

### 审稿意见回复信

尊敬的编辑：

您好！非常感谢您对我们题为“*回报与代价对认知控制的影响及其作用机制*”的手稿的仔细阅读和评估。二位审稿专家和编辑的意见给予了我们很大的启发，我们根据每条意见和建议对文章做了修订，其中，重点对以下两个方面做出了较大调整：

一、我们重新凝练了科学问题并梳理了问题的提出逻辑。本文核心关注的问题是：面对不断变化的认知需求情境，个体的认知控制过程是如何发生变化的？换言之，个体究竟是如何做出关于实施认知控制决策的？其实质即是探究认知控制过程的影响因素。针对这一问题，Shenhav 等人(2013)提出了基于预期价值的控制分配模型（EVC 模型），指出回报与代价会通过调节个体的动机水平来影响认知控制的实施与分配（即回报-代价权衡）。因此，回报与代价是影响认知控制的两个关键因素。然而，从 EVC 模型提出至今，还有很多研究探究了动机相关因素如何影响认知控制，这些因素的操纵影响了实施控制所产生的回报与（或）代价，探究它们对认知控制的影响即是在探索回报或代价对认知控制的影响。因此，本文旨在系统梳理认知控制实施过程中可能的回报与代价，并探讨二者如何共同作用于认知控制过程。鉴于此，我们将本文的题目变更为“*认知控制过程的影响因素：回报与代价*”。

二、我们对行文逻辑进行了重新整理，重新写作了部分重要章节。首先，EVC 模型及其所提出的回报与代价仅是本文论述相关问题的一个引子（而非全文都围绕这一模型论述），因此，在修改稿中，我们将上一版文章中第二节关于 EVC 模型的阐述（“*认知控制的实施过程：基于 EVC 模型*”）合并到了第一节引言中，以此作为背景介绍，突出本文重点关注的是回报与代价。其次，在修改稿的第二节回报和第三节代价中，我们聚焦于回报和代价本身，试图说明二者作为影响认知控制动态调节的重要因素，在实际研究中（EVC 模型外）是通过何种任务、以何种形式、对何种控制强度相关的行为或影像表现产生影响的（实证），并在“3.2 ‘回报-代价’权衡影响认知控制过程的可能机制”中以回报-代价权衡的框架重新梳理了回报与代价共同影响认知控制过程的可能方式（理论或计算模型）。同时，我们突出强调了认知控制的变化受个体动机水平的影响，认知控制的实施决策与个体的主观意愿有关。因此，我们相应探讨了个体主观因素影响回报、代价及二者权衡的可能机制。最后，基于新修改的内容，我们重新从客观和主观两方面为未来研究提供了研究思路。

本次修订中所做的所有更改都用蓝色字体标注，以方便您和两位审稿人检测和评估，详见下面我们针对每条意见和建议做出的回复。再次感谢各位专家审稿人的建设性意见，希望此次修改能对文章有所提升。

## 编辑意见回复

文章的主要观点是基于 2013 年 Shenhav 等的文章来提的，要明确说明相比该文献，包括其后续研究，当前研究的进展在哪里。本文所讲的认知控制是广义的认知控制，涉及到情绪动机的影响，要将这个背景讲清楚。比如，与所谓热执行功能的理论解释相比，当前观点的新颖之处。国内学者相关研究要引用。

文章存在较多问题，修后再审。

**回应：**非常感谢编辑的宝贵意见和建议！在此次修改中：

(1) 我们明确了 EVC 模型(Shenhav et al., 2013)及其所提出的回报和代价与认知控制间的关系，即，回报与代价是影响认知控制实施与动态调控的关键因素，个体对于回报-代价的权衡影响了他们实施认知控制的动机水平。在 EVC 模型基础上，本文系统总结和梳理了那些可以被视为回报或代价影响认知控制过程的实证或理论证据。同时，我们将原有题目中的“认知控制”补充为“认知控制过程”，旨在突出本文关注的是个体如何在不断变化的任务情境中动态调控认知控制水平，因此，我们分别从回报-代价权衡过程的主观性与动态性两个方面探讨了回报与代价对认知控制的共同影响。

