让被试习得对特定刺激做出回避以避免电击，随后移除电击来降低威胁刺激的价值，最后的竞争阶段考察被试在可以获得奖赏的情况下是否仍然表现出习惯性回避。结果显示，即使电击结果被移除后，习惯性回避仍然影响着被试的决策，特别是在目标导向的行为与之前习惯化回避的不一致时，准确率明显降低。”

②我们将原稿中的“2. 焦虑个体趋避冲突失调的认知过程”的“敏感性失衡、目标导向和习惯化异常”三个过程修改为“威胁感知的增强、预期价值和动机比较的失衡、反馈学习的异常”三个部分，并进一步补充了相关的研究：

在“3.1 威胁感知的增强”中，我们增加了对敏感性进行建模的研究：“Yamamori 等(2023)通过计算建模对威胁敏感性和奖赏敏感性进行参数化，研究结果发现较高的威胁敏感性能解释焦虑个体在趋避冲突中为何倾向于采取回避行为。”以及焦虑影响冲突感知所依赖的神经机制：“焦虑个体的威胁注意偏向和高警觉性与杏仁核过度活跃有关(Oler et al., 2010; Fox et al., 2018)。而杏仁核的过度激活可能导致个体对线索关联的感知出现紊乱，可能是负性偏向的原因(Stout et al., 2017)。”

在“3.2 预期价值和动机比较的失衡”中，我们主要增加了预期价值相关的研究：“焦虑个体更有可能夸大威胁的成本和可能性，形成过度悲观的预期(Mitte, 2008; Grupe & Nitschke, 2013)，并且难以减轻对未来威胁的期望(Zorowitz et al., 2020; Rief et al., 2022).....Pittig 等(2023)借助期望违背来改变焦虑个体的威胁预期和 Charpentier 等(2017)采用赌博任务发现焦

虑患者在决策中表现出增强的风险厌恶，而对奖赏得失的重视程度与对照组没有显著差异(Aylward et al. 2019)。”以及焦虑影响预期价值计算在神经方面的证据：“……内部期望主要通过自上而下的神经投射传递，该过程的功能障碍可能导致个体反复对可预测的事件感到意外，夸大了刺激的显著性，导致神经资源过度分配(Howlett & Paulus, 2020)。自上而下的预期编码需要 PFC 的参与，而焦虑个体的威胁期望过高，可能是 PFC 过度的激活从而在权衡时产生的偏差(Mack et al., 2023)。此外，焦虑还表现为内部预测信号的失调，这主要依赖于纹状体对奖励幅度和概率的处理(Garrison et al., 2013; Bech et al., 2023)，以及杏仁核对威胁信息过度反应所引发的高度预期(Costa et al., 2016; Iordanova et al., 2021)。”

在“3.3 反馈学习的异常”中介绍了焦虑对两个学习系统的影响，然而目前的研究结果并不一致，因此我们增加了：“…这种情况可能是由于焦虑个体在目标导向和习惯化两者的切换中存在缺陷，而不是如 Gillan(2015)假设的“脆弱的目标导向系统导致陷入习惯化”。Howlett(2020) 结果发现焦虑对于符合预期的决策更新没有影响，而是与基于环境情境适应的能力受损有关 (Browning., et al 2015; Lamba et al., 2020)，可能是由于更强的先验信念所造成(Paulus, 2020)。”认为焦虑个体的缺陷可能是由于期望的僵化即习惯化与目标导向的信息更新形成抵抗，在需要对两种学习系统进行频繁的转换时，出现不灵活的问题。

③我们重写了展望部分，主要分为三点：（1）未来还需要更多的实证研究对三阶段模型做进一步的验证，一方面从设计上避免不同认知机制的混淆以证明阶段的相对独立性，另一方面可以评估趋避冲突失调与焦虑的因果关系；（2）本文的重要创新点在于将动机、条件化以及强化学习等不同领域的理论进行了整合，从而提出了趋避冲突的三阶段模型，因此我们强调加深交叉领域的探索；（3）最后，焦虑的发病高峰期大多在青春期，并且回避与青少年的典型发育特征（寻求刺激）相反，因此未来的研究还可以发展的角度来进一步考察趋避冲突失调的原因。重点修改内容如下：

在“4.1 趋避冲突三阶段模型的进一步验证”中：“一方面，在趋避冲突的复杂情景下，模型中不同的认知机制可能在实验设计中被混淆。常见的潜在奖赏为金钱或积分，潜在威胁则通常是电击或恐怖图片，这样的设置可能导致对回避和趋近的预期价值并不匹配，而个体对于回避动机和趋近动机也存在主观偏好。如果不能严格控制，可能导致预期编码和内部动机之间的混淆，可以在趋避冲突前增加威胁和奖励的匹配程序(Wong & Pittig, 2022)。此外，由于从经验中学习偶发事件的概率与明确提供概率结果对行为决策的影响不同(Hertwig & Erev, 2009; Baczowski et al., 2023)，表明不同阶段还可能受到刺激结构（如不确定性）的影响。未来还需要进一步的实证工作来确定这些阶段的相对独立性。

另一方面，未来研究需要评估趋避冲突失调与焦虑的关系。焦虑作为一种指向未来的情绪，主要涉及对未来真实/想象的威胁预期(Grupe & Nitschke., 2013; Fung et al., 2019)，而趋避冲突的解决需要预测和模拟未来事件，对于潜在奖励和威胁的差异模拟分别使得行为偏向趋近与回避(Gilbert & Wilson, 2007; Moughrabi et al., 2022)。后续的研究需要回答威胁感知的增强、动机和预期的失衡以及反馈学习的异常，是否会增加患焦虑障碍的风险？还是说这些阶段的受损是长期焦虑所导致的后果？此外，以改变威胁预期为主要目的疗法，实现了对焦虑障碍的有效治疗(Craske et al., 2022; Pittig et al., 2023)，后续还可以继续探索焦虑的改善与这三个阶段的神经反应正常化是否相关。”

在“4.2 趋避冲突三阶段模型的参数化”中：“解决趋避冲突的过程可能涉及到刺激本身、个体自身的学习经验以及个体对奖赏或威胁的敏感性差异(Aupperle & Paulus, 2010; Letkiewicz et al., 2023)。其中的任一因素都可能受到焦虑的影响从而导致趋避冲突的失调，然而焦虑损害的具体机制难以通过行为反应直接观察到。计算精神病学(computational psychiatry)使用数学模型(例如，基于贝叶斯定理的模型)来解释无法直接观察到的病理行为的心理和神经生理基础(Smith et al., 2020; Vasilchenko & Chumakov, 2023)。通过对学习和决策过程的参数化，研究发现焦虑个体的趋避冲突失调可以用内部处理计算模型中特定参数的变异来解释，比如敏感性(Yamamori et al., 2023)、悲观信念(Zorowitz et al., 2020)、行动的信心(Smith et al., 2021)等。然而，目前将计算模型的方法应用于理解焦虑中的趋避冲突的研究非常有限，并且难以完整描述刺激感知、预期到行为输出到底如何实现。未来可以尝试将趋避冲突的阶段划分为不同的子模型，通过分层和模块化的方法，不仅可以进一步理解焦虑如何影响个体在复杂情景中的表现，还可以通过调整特定的模型参数（如增加或减少威胁，或改变对奖赏的评价等）来模拟不同焦虑程度下的变化。”

在“4.3 从发展的视角考察焦虑个体的趋避冲突失调”中：“先前的研究主要集中在焦虑个体的威胁敏感性和回避特征上(Katz et al., 2020)，其测试的群体以成年人为主，然而焦虑症状首次出现的高峰时期在青春期，该时期对情绪高度敏感且具有高度的神经可塑性(Towner et al., 2023)。最近的研究发现青少年的焦虑水平和冒险行为成正比，奖赏敏感性在其中起调节作用，焦虑水平高且奖励敏感性高的青少年表现出更多寻求刺激的行为(Baker et al., 2022; 李晓明 等, 2022)，成年人的焦虑仅仅与回避和威胁敏感性相关，而青少年的焦虑行为表现更为复杂。原因可能是青春期大脑发育的不平衡，其中负责处理奖励和威胁信息的系统（杏仁核和纹状体）在面对刺激时过度激活，而认知控制和比较系统（前额叶和海马体）尚未发育完全(Baker & Galván, 2020; Teruel, 2021)，导致该时期对正反馈的渴望和对负

