

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：奖赏预测误差对项目和联结记忆影响的分离：元记忆的作用

作者：龙翼婷；姜英杰；崔璨；岳阳

第一轮

审稿人 1 意见

本研究采用学习-测试范式考察了奖赏预测误差 (RPE)效价和凸显性对同时进行的项目记忆和联结记忆的影响,结果显示奖赏预测误差对项目记忆和联结记忆的编码和提取过程的影响存在分离,为揭示奖赏预测误差影响不同记忆过程的机制提供了新的证据。但本研究还存在一下问题,建议作者进行大幅修改。

前言部分意见:

作者从前人的研究大多单独考察 RPE 效应对联结记忆或项目记忆的影响,缺乏在同一情景记忆过程中对 RPE 如何同时影响联结记忆和项目记忆的考察,以及忽视奖赏结果对项目记忆和联结记忆的影响,从这两点切入,引出本研究的问题,在同一情景记忆中考察 RPE 效应以及奖赏结果如何影响联结记忆和项目记忆的提取和编码。作者对前人的研究结果做了充分的检索,但是在本文中对多个概念和研究的描述并不准确和清晰。

回应:感谢您的宝贵意见。我们重新梳理了问题导出的逻辑,并按照这个新思路对前言进行重写,力求将研究问题集中,突出本研究在前人基础上的创新点和贡献。请你批评指正。

意见 1: 前言第一段,本文最核心的概念“联结记忆”应翻译为"unitization memory", "associative memory"为“联想记忆”。

回应:感谢老师的提问。情景记忆中的 associative memory 需要将不同项目进行绑定联结,因此在联想、关联和联结等释义中,本文倾向于选择“联结记忆”这一译法。收到您的提问后,我们查阅了一些中文文献,郭春彦老师 2019 年发表于心理科学进展的综述《从整合的角度看联结记忆中的项目再认》中写道:“项目记忆 (item memory) 是指对项目本身的记忆;而联结记忆 (associative memory) 指的是对项目和与项目相关的具体细节的关系的记忆”,因此本文最终选取“联结记忆”这一译法。

参考文献:刘泽军,王余娟,郭春彦.(2019).从整合的角度看联结记忆中的项目再认. *心理科学进展*(03),490-498.

意见 2: 第 6 页第一行“项目再认成绩与 RPE 呈“U”型曲线关系,表明项目记忆受到了 RPE 凸显性的正向促进作用,而效价的影响不显著。”难以理解,U 型曲线关系如何得出这一结论。

回应:老师您好,该研究中项目再认成绩与 RPE 呈“U”型曲线关系,即不论效价正负,记忆成绩随着 RPE 绝对值从 0 到 20 的增加而逐渐提高,表明项目记忆受到升高的 RPE 凸显性的促进,而效价的影响不显著。

为了精简前言部分并避免模糊语义，在 P4 第二段的第 3~6 行中，将相关描述修改为：

“将反馈结果与奖赏预期期间的差作为 RPE，以 URPE 作为 RPE 凸显性，结果发现，RPE 对项目记忆（图片再认）影响不显著，但 URPE 显著提高了项目记忆成绩，说明项目记忆只受到了 RPE 凸显性的影响。”

意见 3：第七页最后一段，逻辑不清晰。首先，Jiang 等人的研究表明被试会克服先左后右的阅读习惯，这个逻辑不清晰。其次，倒数第三行“项目记忆和联结记忆的编码和提取过程都存在差异”这样的结论是由不同的结果指标推出的，项目记忆的测量指标是再认成绩，联结记忆的测量指标是 JOC，不同的因变量放在一起比较有意义吗？是否可以由不同的结果指标得出二者不同的结论？

回应：感谢老师的指正和提问，我们对这一段进行了重写（P4 最后一段）。基于您的第一个问题，在精简前言部分后，我们对该研究的阐述进行了简化（P4 最后一段第 3~7 行），如下：