(2) 针对广义的认知控制这一背景，此次修改中，我们调整了主要的行文逻辑，强调了回报-代价权衡通过影响个体的动机水平进而影响个体的认知控制实施（详见引言部分第二段）。但为了聚焦问题，在新版文章中，我们仅在“2.1.2 影响外在回报对认知控制调控效果的其他因素：EVC 模型面临的挑战”中的“(2)任务表现相关性”小节涉及了有关情绪与认知控制间的相关关系的内容。此部分简要讨论了任务表现不相关的外在回报对认知控制过程的情绪性影响，意在强调任务表现相关性对外在回报影响认知控制的调节作用，讨论为何任务表现不相干的外在回报最终削弱了认知控。综上，本文希望突出动机框架下的认知控制实施，故而未对情绪性影响做进一步展开。

(3) 此次修改，已更新和引用国内外学者相关的研究。

## 审稿人 1 的意见回复

作者根据预期控制价值模型对认知控制的加工机制进行了梳理，整体逻辑清晰，但是有一些小问题需注意。

**回应：**非常感谢审稿专家的宝贵意见与建议！以下是针对各条意见与建议做出的回复，相关修改在文章中做了标记。

**意见 1：**引言部分。认知控制和预期控制价值模型均为核心内容，建议作者在该部分增加预期控制价值模型的概念介绍。

**回应 1：**非常感谢审稿专家的意见和提醒！我们对此问题进行了两方面的调整（详见修改稿 1-2 页）：

(1) 在修改稿中，我们明确了本文的核心问题：面对不断变化的认知需求情境，个体的认知控制过程是如何发生变化的？换言之，个体究竟是如何做出关于实施认知控制决策的？其实质即是探究认知控制过程的影响因素。据此，我们对行文逻辑进行了重新整理：EVC 模型及其所提出的回报与代价仅是本文论述相关问题的一个引子（而非全文都围绕这一模型论述）。因此，我们将上一稿第二节关于 EVC 模型的阐述（“认知控制的实施过程：基于 EVC 模型”）合并到了第一节引言中，以此作为背景介绍，突出本文重点关注的是回报与代价。

(2) 我们在引言部分补充了关于 EVC 模型的介绍。具体为：1) EVC 模型将认知控制的实施过程分为监测（环境信息）、配置（控制信号对象及强度）和实施（控制的分配与调节）三个成分，这三个成分的相互作用揭示了认知控制的动态变化过程；2) 控制投入强度取决于“预期价值（即，EVC 值）”的计算，EVC 等于控制投入的预期回报减去控制的代价，最大 EVC 值决定了最优控制强度。相应改动已在引言部分做了蓝色字体标注。

**意见 2：**文中采用图（图 1、2、3）的形式介绍预期控制价值模型，如果是他人观点要增加出处。

**回应 2：**非常感谢审稿专家的提醒和指正！此次修改中，我们意识到上一版作图的不妥之处，因此，基于新修改的内容，我们对全文的图做了如下调整：

(1) 我们重新绘制了图 1（详见修改稿 2-3 页），旨在说明 EVC 模型中的认知控制强度与 EVC、回报和代价之间的函数关系；

(2) 在上一版文章中，我们提出不同个体对回报值和代价值具有不同的主观感受，“回报-代价权衡”可能是一种更加主观的价值计算过程，图 2 也因此用来介绍主观的“回报-代价权衡”（详见修改稿 2 页）。在此次修改中，我们为这一观点补充了背景介绍，如通过努力悖论和 DPOWER 模型来阐述为什么需要考虑个体主观因素对“回报-代价权衡”的影响（详见 3.2.1 第一段），并调整了原有的图 2 部分内容，详见新版文章中的图 3B（详见修改稿 11 页）；