反馈的害怕，并且难以通过自上而下的调节来平衡冲突。总之，焦虑青少年在面对冲突时表现出过度趋近或回避两种截然相反的行为，在成年人中却只与过度回避有关。未来研究可以通过纵向追踪和多模态的研究来探索焦虑个体趋避冲突失调的发展轨迹。”

【新增参考文献】

- Amodio, D. M., & Harmon-Jones, E. (2011). Trait emotions and affective modulation of the startle eyeblink: On the unique relationship of trait anger. *Emotion, 11*, 47–51.
- Aylward, Jessica, Vincent Valton, Woo-Young Ahn, Rebecca L Bond, Peter Dayan, Jonathan P Roiser, and Oliver J Robinson. 2019. “Altered Learning under Uncertainty in Unmedicated Mood and Anxiety Disorders.” *Nature human behaviour 3*(10): 1116–23.
- Baczkowski, B. M., Haaker, J., & Schwabe, L. (2023). Inferring danger with minimal aversive experience. *Trends in Cognitive Sciences, 27*(5), 456–467.
- Baker, A. E., & Galván, A. (2020). Threat or thrill? the neural mechanisms underlying the development of anxiety and risk taking in adolescence. *Developmental cognitive neuroscience, 45*, 100841.
- Baker, Amanda & Padgaonkar, Namita & Peris, Tara & Galvan, Adriana. (2022). Anxiety symptoms interact with approach motivations in adolescent risk-taking. *10.31234/osf.io/nqdx.*
- Biderman, N., Bakkour, A., & Shohamy, D. (2020). What Are Memories For? The Hippocampus Bridges Past Experience with Future Decisions. *Trends in cognitive sciences, 24*(7), 542–556.
- Browning, M., Behrens, T. E., Jocham, G., O’Reilly, J. X., & Bishop, S. J. (2015). Anxious individuals have difficulty learning the causal statistics of aversive environments. *Nature Neuroscience, 18*(4), 590–596.
- Castegnetti, G., Tzovara, A., Khemka, S., Melinščak, F., Barnes, G. R., Dolan, R. J., & Bach, D. R. (2020). Representation of probabilistic outcomes during risky decision-making. *Nature Communications, 11*(1), 2419.
- Charpentier, C.J., Aylward, J., Roiser, J.P., & Robinson, O.J. (2017). Enhanced Risk Aversion, But Not Loss Aversion, in Unmedicated Pathological Anxiety. *Biological Psychiatry, 81*, 1014 - 1022.
- Cisler, J. M., Tamman, A. J. F., & Fonzo, G. A. (2023). Diminished prospective mental representations of reward mediate reward learning strategies among youth with internalizing symptoms. *Psychological medicine, 53*(14), 1–11.
- Costa, V. D., Dal Monte, O., Lucas, D. R., Murray, E. A., & Averbeck, B. B. (2016). Amygdala and Ventral Striatum Make Distinct Contributions to Reinforcement Learning. *Neuron, 92*(2), 505–517.
- Craske, M. G., Sandman, C. F., & Stein, M. B. (2022). How can neurobiology of fear extinction inform treatment? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 143*, 104923.

- De Pascalis, V., Scacchia, P., Sommer, K., & Checcucci, C. (2019). Psychopathy traits and reinforcement sensitivity theory: Prepulse inhibition and ERP responses. *Biological psychology, 148*, 107771.
- Doll, B. B., Duncan, K. D., Simon, D. A., Shohamy, D., & Daw, N. D. (2015). Model-based choices involve prospective neural activity. *Nature Neuroscience, 18*(5), 767–772.
- Fox, A. S., Oler, J. A., Birn, R. M., Shackman, A. J., Alexander, A. L., & Kalin, N. H. (2018). Functional connectivity within the primate extended amygdala is heritable and associated with early-life anxious temperament. *Journal of Neuroscience, 38*(35), 7611-7621.
- Fung, B. J., Qi, S., Hassabis, D., Daw, N., & Mobbs, D. (2019). Slow escape decisions are swayed by trait anxiety. *Nature Human Behaviour, 3*(7), 702–708.
- Gilbert, D. T., & Wilson, T. D. (2007). Propection: Experiencing the future. *Science, 317*(5843), 1351-1354.
- Gillan, C. M., Otto, A. R., Phelps, E. A., & Daw, N. D. (2015). Model-based learning protects against forming habits. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 15*, 523–536.
- Grupe, D. W., & Nitschke, J. B. (2013). Uncertainty and anticipation in anxiety: An integrated neurobiological and psychological perspective. *Nature Reviews Neuroscience, 14*(7), 488–501.
- Howlett, J. R., & Paulus, M. P. (2020). Where perception meets belief updating: Computational evidence for slower updating of visual expectations in anxious individuals. *Journal of Affective Disorders, 266*, 633–638.
- Hundt, N.E., Brown, L.H., Kimbrel, N.A., Walsh, M.A., Nelson-Gray, R.O., & Kwapil, T.R. (2013). Reinforcement sensitivity theory predicts positive and negative affect in daily life. *Personality and Individual Differences, 54*(3), 350-354.
- Iordanova, M. D., Yau, J. O.-Y., McDannald, M. A., & Corbit, L. H. (2021). Neural substrates of appetitive and aversive prediction error. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 123*, 337–351.
- Katz, B. A., Matanky, K., Aviram, G., & Yovel, I. (2020). Reinforcement sensitivity, depression and anxiety: A meta-analysis and meta-analytic structural equation model. *Clinical psychology review, 77*, 101842.
- Kaye, S. A., White, M. J., & Lewis, I. (2018). Young females' attention toward road safety images: An ERP study of the revised reinforcement sensitivity theory. *Traffic injury prevention, 19*(2), 201–206.
- Lee, D., Seo, H., & Jung, M. W. (2012). Neural basis of reinforcement learning and decision making. *Annual review of neuroscience, 35*(1), 287–308.
- Livermore, J. J., Klaassen, F. H., Bramson, B., Hulsman, A. M., Meijer, S. W., Held, L., ... & Roelofs, K. (2021). Approach-avoidance decisions under threat: the role of autonomic psychophysiological states. *Frontiers in Neuroscience, 15*, 621517.

- McNally, G. P. (2021). Motivational competition and the paraventricular thalamus. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *125*, 193–207.
- McNaughton, N., DeYoung, C. G., & Corr, P. J. (2016). Approach/avoidance. In *Neuroimaging personality, social cognition, and character* (pp. 25-49). Academic Press.
- Miletić, S., Boag, R. J., Trutti, A. C., Stevenson, N., Forstmann, B. U., & Heathcote, A. (2021). A new model of decision processing in instrumental learning tasks. *Elife*, *10*, e63055.
- Moughrabi, N., Botsford, C., Gruichich, T. S., Azar, A., Heilicher, M., Hiser, J., ... & Cisler, J. M. (2022). Large-scale neural network computations and multivariate representations during approach-avoidance conflict decision-making. *NeuroImage*, *264*, 119709.
- Paulus, M. P. (2020). Driven by pain, not gain: Computational approaches to aversion-related decision making in psychiatry. *Biological psychiatry*, *87*(4), 359-367.
- Pittig, A., Heinig, I., Goerigk, S., Richter, J., Hollandt, M., Lueken, U., ... & Wittchen, H. U. (2023). Change of threat expectancy as mechanism of exposure-based psychotherapy for anxiety disorders: Evidence from 8,484 exposure exercises of 605 patients. *Clinical Psychological Science*, *11*(2), 199-217.
- Rief, W., Sperl, M. F. J., Braun-Koch, K., Khosrowtaj, Z., Kirchner, L., Schäfer, L., Schwarting, R. K. W., Teige-Mocigemba, S., & Panitz, C. (2022). Using expectation violation models to improve the outcome of psychological treatments. *Clinical Psychology Review*, *98*, 102212.
- Shi, H.-J., Wang, S., Wang, X.-P., Zhang, R.-X., & Zhu, L.-J. (2023). Hippocampus: Molecular, Cellular, and Circuit Features in Anxiety. *Neuroscience Bulletin*, *39*(6), 1009–1026.
- Smith, R., Kuplicki, R., Feinstein, J., Forthman, K. L., Stewart, J. L., Paulus, M. P., Tulsa 1000 investigators, & Khalsa, S. S. (2020). A Bayesian computational model reveals a failure to adapt interoceptive precision estimates across depression, anxiety, eating, and substance use disorders. *PLoS Computational Biology*, *16*(12).
- Towner, E., Chierchia, G., & Blakemore, S. J. (2023). Sensitivity and specificity in affective and social learning in adolescence. *Trends in cognitive sciences*, *27*(7), 642–655.
- Vasilchenko, K. F., & Chumakov, E. M. (2023). Current status, challenges and future prospects in computational psychiatry: a narrative review. *Consortium psychiatricum*, *4*(3), 33–42.
- Warr, P. B., Sánchez-Cardona, I., Taneva, S. K., Vera, M., Bindl, U. K., & Cifre, E. (2021). Reinforcement Sensitivity Theory, approach-affect and avoidance-affect. *Cognition & emotion*, *35*(4), 619–635.
- Wise, T., Liu, Y., Chowdhury, F., & Dolan, R. J. (2021). Model-based aversive learning in humans is supported by preferential task state reactivation. *Science Advances*, *7*(31), eabf9616.