“价值导向元记忆(value-directed metamemory)研究中采用眼动技术追踪被试对特定兴趣区中的刺激的注视时间（fixation duration）作为学习时间分配（study-time allocation）的指标，发现高价值刺激比低价值刺激获得了更长的学习时间，表明个体会优先对高价值项目分配认知资源(Jiang et al., 2016)。。”

对于第二个问题，我们之前阐述方式不够清楚。实际上，项目和联结记忆的指标都是记忆成绩。梳理了问题导出逻辑之后，我们删去了这句话。

意见 4：第 8 页，第三行，“而在有意记忆中，……”，本文以及前面综述所提到的研究采用学习-测试范式都没用要求被试有意识地在学习阶段对刺激进行记忆，此处，突然出现“有意记忆”这个概念和结论，不知什么目的。

回应：感谢您的提问。前言部分引用的研究中，或直接要求被试记忆所学信息(Ergo et al., 2020; Ergo et al., 2020; Ergo et al., 2021)，或通过决策任务促使被试对信息进行有意记忆(Rouhani et al., 2020)，皆为有意记忆。在涉及价值的有意记忆中，个体为了在将来能够趋利避害（如在决策任务中选中高价值图片，避免低价值图片），会有策略地对信息进行加工。这些研究都属于有意记忆。

根据您的提问，为避免产生疑惑，且考虑到引用的前人研究和本研究皆为有意记忆，不需要再额外强调有意和无意，因此我们在前言中删去了对有意记忆的画蛇添足般的提及。

意见 5：前言部分缺乏实验假设以及对实验结果的预期。

回应：感谢老师的指正和建议。我们对此进行了补充，在前言最后一段（P5）阐述了研究问题和研究假设。

意见 6：前言中存在多处错别字或语句不通顺，例如，第 5 页第五行，倒数第十行等等，建议仔细检查阅读。

回应：感谢您的细心评阅与指出，我们对全文仔细检查并进行了修改，对言语的简洁性也进行了提升。

实验设计部分意见：

意见 7：三个实验被试数量差别较大，分别为 36，23，29。请作者说明样本量的选择依据。

回应：本研究同时考察了记忆和元记忆监测，有多个因变量和自变量指标，分析方法为广义混合线性模型。在决定被试数量时，参考了同样同时考察了 RPE 对记忆和元记忆监测影响的前人研究：Aberg 等人(2017)招募了 27 名被试，学习阶段包含 60 试次；Ergo 等人(2021)招募了 37 名被试，学习阶段包含 84 个试次。最终，在本研究中，实验 1 和 3 为行为实验，学习阶段分别包含 60 和 100 试次，分别招募了 36 和 29 名被试（记忆成绩分析中的有效被试分别为 34 和 27 名）；实验 2 为眼动实验，包含 100 试次，招募了 23 名被试。

实验 2 与实验 1 的被试差距较大，基于您的建议，我们在实验 2 的 3.1.1 被试 (P11) 部分增加了说明“考虑到眼动分析中会剔除部分记录失误的试次，实验 2 将学习阶段的试次由 60 增加到 100，相应减小了被试量。”

意见 8：奖惩敏感性差值与正负 RPE 效价间项目记忆成绩差值的相关不显著，可以说明个体对奖赏的加工不存在差异吗？请作者说明其中的逻辑

回应：感谢您的提问。奖惩敏感性可能会影响个体对奖赏的加工，比如对奖赏更敏感的人，受奖赏的激励作用会更大，因此他们在 RPE 正效价时的记忆成绩可能会更好。但本研究仅在实验 1 中发现了奖惩敏感性与 RPE 效价对联结记忆成绩影响的关系。我们在 P10 的 2.3 讨论部分的第二段，对奖惩敏感性差值与 RPE 效价的影响的关系进行了讨论（蓝色字体）：“个体特质可能会通过影响奖赏的动机作用而改变记忆成绩(Aberg et al., 2017; Rouhani & Niv, 2019)，奖惩敏感性差值的分析结果表明，相比于受奖赏动机的激励更弱的人，受奖赏动机的激励更强的个体在面对 RPE 正效价时，联结记忆成绩会更高。”