(3) 鉴于展望内容调整，我们删除了原有的图 3；

(4) 我们对全文所有图中是引用他人观点的图，已在图注中补充了出处。相应改动已在文中做了蓝色字体标注。

**意见 3：**3.1.2 中，外在回报虽是提升认知控制的一个有效因素，但仍受到奖赏相关变量（包括奖赏的不同成分，奖赏信号呈现的时间）与个体差异（奖赏敏感性）等因素的共同调节(Botvinick & Braver, 2015)。但是，作者之介绍了奖赏的不同成分和奖赏信号呈现的时间的影响，建议增加奖赏敏感性的影响。

**回应 3:** 非常感谢审稿专家提出的意见与建议! 在此次修改中, 我们重新整理了回报部分的内容, 基于您的建议, 已在“2.1 外在回报”中将原“3.1.2 外在回报(奖赏)影响认知控制的可能机制”修改为“2.1.2 影响外在回报对认知控制调控效果的其他因素(详见修改稿 4-5 页): EVC 模型面临的挑战”小节, 以强调其他因素对外在回报影响认知控制过程的调节作用。此外, 在这一部分中, 我们还进行了以下调整:

(1) 增加了“个体间的奖赏敏感性差异”小节, 以讨论奖赏敏感性的调节作用;

(2) 为更好地阐述其他因素对外在回报影响认知控制过程的调节作用, 为读者呈现更新的文献和讨论, 在 2.1.2 中, 我们将原有的“奖赏的不同成分, 奖赏信号呈现的时间”等相关内容修改为“任务情境”和“任务表现相关性”两个小节。在“任务情境”小节, 我们不再强调奖赏信号呈现时间对外在回报作用的影响, 转而强调奖赏丰富性、奖惩情境间的差异对外在回报作用的影响, 希望能更加紧扣回报的动机性质; 而在“任务表现相关性”小节, 我们以任务表现相关性重新串联了有关奖赏不同成分的部分内容, 以呈现更新的研究发现。上述改动已在文中做蓝色字体标注。

**意见 4:** 3.1.2 中, 奖赏的不同成分影响的介绍, 两段之间没有连接, 缺少转承。注意修改文中其他类似问题。

**回应 4:** 感谢审稿专家的细致阅读与仔细推敲。根据您的意见, 此次修改, 我们重新整理了“2.1 外在回报”部分的相关内容, 详见意见#3 回复。考虑到回报影响认知控制的可能机制, 尤其是内在回报影响认知控制的可能机制部分的相关研究数量较少, 以此逻辑组织行文可能掺杂我们过多的个人观点而非实验证据, 影响写作内容的可靠性。因此, 此次修改重新调整并明确了本文的核心问题(如另一位审稿人所提出的问题, 见“审稿人 2-意见 1-回应”), 不再以“可能机制”作为写作逻辑, 而是强调影响外在回报作用的调节因素(任务情境、任务表现相关性、个体间的奖赏敏感性差异)和内在回报相关的基础发现, 在每一分点中, 以小标题为中心, 重新写作了相关内容, 希望解决了段落间关系不明确的问题。文中其他类似问题已相应修改, 所有改动已在文中做蓝色字体标注(详见修改稿 3-7 页)。

**意见 5:** 展望 5.2.2 中, 根据图 3 内容似乎是前人已有的发现, 建议作者在展望部分深入思考。

**回应 5:** 非常感谢审稿专家的意见与建议! 正如意见#2 的回复, 在上一版的文章中, 我们认为 EVC 模型没有考虑到个体是否实施认知控制在很大程度上取决于个体的主观意愿, 故将“回报-代价权衡”的主观计算作为文章的创新点进行阐述(上一版 4.2 中的阐述), 并在此基础上, 提出主观“回报-代价权衡”需要纳入个体特质因素, 即 5.2.2 所描述的奖赏敏感性和认知需求。经过专家的提醒与重新补充阅读近几年的文献, 我们发现研究者们已经认识到认知控制的实施(或回报-代价权衡)受个体主观因素的影响并提出

了相关的计算模型（详见 3.2.1 中的“努力悖论”和 DPOWER 模型），将主观价值计算作为文章创新点并以此展望有失偏颇，因此我们调整了关于主观“回报-代价权衡”的叙述，并放弃上一版 5.2.2 展望的内容。同时，在此次修改中，我们已基于新补充的内容重写了展望部分。相应改动已在展望中做了蓝色字体标注明确（详见修改稿 9-12 页）。