Wong, A. H. K., & Pittig, A. (2022). A dimensional measure of safety behavior: A non-dichotomous assessment of costly avoidance in human fear conditioning. *Psychological Research*, 86(1), 312–330.

Yamamori, Y., Robinson, O. J., & Roiser, J. P. (2023). Approach-avoidance reinforcement learning as a translational and computational model of anxiety-related avoidance. *ELife*, 12, RP87720.

.....

审稿人 3 意见:

本文回顾了焦虑个体趋避冲突相关理论，提出了一个焦虑个体趋避冲突失调的认知模型，具有一定的创新性，但论文还存在一些重要问题:

意见 1: 本文的最大创新是提出了焦虑个体趋避冲突失调的认知模型，包含冲突觉察过程、目标导向的学习过程和习惯化过程。但全文却没有围绕这个模型来展开。文章在第一部分提出了一个模型，然后后面的论述却没有结合这个模型来展开，感觉这个模型似乎无关紧要。建议针对以下问题展开全文：这个模型相对于现有模型的先进性，该模型的支持证据（行为和认知神经科学的证据），该模型的解释力和预测等。

回应: 感谢您的建议，我们对论文内容进行了相应调整。整体框架如图 1。



图 1. 论文框架修改图

①首先，我们重写了前言，介绍为何需要一个新的模型来理解趋避冲突失调：“一直以来，对于趋避冲突的理解主要从动机维度出发(Gray, 1987; Elliot, 2006; Monni et al., 2020):

个体在趋近回避冲突中主要依赖趋利避害的内驱力进行决策,并且将个体在整个趋避冲突中的反应简化为信息输入和行为输出两个阶段。然而,焦虑个体在奖赏刺激很强且威胁刺激很弱的情况下,依旧选择回避行为(Arnaudova et al., 2017; Chase et al., 2020; Pittig et al., 2021),并且只需要更少的信息就能快速地做出反应(Dillon et al., 2020; Liu et al., 2022; Han et al., 2023)。这表明他们的行为可能并不仅是为了避免痛苦或寻求快乐,还可能源于对潜在威胁的过度反应或习惯性回避(Ball et al., 2022; Watson et al., 2022)。当然,焦虑个体趋近回避冲突失调也可能是由于预期价值计算的受损。因为从进化角度来说,个体的决策往往基于价值的最大化,那么这种放弃更高价值的非理性决策行为可能是个体对不同行为对应结果的概率和成本的复杂计算出现了问题(Rangel et al., 2008; Walters & Redish, 2018)。然而现有理论框架未充分考虑预期价值与动机的相互作用,难以全面解释焦虑个体趋避冲突失调的具体机制。因为过度回避可能代表的是回避相关的动机程度,也可能反映的是预期价值计算的受损。”

②其次,我们综述了前人的理论研究,并在此基础上提出趋避冲突的三阶段模型。原稿“1.焦虑个体趋避冲突系统失调的理论基础”中缺乏了对相关理论的评述和自己的观点,难以解释新模型的独特性。因此,在修改稿“1. 趋避冲突系统的理论基础”中,我们对“强化敏感性理论、巴甫洛夫条件化理论和强化学习理论”都进行了总结和评述,例如:在“1.1 强化敏感性理论”中“虽然强化敏感性理论通过不同程度的敏感性差异影响回避或趋近动机来解释焦虑个体趋避失调的原因,但是该理论过度简化了个体在面对复杂决策时的内部认知过程,也忽略了动机和认知之间的相互作用。有效地认知处理能够帮助个体平衡趋近和回避动机,但是这种认知处理本身可能在焦虑个体中出现异常,因此对于趋避冲突的解释还需要从认知过程的维度进行扩展……”在“1.2 巴甫洛夫条件化和回避学习理论”中“虽然经典条件反射和回避学习理论在一定程度上补充了强化敏感性理论所缺乏的认知加工过程,并解释了在得到结果反馈后,存在两种不同的学习系统应对相同或类似的情况,但是该理论只探讨了威胁情况下个体如何从刺激-行为-结果的联结中进行学习,并不能全面地解释焦虑个体趋避冲突失调的机制……”在“1.3 强化学习理论”中“该理论框架通过量化奖励和威胁的期望值,可以更深入地理解个体进行权衡和决策的认知过程。然而,强化学习理论容易将预期和内部动机混淆。因为预测错误的定义是结果与预期之间差异的符号(正或负),这种定义将预测错误的大小和结果的动机性质混合,例如,超出预期的奖励(正的预测错误)通常被视为有吸引力,而超出预期的威胁(也是正的预测错误)则被视为有厌恶性。相反,比预期少获得的奖励被视为厌恶性,而比预期少遇到的威胁则被视为有吸引力(Kalisch et al., 2019;

Moughrabi et al., 2022)。传统的强化学习模型通常不擅长处理多维度结果，这些后果难以简单地分类为正面或负面，因此限制了其在解释复杂情境下个体如何权衡趋避冲突的适用性。”从而在“1.4 趋避冲突的三阶段模型”中提出新模型：“……综上所述，我们认为前人的动机理论将趋避冲突的处理简单划分为一个静态的评价输入和动机输出的两阶段模型，难以解释内部的认知神经机制和个体根据结果进行适应性的调整过程。而描述了认知过程和反馈学习的理论又往往局限于奖赏或威胁的单一维度，没有纳入趋避冲突的情况。”