意见 9：作者认为实验 1 中，项目记忆出现了天花板效应，因此，在实验 2 中对学习阶段的预期阶段的时间缩短，并延长反馈阶段的时间。但是从结果上来看，实验 2 和实验 1 的项目记忆的结果并没有差别，甚至实验 2 的项目记忆的成绩更好，作者有必要对两个或三个实验的结果进行对比，确认确实避免了天花板效应。

回应：收到您的建议后，经过仔细考虑，我们修改了对实验 1 中的项目记忆阴性结果的阐述。之前用天花板效应来描述实验 1 的项目记忆结果，是想表达项目记忆成绩在各个条件下相似，且处于较高水平。但审稿人 2 指出，项目记忆成绩仅在 7.1-7.9 之间，并不可以称为天花板效应。

因此，在实验 1 的 2.3 讨论部分(P10)的第一段中，我们删去了天花板效应这一不恰当的描述，仅表达为：“不同奖赏条件下的项目记忆成绩相似”。

意见 10：P18 第七行相关显著性的文字报告和 p 值不一致，请进一步核对结果

回应：已修改，非常感谢您的指正。我们首先对文中和表格中的 p 值进行了校对。之后考虑到表格中已经写明了 p 值，行文中的 p 值显得冗余，又删去了行文中的显著和不显著 p 值，只对边缘显著的 p 值进行了强调。

意见 11：结果报告中，p 值报告形式应当保持一致

回应：已修改，感谢您的指正。目前文章中 p 值皆保留三位小数，在小于 0.001 时写作 < 0.001，否则写明具体数值。

讨论部分意见：

意见 12: 5.2 第一段,“RPE 凸显性更大时,项目记忆成绩升高,而联结记忆成绩降低。”这个结果与 RPE 凸显性是直接作用于联结记忆,而非通过影响对项目记忆的认知资源投入间接产生。这个逻辑不清晰。RPE 凸显性更大时,联结记忆成绩的降低仍然可能是由于更多的资源投入到项目记忆中。请作者说明其中的逻辑

回应:感谢您的指正。基于您的建议,首先,我们在前言中更详细地对靶研究进行了阐述(P4 第二段 6~10 行,第三段 1~4 行):

其次,经过考虑,我们将相关对比讨论放到了总讨论部分(P17 最后一段):“而且与前人研究不同,本研究中的项目-奖赏联结记忆涉及实验的主要任务,受到奖赏的直接影响,联结记忆中的凸显性效应体现的是 RPE 凸显性的直接影响。此外,在实验 1 中,项目记忆在不同奖赏条件下的成绩相似,占用了相似的认知资源,而联结记忆的高凸显性优势仍然存在,再次表明 RPE 凸显性是直接作用于联结记忆,而非通过影响不同凸显性下项目记忆对认知资源的占用间接产生。”

意见 13: 本研究测量了个体的奖惩敏感性,并在实验 1 中发现奖惩敏感性和正负 RPE 效价间的显著相关,但是在讨论部分对于个体奖惩敏感性对于结果的影响只字未提。

回应:感谢您的意见,我们在文中用蓝色字体进行了修改。具体而言,由于只在实验 1 中发现了奖惩敏感性对正负效价下联结记忆成绩差异的相关,对此的讨论放在了 P10 的实验 1 的讨论部分的第二段“体特质可能会通过影响奖赏的动机作用而改变记忆成绩(Aberg et al., 2017; Rouhani & Niv, 2019),奖惩敏感性差值的分析结果表明,相比于受奖赏动机的激励更弱的人,受奖赏动机的激励更强的个体在面对 RPE 正效价时,联结记忆成绩会更高。”

此外,在 5.4 不足与展望(P20)中也对此进行了讨论:

意见 14: 建议在讨论部分突出本研究对联结记忆和项目记忆研究的贡献。

回应:非常感谢您的建议。根据您的建议,我们重新整理了讨论部分的逻辑。目前在总讨论中,P18 的 5.2 集中讨论了 RPE 对记忆编码中的认知资源分配的影响,在 P19 的 5.3 集中讨论了 RPE 对联结记忆提取阶段的影响,在 P19 的 5.5 第一段最后一句阐述了本研究对教学中记忆促进的借鉴意义。

.....
审稿人 2 意见:

总体意见:作者考察了奖赏预测误差对项目记忆和联结记忆的影响,设计了 3 个实验,采用了混合效应模型对数据进行了处理分析,语言较为流畅,分析较为深入。但论文还存在如下问题,请作者进行思考和斟酌:

回应:感谢您的宝贵意见。我们对重新梳理了问题导出的逻辑,并按照这个新思路对前言进行重写,力求将研究问题集中,突出本研究在前人基础上的创新点和贡献。并重新整理了讨论部分的逻辑,将本研究的发现与前人研究进行对比,并对不同结果集中进行解释,体现了我们的创新点。请你批评指正。

意见 1:前言部分,对于文献的综述非常凌乱,没有形成一个系统的研究思路。只是简单地把关于 RPE、价值导向的记忆、联结记忆与项目记忆、编码与提取阶段的相关研究加以了

罗列，并没有真正抽取这些研究之间真正的逻辑关系，这导致对自己研究问题的提出立论不足。读完整个前言后，不能理清作者的研究思路和问题提出的依据；

回应：感谢您的指正。我们对整个前言进行了重新梳理和精简，修改了问题导出的思路，使问题提出部分的思路和逻辑更清晰，请您审阅。

意见 2：作者应该介绍关于项目记忆与联结记忆分离的相关观点及相关研究支持，这是研究的起点，但作者对此没有任何介绍，只是罗列了关于项目记忆和联结记忆研究的不同结果；同时，RPE 的效价和凸显性也是作者重点考察的变量，但是作者对此相关研究的梳理较为混杂，没有按一个系统的逻辑主线来展开分析；

回应：感谢您的宝贵意见。在修改了问题导出的思路后，我们在前言第一段（P3）提出了“同时呈现的项目和联结记忆信息可能会因认知资源竞争被差异性加工”，在第二段中通过对前人文献“发现奖赏结果会引起个体对项目 and 联结记忆的差异性加工”。之后再展开 RPE 对项目 and 联结记忆影响的论述。

对于 RPE 效价和凸显性的解释，收到您的建议后，我们对前言部分的第三段（P3 最后一段）进行了整理和改进(蓝色字体部分)，请您指正。

意见 3：对一些研究的介绍存在偏差，如 Rouhani et al.在 2018 和 2020 年的研究等，没有真正理解研究的目的和要解决的问题，只是简单地抽取了其中的一些结果加以引用了；

回应：感谢您的宝贵意见。Rouhani 等人的系列研究（2017~2021）对奖赏、风险、抑郁等多个变量如何影响情景记忆进行了考察，其中关于 RPE 的效价和凸显性影响项目记忆和联结记忆的结果是本文的选题来源。本文只选取了 2018 和 2020 两个研究中 RPE 效价和凸显性影响情景记忆的结果作为论据，而并未有对其他变量如何影响情景记忆的阐述，本意是为了使前言部分的阐述更明晰紧凑。

收到您的问题后，我们对这两篇文献进行了严格地重读，在前言中 P4 第 2 段重新对两篇文献进行了描述和引用，力求做到准确和简洁，敬请审阅。

意见 4：在其实验设计中，也存在很多混乱，比如前言中提到的 RPE 效价和凸显性，在实验中是如何操作的？作者并没有介绍，相反引入了 RPE 和奖赏结果，而且提到了一个有符号的 RPE 和无符号的 URPE，如作者在实验 1 中的表述：“自变量为 RPE 和奖赏结果，其中 RPE 有两个指标，一为有符号的 RPE，即其本身，一为无符号的 URPE，即 RPE 绝对值”。介绍不清晰，感觉很混乱；