**意见 6：**部分语言存在表述不清晰的问题，如：“个体收获的愉悦与满足主要源于完成任务过程本身，而非外在的金钱回报，体现了个体对内在回报的追求(Chew et al., 2021; Fishbach & Woolley, 2022; Morris et al., 2022)。因此，内在回报同样影响认知控制过程。”注意修改文中其他类似问题。

**回应 6：**非常感谢审稿专家的细致阅读！此次修改，我们对行文进行了多次推敲，希望已解决语言表述不清的问题。

## 审稿人 2 的意见回复

该文综述了回报与代价对认知控制的影响的相关文献，认为外在回报通过奖赏的内容和呈现时间，而内在回报通过努力水平与主观情绪影响认知控制，代价通过“回报-代价”权衡过程对认知控制施加影响。该文选题有新意，写作流畅，但在科学问题、理论解释等方面存在较大问题。

**回应：**非常感谢审稿专家的宝贵意见与建议！以下是针对各条意见与建议做出的回复，相关修改在文章中做了标记。

**意见 1：**本文尝试通过预期控制价值(EVC)模型总结认知控制的实施过程，以及回报与代价在其中的重要影响。但作者并没有阐明为什么要基于这个模型来解释认知控制过程及其影响因素。如果没有提出相关问题，本文只是在介绍或罗列相关文献，难以得出给读者提供有创新价值的信息。建议作者重新凝练本文科学问题，综述内容要有侧重点。

**回应 1：**非常感谢审稿专家提出来的宝贵意见！此次修改中，我们将本文的主要研究问题凝练为：面对不断变化的认知需求情境，个体如何做出关于实施认知控制的决策？即，本文关注认知控制过程的影响因素。针对这一问题，结合经济学和决策领域的观点，Shenhav 等人(2013)提出了基于预期价值的控制分配模型（EVC 模型），指出个体决定什么时候、是否、以怎样的方式、以及施加多强的认知控制是由认知控制投入的“预期价值(EVC)”决定的，它等于认知控制投入可能带来的预期回报（值）减去认知代价（值）。EVC 模型将如何实施认知控制凝练为一个“回报-代价权衡”的计算决策过程，寓意着回报和代价是影响认知控制过程的关键因素。从 EVC 模型提出至今，还有很多研究探究了动机相关因素如何影响认知控制，这些研究虽然未从 EVC 所提出的价值决策视角进行相应的解释与讨论，但其本质上仍反映了不同实验条件下，个体通过评估实验任务中的回报与代价影响认知控制的过程。换言之，一些外在（状态）或内在（特质）因素的操纵影响了实施控制所产生的回报与（或）代价，探究它们对认知控制的影响即是在探索回报或代价对认知控制的影响，鉴于此，为更好地解析认知控制实施过程中可能存在的回报与代价，帮助我们从根本上理解认知控制过程的调控因素，本文从回报、代价及二者的权衡入手系统梳理了相关的实证研究和理论证据，并探讨了其影响认知控制过

程的可能机制。相应地，在二、三节部分做相应综述时，我们也更有侧重点。相关的修改内容已在引言中做蓝色标注，希望本次修改能够准确说明问题的提出。

**意见 2:** 本文对预期控制价值模型的解释还不够清楚，包括该模型提出的目的、范围及其优缺点等不够明确。作者认为该模型既可以解释认知控制本身的心理过程，也可以解释其它变量影响认知控制的心理过程，而全文并没有用该模型来解释认知控制本身的心理过程，而主要用来解释其它变量影响认知控制的心理过程，并把回报和代价等解释认知控制影响机制的概念加入到 EVC 模型。首先这种理解有可能是 inaccurate 的，如果作者认为是正确的，本文的论述也是不全面的，文章开头虽然提出 EVC 模型，但后面正文基本上是讲回报和代价及其权衡对认知控制的影响。建议作者在回答审稿意见#1 的基础上，重新弄清 EVC 模型的理论内涵，及其与回报和代价等概念之间的关系，不将相关概念简单的没有理由的拼凑在一起。