③随后，我们介绍了新模型的认知神经基础。为了填补原稿中对新模型论证和解释的空白，我们在修改稿中新增加了“2. 趋避冲突三阶段模型的认知神经基础”章节，这部分强调认知过程和神经机制之间的内在联系，并详细描述了趋避冲突的三个阶段——冲突感知、冲突处理和反馈学习——以及对应的神经机制，使得理论与神经科学证据之间的关联更为紧密。因此，将这一章节分为“2.1 趋避冲突的认知机制”和“2.2 趋避冲突的神经机制”两个部分，认知机制中详细阐述了个体在趋避冲突中经历的心理过程，强调从感知到处理再到反馈学习的连贯性，神经机制则探讨了三个阶段所对应的神经基础。我们增加了关于支持新模型的证据，例如：在“2.1.1 冲突感知”中，为了说明威胁敏感性和奖赏敏感性的差异，会让个体在感知趋避冲突阶段产生对回避或趋近行为的偏好：“高威胁敏感性的个体可能对威胁刺激产生较强的生理唤醒和持续的注意，这通常表现为对威胁线索过度敏感，从而在遇到潜在威胁时迅速产生回避行为(Pascalis et al., 2019)；相对而言，高奖赏敏感性的个体则可能对奖励刺激的识别和反应更加敏感，使得他们在预测到潜在的积极结果时更倾向于趋近行为(Amodio & Jones, 2011; Kaye et al., 2018)。”在“2.1.2 冲突处理”中，为了说明在实际决策过程中，动机和预期价值会相互影响，动机引导个体的趋近或回避倾向，而预期价值反过来又调节动机的强度和方向：“Moughrabi 等(2022)让被试在三个图案中进行选择，每个图案所获得奖励（积分）和遭受威胁（电击）的概率都不同，每个试次都包括了三个阶段：选择、预期和结果，并分为一致和冲突两种条件，在一致条件下，奖励高的图片触发电击概率的可能性低；而在冲突条件下，奖励高的图片发生电击的概率也高。行为结果发现，被试在较高的威胁情况下仍然倾向于趋近行为，表现出明显的偏好。模型比较显示，将威胁结果和奖赏结果的价值整合到一个总体期望中的模型效果更好，这些价值由个体对威胁和奖励的偏好加权。换言之，个体先对回避和趋近行为的预期价值与动机进行乘积后，再进行比较和整合。并且冲突的核心不仅是刺激的动机属性，而更多地涉及对未来奖励或威胁的预期(Doll et al., 2015 ; Wise et al., 2021)。”

对应神经机制上的证据，在“2.2.1 自下而上系统快速调动注意资源”中：“杏仁核

(Amygdala)在感知威胁时迅速响应,促进个体对潜在威胁保持警觉,从而增强对威胁刺激的注意和解释偏向,使得高威胁敏感性个体的加工速度更快,注意力更集中(Choi & Kim, 2010; Diehl et al., 2019; Miller et al., 2019);相反,腹侧纹状体(ventral striatum)的激活增强了个体对奖赏刺激的注意和动机,从而促进趋近动机并抑制回避动机,高奖赏敏感性个体表现出更大的奖赏关注和积极的解释偏向(Nguyen et al., 2019; LeBlanc et al., 2020)。”;在“2.2.2 自上而下系统比较冲突并编码预期”中,我们介绍了冲突处理阶段主要依赖于海马体以及前额叶之间的神经回路,这些回路在控制动机和编码预期过程中起着核心的作用:“vHPC-NAcc 回路和对线索的决策以及维持动机行为有关(Barker et al., 2019),该回路的化学抑制导致决策时间增加(Patterson & Arruda, 2020);mPFC-vHPC 则作为一个门控系统,PFC 可能使用 vHPC 的信息来指导认知控制,从而编码奖赏信号以促进下游脑区制定趋近或回避的策略(Padilla-Coreano et al., 2016; Moscarello & Maren, 2018)。”

④最后,我们使用新的模型来解释焦虑个体在趋避冲突中的异常行为表现。在“3.焦虑个体的趋避冲突失调”中,焦虑个体在趋避冲突中表现出“威胁感知的增强、预期价值和动机比较的失衡以及反馈学习的异常”。具体而言:在“3.1 威胁感知的增强”中“在趋避冲突的早期输入阶段,焦虑个体的高威胁敏感性导致他们对威胁刺激的注意和解释偏差,这种威胁感知能力的增强可能反映出了焦虑个体对潜在的威胁更加敏感,从而倾向于选择回避作为一种适应性的反应……总之,焦虑个体在早期的信息加工处理中,杏仁核和纹状体在面对威胁和奖赏刺激时表现出不平衡的反应,杏仁核的过度活跃加剧了趋避冲突信息中对威胁信息的感知,而对奖赏敏感的纹状体激活程度的较低,导致对威胁成分产生偏向。”在“3.2 预期价值和动机比较的失衡”中“信息进入趋避冲突处理阶段时,焦虑个体过高的威胁敏感性导致 BAS 和 FFFS 两个动机系统的过度激活,促使个体采取回避行为以减少不安和恐惧,导致其回避动机增加(Corr & Cooper, 2016; Dickson, 2006),而 BAS 的活性可能由于担忧和害怕失败而受到抑制,从而减少趋近的动机(Richey et al., 2019; Sequeira et al., 2022)。另一方面,由于对威胁的注意和解释偏差可能会高估潜在威胁,从而增加回避行为的相对价值和权重,以此确保自己的安全,导致焦虑个体对回避反应的期望值偏高……焦虑个体的趋避冲突失调的解释需要同时关注动机和价值的异常计算,焦虑个体回避动机的过度激活以及对回避价值的增加,使得其乘积的异常增加,因此即使威胁很小,也表现出过度的回避行为;而趋近动机又因为恐惧和担忧受到抑制,即使对趋近价值的评估与健康个体相同的情况下,其趋近动机和价值的乘积依然低于正常值,因此即使潜在奖赏很大,在进行比较后,焦虑个体依旧选择回避行为……vHPC 和相关脑区神经回路的连接是调节焦虑行为的生理基础,在以自上而下的

控制占据主导时，由于焦虑导致 vHPC 比较功能的损坏以及在回路中放大焦虑信号，从而让个体对无害的刺激也产生过高的威胁预期……腹侧纹状体和杏仁核以不同的方式处理信号，然后传入 mPFC 来编码回避和趋近的相对价值和权重。这些系统的稳态失衡将导致期望价值更消极，从而引起趋避冲突失调。”在“3.3 反馈学习的异常”中：“焦虑个体放大的威胁预期和对回避过高的预期价值进而影响得到反馈后的学习过程，然而在趋避冲突的研究中却存在不一致的结果，体现在目标导向和习惯化学习两种不同的学习系统中……因此，焦虑个体的缺陷可能是由于期望的僵化即习惯化与目标导向的信息更新形成抵抗，在需要对两种学习系统进行频繁的转换时，出现不灵活的问题，导致行为调整的失败……目标导向和习惯化系统之间的转换不灵活可能是由于焦虑导致前额皮质节点缺乏自上而下的抑制控制，额叶与尾状核的功能连接的减少降低了认知灵活性，从而阻碍了快速的学习转换。因此，焦虑导致反馈学习异常的关键节点或许在于 mPFC 受损，这也需要后续更多的研究来证明。”

意见 2：本文中模型的提出，放在“现有理论的总结”标题下，似乎不太合适，无法体现出是提出了一个不同于现有模型的新模型。

回应：感谢您的建议，在新的框架中，新模型单独放在“1.4 趋避冲突的三阶段理论模型”中。前 3 小节对以往模型进行总结论述，基于前人理论在描述神经机制的动态交互以及在多阶段信息处理过程中的不足，本文提出了一个整合性的三阶段模型：

“因此，我们对上述理论基础进行了整合和扩展，强调冲突处理过程中价值和动机以及两因素的交互作用，并且在得到反馈后获得强化或者更新，从而形成一个动态的认知回路（如图 1）。具体而言，当冲突刺激输入时，引起个体对刺激的注意和解释，受到威胁和奖赏敏感性的影响；随后是冲突处理阶段，个体会对回避和趋近行为分别产生预期价值和动机，并将两者进行比较后做出决策。最后是反馈学习阶段，如果结果反馈与预期不相符，个体以目标导向的学习来调整对信息的判断；如果结果反馈与预期相符，个体强化现有模式，对相同或类似的信息形成习惯化从而维持一贯的行为。下文将对该三阶段模型进行详细介绍，阐明该模型的合理性与独特性。”

意见 3：图 1 中，左半部分和右半部分的关系，还不明确。右侧的一些红色字体不知何意。

回应：感谢您的意见，我们修改了原版示意图，将不同的阶段横向展示。图示的主要目的在于展示趋避冲突的三个阶段及其关键因素。同时，为避免焦虑与图示内容的混淆，已去除图中红色字体标记（见图 2）。相关内容在第二章“趋避冲突三阶段模型的认知神经基础”中