回应：感谢您指出这个问题。针对您的建议，我们在前言和实验 1 方法部分增加了相关描述。

P3 最后一段第 2 行：“RPE 是奖赏结果减去奖赏预期后的差值，有效价和凸显性两个属性(Mason et al., 2019)。效价(valance)代表奖赏结果高于还是低于奖赏预期，正效价代表奖赏结果优于奖赏预期，负效价代表奖赏结果低于奖赏预期(Ergo et al., 2020)。凸显性(salience)代表奖赏结果和奖赏预期期间的偏离程度，可以用无符号的奖赏预测误差(unsigned RPE, URPE) 表示，URPE 越大代表结果与预期的偏离程度越大，个体的意外程度越高(Rouhani et al., 2018)。”；

P4 第二段第 3 行，介绍把文献中的 RPE 效价和凸显性的指标：“将反馈结果与奖赏预期期间的差作为 RPE，以 URPE 作为 RPE 凸显性，结果发现，RPE 对项目记忆（图片再认）

影响不显著，但 URPE 显著提高了项目记忆成绩，说明项目记忆只受到了 RPE 凸显性的影响。”

实验 1 中 2.1.3 实验设计部分(P7):“由奖赏结果和被试的给出的猜测价值之差产生 RPE, 共有-6、-3、0、3 和 6 五种分值，效价为其正负符号，凸显性为 URPE。”

实验 1 中 2.1.5 数据整理与分析方法部分(P8):“在线性模型分析结果中，RPE 的影响显著则表明存在 RPE 效价效应，URPE 的影响显著则表明存在凸显性效应。”

意见 5: 在作者的实验设计和操纵中，主要通过让被试猜测和反馈来操纵 RPE,但是作者并没有介绍清楚如何通过材料的控制来形成猜测和反馈之间的 RPE 高低，这是实验设计的关键，但作者介绍非常模糊；

回应: 非常感谢您的指出，这是我们的疏漏。我们在目前的修改稿中对此进行了补充。

在 2.1.3 实验设计部分(P6)增加阐述：“实验 1 中奖赏结果包含 1、4 和 7 三种分值，它们出现在高价值图片中的比例是 2: 3: 5，而在低价值图片中为 5: 3: 2。由奖赏结果和被试的给出的猜测价值之差产生 RPE，共有-6、-3、0、3 和 6 五种分值，效价为其正负符号，凸显性为 URPE。”

在 4.1.3 实验设计部分(P17)增加阐述：“但在自变量的操纵上，奖赏结果序列变为 1、3、5 和 7，它们出现的比例在高价值图片中是 1: 2: 3: 4，而在低价值图片中为 4: 3: 2: 1。由奖赏结果和被试的给出的猜测价值之差产生 RPE 共有-6、-4、-2、0、2、4 和 6 七种分值。”

意见 6: 在实验 1 的讨论中，将自己的结果归因为项目记忆出现了天花板效应，该推论非常牵强，因为从表 1 的记忆结果可见，项目记忆的正确率为 0.71-0.79，这绝对不是什么天花板数据；

回应: 非常感谢您对该错误的指出。经过对您这一建议的仔细考虑，我们修改了对实验 1 中的项目记忆阴性结果的阐述。之前用天花板效应来描述实验 1 的项目记忆结果，是想表达项目记忆成绩在各个条件下相似，且处于较高水平。经您纠正，本研究项目记忆成绩仅在 7.1-7.9 之间，不是天花板效应。因此，在实验 1 的 2.3 讨论部分(P10)的第一段中，我们删去了天花板效应这一不恰当的描述，仅表达为：“不同奖赏条件下的项目记忆成绩相似”。

意见 7: 通过作者设计的这 3 个实验，很难对编码阶段与提取阶段的影响进行分离，不能解决作者提出的“RPE 对项目记忆和联结记忆的编码和提取过程的影响存在分离”问题。