**回应 2:** 非常感谢审稿专家的细致阅读与所提出的问题！经过专家的提醒，我们意识到上一版文章对认知控制、EVC、回报和代价的关系叙述并不清晰，根据意见，我们重新整理了文章主体部分的写作逻辑，旨在阐明 EVC 模型的理论内涵及其与回报和代价之间的关系，具体为：

(1) 如审稿意见#1 的回复中，EVC 模型将如何实施认知控制凝练为一个“回报-代价权衡”的计算决策过程，寓示着回报和代价是影响认知控制过程的关键因素。然而，从 EVC 模型提出至今，还有很多研究探究了动机相关因素如何影响认知控制，这些研究虽然未从 EVC 所提出的价值决策视角进行相应的解释与讨论，但其本质上仍反映了不同实验条件下，个体通过评估实验任务中的回报与代价影响认知控制的过程。因此，EVC 模型及其所提出的回报与代价仅是本文论述相关问题的一个引子（而非全文都围绕这一模型论述）。根据该模型的提出目的，我们将上一稿第二节关于 EVC 模型的阐述（“认知控制的实施过程：基于 EVC 模型”）合并到了第一节引言部分进行阐述，以此作为背景介绍，突出本文重点关注的是回报与代价，并补充了关于 EVC 模型的介绍。具体为：1) EVC 模型将认知控制的实施过程分为监测（环境信息）、配置（控制信号对象及强度）和实施（控制的分配与调节）三个成分，这三个成分的相互作用揭示了认知控制的动态变化过程；2) 控制投入强度取决于“预期价值（即，EVC 值）”的计算，EVC 等于控制投入的预期回报减去控制的代价，最大 EVC 值决定了最优控制强度。相应改动已在修改稿的引言部分做了蓝色字体标注（详见修改稿 1-2 页）。

(2) 根据 (1)，在修改稿的第二节（回报）和第三节（代价）中，我们调整了写作逻辑，聚焦于 EVC 模型之外的相关研究，试图说明二者作为影响认知控制动态调节的重要因素在实际研究中是通过何种任务、以何种形式、对何种认知控制强度相关的行为或影像表现产生了影响的。由于这其中的多数研究都是在 EVC 模型提出之后发表的，会讨论到一些与 EVC 有关但该模型未涉及的内容（如“内在回报”，“影响外在回报对认知控制调控效果的其他因素：EVC 模型面临的挑战”，详见修改稿 4-7 页），间接说明了 EVC 模型的范围及局限所在。

**意见 3:** 文章图 1 中内容标识难以准确表达 EVC 模型以及回报和代价之间的关系，建议修正或删除。图 2 和图 3 是前人文献结果图，需要注明出处，并建议把图中英文修改为中文。

**回应 3:** 非常感谢审稿专家提出来的宝贵建议！在此次修改中，我们将图中的英文均替换为中文，并对其中引用前人文献的图在图注中注明了出处。此外，对修改稿中的图做了以下两处改动：

(1) 重新绘制了图 1，用于表述 EVC 模型以及回报和代价之间的关系，并在图注中补充了相应出处。

(2) 如回复审稿人 1 所提的意见#2 的第 2 条，我们对原稿的图 2 做了一些调整：明确横坐标为努力水平（用以表征控制信号强度），详见图 3B。根据新修订的内容，我们删除了上一版中的图 3。

**意见 4:** 最后展望部分内容与前面正文内容高度相关，可以放在正文中讨论，建议作者从更广更深层讨论该领域未来的研究方向和思路。

**回应 4:** 非常感谢审稿专家的细致阅读与建议！在修改稿中，基于本文所讨论的核心问题，我们重新对展望内容作了修改：本文主要讨论影响认知控制的因素：回报与代价；然而，回报与代价对认知控制的影响主要通过个体权衡二者所产生的价值实现，在此基础上，我们主要围绕回报-代价权衡这一过程的两个特点：(1) 动态性：控制投入（努力）与回报和代价之间的价值函数关系是随任务情境需求不断变化的（详见 3.2.2，修改稿 10-11 页）；(2) 易受个人主观因素的影响（详见 3.2.1，修改稿 9-10 页），在展望中提出未来研究可以继续从优化计算模型或深入考察个体差异两方面解析回报与代价的权衡过程，以更好地实现对认知控制的有效调控。相关的修改内容已在文中做了蓝色标注（修改稿 11-12 页）。