进行了论证，蓝色字体为主要观点。在新的模型中，我们详细介绍了趋避冲突刺激如何被初步处理并触发后续的认知和神经反应。重点更改内容如下：

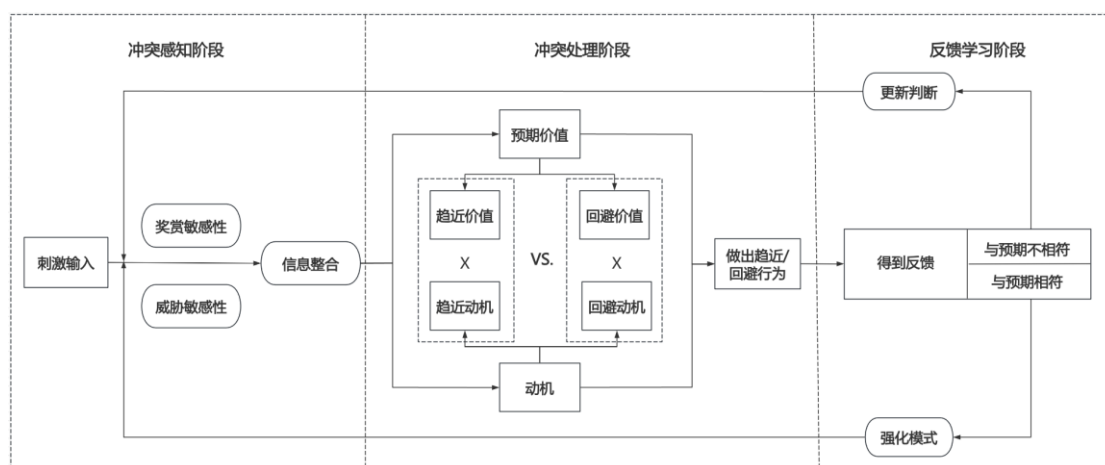


图 2 趋避冲突的三阶段模型

图中的冲突感知阶段开始于刺激输入，个体在威胁敏感性和奖赏敏感性的影响下对冲突刺激进行初步的感知并整合信息：“当个体面临趋避冲突刺激时，会激活强化敏感性系统进行初步的感知和分类(Corr & McNaughton, 2012; Corr & Cooper, 2016; Monni et al., 2020)。冲突感知阶段涉及的是对冲突刺激的快速评估和响应，即强化敏感性系统的奖赏敏感性和威胁敏感性，它们各自影响个体对刺激的注意力分配和理解。……基于威胁敏感性和奖赏敏感性的差异，个体在感知趋避冲突阶段可能已经产生对回避或趋近行为的偏好，并进一步影响下一个阶段”

个体在对信息进行初步感知后，进入冲突处理阶段，这一阶段在图中表现为对趋近和回避动机进行权衡，计算相应的预期价值，并对两者进行比较后做出决策：“个体对信息进行整合后，开始处理趋避冲突并做出决策，这个过程需要动机和预期价值的共同作用(Roesch & Olson, 2004; Verharen et al., 2020)。在趋避冲突的情况下，追求奖励的趋近动机与避免威胁的回避动机相互对立，产生动机竞争 (McNaughton et al., 2016; McNally, 2021)。……趋近和回避动机的强度因人而异，这被认为是对某种行为的主观偏好(Gray & McNaughton, 2000; Corr, 2004; Corr & Cooper, 2016)。除此之外，个体还会基于对行为与结果之间关系的推测，从客观角度计算趋近和回避的预期价值 (Lee et al., 2012; Biderman et al., 2020; Livermore et al., 2021)。相应地，研究发现个体在面临可能带来奖励或威胁的选择时，与结果相关的记忆表征变得活跃，并且表征的强度预测了随后的行为选择，佐证了在做出决定前存在一个对潜在结果的价值进行模拟的过程(Castagnetti et al., 2020; Cisler et al., 2023)。尽管面对威胁与损失奖赏的预期编码在认知过程中具有相似性 (Tom et al., 2007; Kalisch et al., 2019)，但是个体

对损失的厌恶通常超过同等大小的收益(Kahneman & Tversky, 1979; Tymula et al., 2023)。这表明获得和损失并不可以等值替换,获得奖励和面对威胁共同决定趋近的价值,而失去奖励和避免威胁共同决定回避的价值。进一步的研究发现,虽然奖励可以调节趋避冲突中的行为反应,却不能调节对威胁的预期(Schlund et al., 2016; Pittig et al., 2018; Pittig & Dehler, 2019)。也就是说趋近和回避的预期价值可能是先独立计算出来,随后再相互比较从而做出决策.....在实际决策过程中,动机和预期价值会相互影响,动机引导个体的趋近或回避倾向,而预期价值反过来又调节动机的强度和方向.....换言之,个体先对回避和趋近行为的预期价值与动机进行乘积后,再进行比较和整合。并且冲突的核心不仅是刺激的动机属性,而更多地涉及对未来奖励或威胁的预期(Doll et al., 2015; Wise et al., 2021)。经过对预期价值和动机的综合评估后,个体做出回避或趋近行为并得到结果反馈。”

最后,根据行为产生的结果进入反馈学习阶段,个体判断结果与之前的预期是否符合,强化现有行为模式或更新判断来调整策略,从而优化对趋避冲突的决策模式:“结果反馈会影响未来的决策(Miletić et al., 2021),如果结果与预期相符合,个体会强化现有的行为模式,奖励结果有助于强化刺激-行为的关联,从而增加趋近行为的可能性(Ranaldi., 2014)。威胁结果则被编码以避免未来类似的威胁,从而加强回避行为(Feigley & Spear, 1970),最终形成习惯化;如果结果与预期不相符,个体计算预测误差,实际与预期结果间的差异触发目标导向的学习,基于预测误差的大小和方向,重新调整回避或趋近的策略(Diederer & Schultz, 2015)。根据学习的双系统理论,习惯化系统会与目标导向系统进行竞争(Keramati et al., 2011; Wood & Rüniger, 2016).....总之,习惯化行为减少了个体对外部反馈和预测误差的敏感性,节省了认知资源的使用。然而当与预期不一致时,即使明确提示旧有的行为策略不再最优,习惯化行为会干扰目标导向的学习,造成认知和行为上的不一致。同时,无论是哪种反馈学习占据主导,都会在整个认知模型中循环,继而影响后续相同或类似情境的决策。”

意见 4: 全文自己的观点偏少。

回应: 感谢您的建议,我们在修改稿的每段中都增加了自己的观点或总结,在文章中用蓝色字体标注。比如在“1.趋避冲突系统的理论基础中”,对每一个理论都增加了自己的评述,对于强化敏感性理论:“..... 强化敏感性理论通过不同程度的敏感性差异影响回避或趋近动机来解释焦虑个体趋避失调的原因,但是该理论过度简化了个体在面对复杂决策时的内部认知过程,也忽略了动机和认知之间的相互作用。有效地认知处理能够帮助个体平衡趋近和回避动机,但是这种认知处理本身可能在焦虑个体中出现异常,因此对于趋避冲突的解释还需

要从认知过程的维度进行扩展。”对于巴甫洛夫条件反射和回避学习理论：“...虽然经典条件反射和回避学习理论在一定程度上补充了强化敏感性理论所缺乏的认知加工过程,并解释了在得到结果反馈后,存在两种不同的学习系统应对相同或类似的情况,但是该理论只探讨了威胁情况下个体如何从刺激-行为-结果的联结中进行学习,并不能全面地解释焦虑个体趋避冲突失调的机制。”对于强化学习理论：“该理论框架通过量化奖励和威胁的期望值,可以更深入地理解个体进行权衡和决策的认知过程。然而,强化学习理论容易将预期和内部动机混淆。因为预测错误的定义是结果与预期之间差异的符号(正或负),这种定义将预测错误的大小和结果的动机性质混合,例如,超出预期的奖励(正的预测错误)通常被视为有吸引力,而超出预期的威胁(也是正的预测错误)则被视为有厌恶性。相反,比预期少获得的奖励被视为厌恶性,而比预期少遇到的威胁则被视为有吸引力(Kalisch et al., 2019; Moughrabi et al., 2022)。传统的强化学习模型通常不擅长处理多维度结果,这些后果难以简单地分类为正面或负面,因此限制了其在解释复杂情境下个体如何权衡趋避冲突的适用性。”