## 审稿意见回复信

尊敬的编辑：

您好！非常感谢您对我们题为“*认知控制过程的影响因素：回报与代价*”稿件的重新阅读与评估。感谢您对本次文章修改的肯定，此次的修改意见为文章质量的进一步提升提供了很大的帮助。以下是我们根据每条意见和建议做出的回复，相关修改已在文中用红色字体标注。

**意见 1：**本文梳理了回报和代价对认知控制过程的影响，并探讨了二者如何共同影响认知控制。因此，“回报-代价”权衡影响认知控制过程的可能机制应该是一个独立的部分，放在第三部分（认知控制实施过程中的代价）似乎不恰当，建议修改。另外，相比回报对认知控制的影响，代价内容似乎有点欠缺。

**回应 1：**非常感谢审稿专家提出的意见与建议！根据指导建议，我们对此问题进行了两方面的调整：

（1）我们将“‘回报-代价’权衡影响认知控制过程的可能机制”单独列为文章的第四节，其包含的两个小节“基于主观‘回报-代价’权衡的努力价值计算”和“‘回报-代价’权衡在控制过程中的动态更迭”分别变为 4.1 和 4.2 小节。

（2）对于认知控制实施过程中的“回报”部分的内容，行文思路是将回报分为“外在回报”与“内在回报”，据此列举可被视为外在或内在回报的因素，并阐述其影响认知控制的具体表现。与之对应，认知控制实施过程中的“代价”部分的内容理论上也应先列举可被视为代价的因素，再阐述代价如何影响认知控制。实际上，通过回顾文献发现，代价的存在是间接的，如导致个体的认知回避，降低“预期价值”。当进一步谈及其对认知控制的影响时，鲜有研究直接考察代价对认知控制的影响，说明代价并不能单独影响认知控制，而是通过权衡它与回报带来的价值（即，“回报-代价”权衡）所实现。因此，代价部分着重论述了代价存在的形式，关于其对认知控制的影响的内容则体现在“4. 回报-代价权衡影响认知控制的可能机制”。也因为此，“代价”部分的内容相较“回报”部分较少。

此外，在修改稿的“3. 认知控制实施过程中的代价”部分，我们扩充了一些关于代价不同表现形式的内容，并就与认知控制紧密相关的“努力代价”的表现形式进行了进一步的论述（3.1 努力代价导致认知回避；3.2 努力代价降低“预期价值”）。相应改动已在代价部分用红色字体标注。

**意见 2：**2.1.2 中，建议把题目直接修改为“影响外在回报对认知控制调控效果的其他因素”。

回应 2: 非常感谢审稿专家的建议! 我们已按照要求对题目进行了修改。

**意见 3:** 总结和展望部分不建议每一段都加小标题。

回应 3: 非常感谢审稿专家的意见与指正! 在此次修改中, 我们已将“小结”与“展望”两部分的内容进行了合并, “5 总结与展望”部分不再以小节形式呈现。

**意见 4:** 建议作者精简参考文献, 注意篇幅。

回应 4: 非常感谢审稿专家的意见与建议! 在此次修改中, 我们精炼了正文部分的文字, 并根据参考内容, 尽可能地对参考文献进行了缩减。

**编委会意见:** 在文章开篇给出 EVC 英文全称和准确翻译。文字需要精练压缩。

回应: 在此次修改中, 我们已在 EVC 模型第一次出现的位置 (摘要部分和导论部分), 给出了 EVC 的英文全称和准确翻译。同意见 4 的回应, 我们已对文字内容进行了精练压缩。