在“2. 趋避冲突三阶段模型的认知神经基础”中,对不同的认知过程和所依赖的神经机制,都进行了总结或假设,例如:“尽管面对威胁与损失奖赏的预期编码在认知过程中具有相似性(Tom et al., 2007; Kalisch et al., 2019),但是个体对损失的厌恶通常超过同等大小的收益(Kahneman & Tversky, 1979; Tymula et al., 2023)。这表明获得和损失并不可以等值替换,获得奖励和面对威胁共同决定趋近的价值,而失去奖励和避免威胁共同决定回避的价值。进一步的研究发现,虽然奖励可以调节趋避冲突中的行为反应,却不能调节对威胁的预期(Schlund et al., 2016; Pittig et al., 2018; Pittig & Dehler, 2019)。也就是说趋近和回避的预期价值可能是先独立计算出来,随后再相互比较从而做出决策。”

在“3.焦虑个体的趋避冲突失调”中,我们提出“趋避冲突的三阶段模型认为解决趋避冲突包括冲突感知、冲突处理和反馈学习(图1),而焦虑的影响可能不限于某一个阶段,且焦虑涉及的脑区与解决趋避冲突所依赖的神经机制相重叠”。

并且我们重写了展望部分,希望能增加主题的相关性和理论的扩展性,具体而言:

在“4.1 趋避冲突三阶段模型的进一步验证”中,提出未来的实证研究需要考虑两个方面:“一方面,在趋避冲突的复杂情景下,模型中不同的认知机制可能在实验设计中被混淆。常见的潜在奖赏为金钱或积分,潜在威胁则通常是电击或恐怖图片,这样的设置可能导致对回避和趋近的预期价值并不匹配,而个体对于回避动机和趋近动机也存在主观偏好。如果不能严格控制,可能导致预期编码和内部动机之间的混淆.....另一方面,未来研究需要评估趋避冲突失调与焦虑的关系...后续的研究需要回答威胁感知的增强、动机和预期的失衡以及反

馈学习的异常,是否会增加患焦虑障碍的风险?还是说这些阶段的受损是长期焦虑所导致的后果?”

在“4.2 趋避冲突三阶段模型的参数化”中,强调加深交叉领域的探索:“目前将计算模型的方法应用于理解焦虑中的趋避冲突的研究非常有限,并且难以完整描述刺激感知、预期到行为输出到底如何实现。未来可以尝试将趋避冲突的阶段划分为不同的子模型,通过分层和模块化的方法,不仅可以进一步理解焦虑如何影响个体在复杂情景中的表现,还可以通过调整特定的模型参数(如增加或减少威胁,或改变对奖赏的评价等)来模拟不同焦虑程度下的变化。”

在“4.3 从发展的视角考察焦虑个体的趋避冲突失调”中,认为未来研究还可以关注焦虑个体趋避冲突失调的发展轨迹:“最近的研究发现青少年的焦虑水平和冒险行为成正比,奖赏敏感性在其中起调节作用,焦虑水平高且奖励敏感性高的青少年表现出更多寻求刺激的行为(Baker et al., 2022; 李晓明 等, 2022),成年人的焦虑仅仅与回避和威胁敏感性相关,而青少年的焦虑行为表现更为复杂……总之,焦虑青少年在面对冲突时表现出过度趋近或回避两种截然相反的行为,在成年人中却只与过度回避有关。未来研究可以通过纵向追踪和多模态的研究来探索焦虑个体趋避冲突失调的发展轨迹。”

意见 5: 论文中还有一些不太通顺或需要改进的表达,如“结果表明与只提供奖励结果的试次相比,趋避冲突的存在导致更多的回避并与焦虑存在相关”。

回应: 感谢您细致的审阅和宝贵的建议。

①这一表述原本在“2.1.2 焦虑个体的外显回避倾向”部分,由于新的框架围绕我们提出的三阶段模型进行论述,因此该部分被删除。对焦虑与趋避冲突的关系在“3.焦虑个体的趋避冲突失调”中重新表述:“Yamamori 等(2023)通过计算建模对威胁敏感性和奖赏敏感性进行参数化,研究发现较高的威胁敏感性能解释焦虑个体在趋避冲突中为何倾向于采取回避行为。”

②我们重新对整篇文章进行了全面的修改和校对,发现了原稿中的一些其他问题,我们对自查问题的修改如下:

(1) 原稿中,对强化敏感性理论提出的二阶段理论没有表述清楚:“首先,输入阶段,同一个刺激可以同时具有吸引和排斥的属性,当趋近和回避倾向较高且相对平衡时,就会发生趋近-回避冲突,并产生矛盾心理;随后是输出阶段,个体关注行为的潜在结果,基于个体对刺激性质的最初评估,输出以某种行为或行为抑制的形式出现。”在修改稿中,更改为:

“研究者提出了引导动机行为的两阶段模型(Corr & McNaughton, 2012; Corr & Cooper, 2016): 在评估输入阶段, 个体识别到强化物(刺激)同时具有吸引和排斥的属性, 引起矛盾心理; 在动机输出阶段, 相应的行为系统(如BAS、FFFS或BIS)被激活, 产生趋近和回避的动机并做出最终决策。”

(2) 原稿中的重要术语也不统一, 例如“趋近-回避冲突”、“趋避冲突系统”, 在修改稿中统一为“趋避冲突”; 原稿中对新提出的模型的名称也不一致, 如“趋避冲突系统失调的认知框架”或“认知神经模型”等, 在修改稿中统一为“趋避冲突的三阶段模型”。

(3) 原稿中缺乏明确的科学问题: “目前已有研究者关注焦虑与趋避冲突系统的关系, 然而对焦虑个体趋避冲突失调的潜在认知过程以及伴随的神经机制变化等问题尚不清楚。” 在修改稿中, 我们根据现有理论在描述动态神经交互以及多阶段信息处理过程中的局限, 提出了趋避冲突的三阶段模型, 从而明确科学问题: “焦虑个体在冲突感知、冲突处理和反馈学习三个阶段中的认知神经变化, 如何共同作用导致趋避冲突中的异常行为?”

(4) 原稿缺乏对不同脑区功能的整合和解释: “解决趋避冲突涉及上述三个复杂结构系统的相互整合, 其中, 目标冲突加工系统主要负责判断趋避冲突并起到抑制或促进回避的作用; 外显加工系统主要负责编码动机和传递焦虑信号; 内隐加工系统主要负责为刺激提供情绪效价并在一定程度上平衡趋避冲突。” 在修改稿中, 我们在每一段后都添加了总结和过渡, 并修改了原有的示意图, 对不同脑区功能的整合进行了可视化(图3):

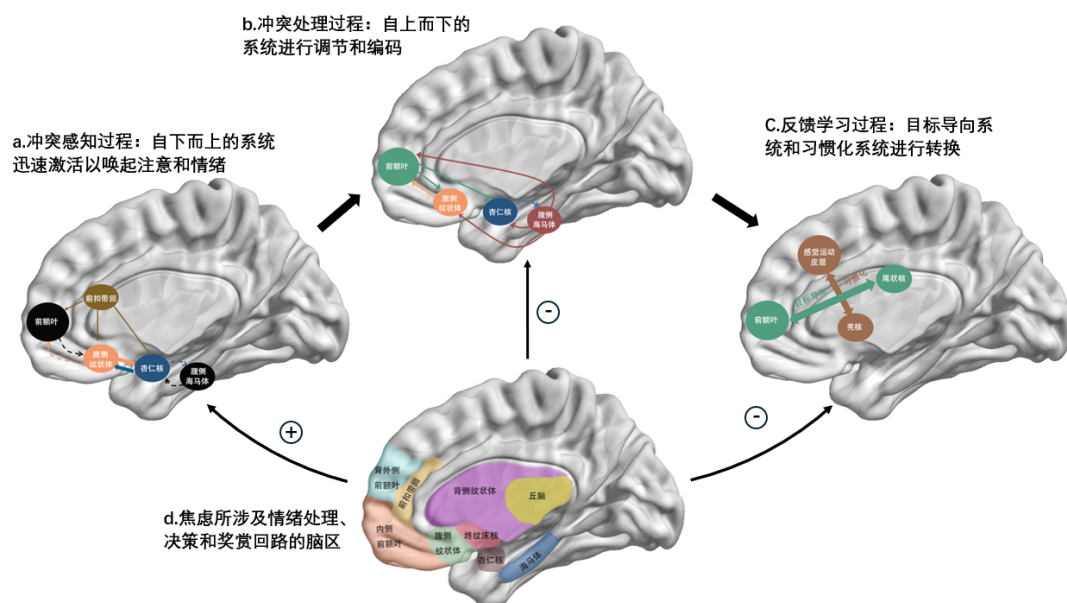


图3.焦虑影响趋避冲突失调的神经机制

第二轮

审稿人 2 意见:

作者已经对审稿意见进行了详细的回应, 我没有其他问题了。

回应: 感谢您的审阅!

.....

审稿人 3 意见:

作者对论文进行了大幅度的修改, 比较好地回应了评审人的意见。以下问题还要进一步考虑:

意见 1: 趋避冲突的三阶段模型, 包括冲突感知、冲突处理和反馈学习三个阶段, 作者在介绍趋避冲突的”神经机制“时, 建议也与”认知机制“一样, 围绕这三个方面展开, 并体现了小标题上。

回应: 感谢您的审阅和建议! 按照审稿人的建议, 我们对趋避冲突的神经机制部分进行了全面的修改, 使其结构与认知机制部分相一致, 具体如下:

①我们对神经机制部分的内容进行了相应调整, 并在文章中用绿色字体标注:

首先, 在认知机制部分, 我们提到了冲突感知阶段涉及对冲突刺激的快速评估和响应。为了对应这一内容, 我们在“2.2.1 冲突感知: 情绪动机相关的皮质下结构激活”的开头增加了以下内容: “随着刺激的输入, 前扣带回唤醒对冲突刺激的注意, 并快速启动情绪驱动的加工过程, 这涉及到杏仁核和腹侧纹状体等与情绪动机相关的皮质下结构(Loijen et al., 2020)。”

其次, 冲突处理的认知机制中提到: “个体对信息进行整合后, 开始处理趋避冲突并做出决策, 这个过程需要动机和预期价值的共同作用”。对此, 我们在“2.2.2 冲突处理: 以海马-前额叶为核心的调控通路”中增加以下内容: “此时, 个体需要编码预期并比较趋避冲突, 从而做出决策。这个过程主要依赖于海马和前额叶皮层及其之间的通路.....mPFC-vHPC 则作为一个门控系统, PFC 可以使用 vHPC 的信息来指导认知控制, 从而编码奖赏信号以促进下游脑区制定趋近或回避的策略。”

最后, 为了对应反馈学习中提到的两个学习系统, 我们在“2.2.3 反馈学习: 皮质-基底神经节中的竞争通路”中增加了以下内容: “在这一过程中, 存在两种学习系统: 目标导向系统和习惯化系统, 两个系统在皮质-基底神经节回路中相互竞争.....目标导向系统依赖于前额叶(PFC)和背内侧纹状体(dorsomedial striatum, DMS 相当于人类的尾状核)之间的回路,

其根据预期与实际结果之间的差异计算预测误差，使得个体能够灵活地调整行为；习惯化系统则涉及背外侧纹状体(dorsolateral striatum, DLS 相当于壳核)在内的感觉运动皮层-基底神经节回路，通过反复地强化现有模式，可以减少个体对外部反馈和预测误差的敏感性，从而节省认知资源的使用 (Kim & Hikosaka, 2015; Wood & Runger, 2016; Baladron & Hamker, 2020)。”

②我们将“2.2 趋避冲突的神经机制”中的小标题明确地围绕冲突感知、冲突处理和反馈学习三个阶段展开，并突出每个阶段的核心机制。分别修改为：

“2.2.1 冲突感知：情绪动机相关的皮质下结构激活”：在冲突感知阶段，杏仁核和腹侧纹状体分别对威胁和奖赏刺激产生快速的情绪反应，影响个体的注意力和解释偏向。

“2.2.2 冲突处理：以海马-前额叶为核心的调控通路”：在冲突处理阶段，海马体与前额叶皮层整合信息，编码预期并比较趋避冲突，最终形成决策。

“2.2.3 反馈学习：皮质-基底神经节中的竞争通路”：在反馈学习阶段，皮质-基底神经节回路中的目标导向系统和习惯化系统相互竞争，影响个体的行为策略更新和适应能力。

第三轮

审稿人 3 意见：

作者已经很好回复了评审人的意见。

编委 1 意见：

对稿件认真研读后，文章针对问题提出明晰、观点的论证比较详实，写作逻辑性较强，语句通顺。作者对审稿人的问题再次进行了修改与答复。全文提出的趋避冲突的三阶段模型、相应的神经机制和未来研究方向对该领域未来研究具有一定的启发性，建议发表。在发表前，如下两点建议供作者参考：

意见 1：在条件学习和强化学习理论和回顾复习中，早期并不包含认知因素，后期发展中吸纳的认知心理学的有关观点并不断演化。这两段好像并未体现出这样的历史发展逻辑，而把认知因素隐含在文中的感觉。

回应：感谢您的审阅和建议！根据您的建议，我们补充了两个理论的发展历史，并明确指出认知因素在理论发展中的作用。具体如下：

①对于“1.2 巴甫洛夫条件反射和回避学习理论”：巴甫洛夫恐惧条件反射是研究焦虑的经典模型。行为主义认为回避是通过反复的刺激-反应联结所产生，因此回避行为是对焦虑和恐惧的直接反应(Watson & Rayner, 1920; Mowrer, 1940; Miller, 1948)。根据这一观点，回避行为将直接减少面对的恐惧，从而被不断强化。然而，许多回避行为并未伴随显著的恐惧减弱，这表明减少恐惧可能不是唯一的驱动力(Bolles, 1970; Rachman & Hodgson, 1974)。于是研究者逐渐将目光转移到认知层面，关注威胁预期在回避行为的习得和维持中的作用（即虽然恐惧减弱，但对威胁的预期并没有减弱），将回避从被动的行为反应转向具有认知驱动的主动行为(Seligman & Johnston, 1973)。Lovibond(2006)提出了预期模型，认为回避不仅是条件反射的结果，还涉及个体对结果的预测和认知评估，该模型强调威胁预期是回避行为的核心驱动力。另一种对持续性回避行为的解释是习惯化，即回避行为的高度自动化(Krypotos et al., 2015; Hofmann & Aue, 2018)。因此，目前普遍认为回避行为由两个相互独立的学习过程共同支配(de Wit & Dickinson, 2009; LeDoux et al., 2017; Watson et al., 2022)。首先是威胁预期过程：这是一种目标导向的学习，即个体关注威胁线索和结果之间的联系，其回避反应是出于对威胁结果出现可能性的估计(de Wit & Dickinson, 2009)。焦虑个体在面对威胁线索时可能会高估威胁结果出现的可能性，从而产生较高的恐惧水平和过度的回避反应；其次是习惯化过程：通过大量重复的行为练习，个体的回避反应逐渐自动化，对威胁线索的回避反应成为习惯，最终使得回避行为脱离了对结果的依赖 (Wood & Neal, 2007)。虽然经典条件反射和回避学习理论在一定程度上补充了强化敏感性理论所缺乏的认知加工过程，并解释了在得到结果反馈后，存在两种不同的学习系统应对相同或类似的情况，但是该理论只探讨了威胁情况下个体如何从刺激-行为-结果的联结中进行学习，并不能全面地解释焦虑个体趋避冲突失调的机制。

②对于“1.3 强化学习理论”：强化学习理论(Reinforcement Learning Theory) 为奖励驱动(或威胁驱动)行为的建模提供了一个框架，个体在此框架下通过权衡决策结果的预期值，旨在最大化奖励并最小化损失。强化学习的概念源自操作性条件反射，行为主义者认为通过强化物可以有效塑造行为，而无需推测个体的内部心理过程(Skinner, 1938)。然而，Tolman(1948)发现动物可以通过对环境形成认知地图，在没有强化物的情况下也能进行学习并调整行为。这一发现促使研究者从单纯依赖强化物的行为主义转向了包含预测、计划和决策的认知心理学框架(Silvetti & Verguts, 2012)。Rescorla-Wagner(1972)模型提出预期结果和实际结果之间的差异（预测误差）是驱动学习的关键。随后，Sutton(1988)将预测误差引入时序差分学习(Temporal-Difference Learning)，即个体在每一步都更新对未来状态和结果的预期

值，进而描述个体如何通过不断更新对环境的预期来进行适应性的行为调整。发展至今，强化学习通过计算预期价值来指导行为决策，其中奖励值代表趋近行为的预期收益，而惩罚值则表示某行为可能导致的负面后果。预测误差被认为是调整和优化行为决策的核心因素：如果行为的结果高于预期，个体会增强对该行为的倾向；如果实际结果不如预期，个体将减少相同行为的发生(Sutton & Barto, 2018; Sharp et al., 2022; Letkiewicz et al., 2023; Enkhtaivan et al., 2023)。利用计算建模，强化学习理论揭示了个体如何动态适应环境和调整预期的内部认知过程.....传统的强化学习模型通常不擅长处理多维度结果，这些后果难以简单地分类为正面或负面，因此限制了其在解释复杂情境下个体如何权衡趋避冲突的适用性。

【新增参考文献】

- Watson, J. B., & Rayner, R. (1920). Conditioned emotional reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 3(1), 1–14.
- Mowrer, O. H. (1940). Anxiety-reduction and learning. *Journal of Experimental Psychology*, 27(5), 497–516.
- Silvetti, M., & Verguts, T. (2012). Reinforcement Learning, High-Level Cognition, and the Human Brain.
- Lovibond, P. (2006). Fear and Avoidance: An Integrated Expectancy Model. In M. G. Craske, D. Hermans, & D. Vansteenwegen (Eds.), *Fear and learning: From basic processes to clinical implications* (pp. 117–132). American Psychological Association.
- Bolles, R. C. (1970). Species-specific defense reactions and avoidance learning. *Psychological Review*, 77(1), 32–48.
- Seligman, M. E., & Johnston, J. C. (1973). A cognitive theory of avoidance learning. In F. J. McGuigan & D. B. Lumsden, *Contemporary approaches to conditioning and learning*. V. H. Winston & Sons.
- Rachman, S., & Hodgson, R. (1974). I. Synchrony and desynchrony in fear and avoidance. *Behaviour Research and Therapy*, 12(4), 311–318.
- Miller, N. E. (1948). Studies of fear as an acquirable drive: I. Fear as motivation and fear-reduction as reinforcement in the learning of new responses. *Journal of Experimental Psychology*, 38(1), 89–101.
- Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55(4), 189–208.
- Skinner, B. F. (1938). *The behavior of organisms: an experimental analysis*. Appleton-Century.
- Wagner, A. R., & Rescorla, R. A. (1972). Inhibition in Pavlovian conditioning: Application of a theory. *Inhibition and learning*, 301-336.
- Sutton, R. S. (1988). Learning to predict by the methods of temporal differences. *Machine learning*, 3, 9-44.

Kryptos, A.-M., Effting, M., Kindt, M., & Beckers, T. (2015). Avoidance learning: a review of theoretical models and recent developments. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9, 189.

意见 2: 全文中有关术语需要在不同语句中具体所指需要准确, 如焦虑、焦虑症状、焦虑症、焦虑障碍、焦虑个体、焦虑损害等, 这些术语均会有不同的专业定义。在文中具体应用时需要进行必要的区分, 如正常焦虑与病理性焦虑、焦虑症与焦虑障碍的不同, 准确为好。

回应: 感谢您的审阅和建议! 按照建议, 我们重新校对和区分了文章中与焦虑有关的术语, 具体而言:

①焦虑: 在本文中我们参考其情绪的定义: “焦虑作为一种指向未来的情绪, 主要涉及对未来真实/想象的威胁预期(Grupe & Nitschke., 2013; Fung et al., 2019)。”

②焦虑个体: 我们在文中多次使用焦虑个体一词, 在本文中泛指临床、亚临床以及焦虑倾向的个体, 在对具体研究进行引用时, 我们对被试群体进行明确划分。我们在引言的第一段末尾添加了说明: “在没有特别说明的情况下, 本文中的焦虑个体泛指临床、亚临床以及焦虑倾向的个体。”

③焦虑障碍: 在描述病理性焦虑或临床诊断的焦虑症时, 我们统一使用“焦虑障碍”来指代, 以明确区分其与正常焦虑的不同。例如: 在“1.3 强化学习理论”中介绍到“Pike(2022)对强化学习参数的元分析发现相比于对照组, 焦虑障碍患者对惩罚学习率的升高和奖励学习率的降低, 并将其解释为焦虑障碍对负面信号的高敏感性。”; 在“3.2 预期价值和动机比较的失衡”中, 我们对每个实验都重新区分了不同组别: “Pittig 等(2023)借助期望违背来改变焦虑障碍患者的威胁预期, 让威胁呈现后不跟随预期的结果……Charpentier 等(2017)采用赌博任务发现焦虑患者在决策中表现出增强的风险厌恶, 而对奖赏得失的重视程度与对照组没有显著差异, 与此相似的是, 焦虑障碍组可以依靠更少的观察来估计某种行为的厌恶值, 而对奖赏价值的估计没有组间差异(Aylward et al., 2019)。”

④亚临床焦虑: 在以没有临床诊断、但呈现焦虑倾向被试的研究中, 我们使用“亚临床焦虑”或“焦虑倾向”来指代。例如, 在“3.1 威胁感知增强”中: “具有焦虑倾向的个体, 其威胁注意偏向和高警觉性与杏仁核过度活跃有关(Oler et al., 2010; Fox et al., 2018)”。在“3.2 预期价值和动机比较的失衡”中: “焦虑倾向个体 vHPC-AMY 的信息传递同步率显著增强(Felix-Ortiz et al., 2013; Jimenez et al., 2018)”

⑤焦虑状态: 对于在实验或任务中因特定刺激引发的暂时性焦虑反应, 我们称之为“焦虑状态”; 例如, 在“3.1 威胁感知”中: “Yamamori 等(2023)通过计算建模对威胁敏感性

和奖赏敏感性进行参数化, 研究发现较高的威胁敏感性能解释处于焦虑状态的个体在趋避冲突中为何倾向于采取回避行为。”; 以及在“3.3 反馈学习的异常”中: “尽管焦虑状态的诱发涉及到纹状体(Robinson et al., 2013; McDermott et al., 2022), 但 Chavanne 和 Robinson (2021)的元分析认为, 焦虑状态和焦虑障碍的重叠脑区在于 mPFC 的异常激活, 而非重叠区域(如纹状体)的功能缺陷可能是焦虑状态向焦虑障碍转化的中间机制。”

⑥焦虑的行为表现: 当讨论焦虑如何影响行为和决策过程时, 我们统一使用“焦虑的行为表现”, 避免“焦虑症状”带来的临床诊断的误解。

⑦我们删除了“焦虑损害”这一术语, 以避免“损害”一词带来的模糊性。

.....

编委 2 意见:

同意发表。

回应: 感谢您的审阅!

.....

第四轮

主编意见:

修改进一步提高了论文质量, 同意发表。

意见: “结果显示, 即使**电击结果**被移除后, 习惯性回避仍然影响着被试的决策, 特别是在目标导向的行为与之前习惯化回避的不一致时, 准确率明显降低。”请澄清是电击刺激还是结果移除。

回应: 感谢您的审阅和建议! 我们已对表述进行澄清, 这里的“电击结果被移除”是指取消了特定刺激与电击之间的关联, 相关内容修改为: “最后考察被试是否仍然表现出习惯性回避, 即便此时选择趋近行为可能带来奖励。结果显示, 即使特定刺激后面不再跟随电击而是奖励, 习惯性回避仍然影响着被试的决策, 特别是在目标导向的行为与之前习惯化回避的不一致时, 准确率明显降低。”