回应: 很抱歉，这句话的措辞确实存在严重歧义，我们想表达的是 RPE 对项目记忆和联结记忆的编码过程有分离影响，RPE 对项目记忆和联结记忆的提取过程有分离影响。已在摘要和结论中对相关说法进行改写，非常感谢您的指正。

意见 8: 语言表述还存在多处不准确和表述模糊、不知所云的现象。如“奖赏结果传递的信息，除了奖赏结果本身之外，还包含奖赏预测误差奖赏(reward prediction error, RPE),”“效价即 RPE 的正负符号，代表结果是否优于预期(Ergo et al., 2020); 凸显性可以用无符号的 RPE 绝对值表示，代表结果与预期的偏离程度，即个体对所获奖赏的意外程度(Rouhani et al., 2018)，大脑会对二者同时进行加工(Gu et al., 2020; Liu et al., 2017)。”

回应: 感谢老师的意见，我们在全文中进行了表达方式的重新整理，在全文各处进行了书写的改进，并以蓝色字体标注。语言表达不准确和模糊的现象主要存在于前言部分，我们对前

言部分进行了仔细的修改，请你审阅。

.....

审稿人 3

意见 1: 摘要只是对文章做了什么研究、得出什么结果的陈述，没有简要介绍本研究领域的研究现状和存在问题，当前设计如何能解决以往存在的问题。当前研究结果给我们什么启发，解决了什么样的理论问题或现实问题？

回应: 感谢您的纠正和指点。基于您的建议，我们重新阅读了学报摘要的要求，并进一步参考近期的文章后，进一步完善了摘要(对英文摘要也进行了修改):

“为考察奖赏预测误差(reward prediction error, RPE)的效价和凸显性对同时进行的项目记忆和联结记忆的影响，本研究通过 3 个实验发现：(1) 项目记忆成绩存在 RPE 负效价和高凸显性优势，联结记忆成绩存在 RPE 正效价和低凸显性优势；(2) 在编码过程中，RPE 负效价提高了个体对项目图片注视时的瞳孔扩张峰值；RPE 低凸显性增加了个体对分值的注视时间，缩短了项目图片注视时间。该结果表明，项目记忆和联结记忆的编码存在认知资源竞争，RPE 负效价和高凸显性增加了对项目编码的认知资源投入，低凸显性增加了对联结编码的认知资源投入，从而出现了 RPE 对项目记忆和联结记忆影响的分离。”

意见 2: 前言过于冗余，很难使读者抓住重点。要大量删减前言内容。做到凝练，重点突出。

回应: 感谢您的指正。我们对整个前言进行了重新梳理和精简，修改了问题导出的思路，使问题提出部分的思路和逻辑更清晰，请您审阅。

意见 3: 写作模式像把硕士或博士论文直接搬过来了，请根据投稿的学报期刊风格进行修改。

回应: 感谢您的建议。我们对尤其是前言和讨论部分进行了重写，对各实验部分也进行了细节的改进，并以蓝色字体标识。

对于前言部分，我们对重新梳理了问题导出的逻辑，并按照这个新思路对前言进行重写，力求将研究问题集中，突出本研究在前人基础上的创新点和贡献。对于讨论部分，我们将结果与前人研究的对比产生的原因等深入讨论都转移到了总讨论中，将总讨论部分按照以下顺序重写：5.1 奖赏预测误差对项目记忆和联结记忆成绩影响的分离，5.2 奖赏预测误差影响记忆编码中的认知资源分配，5.3 奖赏预测误差对联结记忆提取的影响，5.4 奖赏结果对情景记忆的促进，5.5 不足与展望。

意见 4: 表格要按照三线表要求规范作图。

回应: 已修改，感谢指正。

意见 5: 从整篇文章看，没有说清几个实验想解决的科学问题是什么。讨论部分更多的是结果的陈述，而这些结果到底要解决什么始终没有论述清楚。

回应: 感谢您的建议我们进行了如下修改。

对前言部分进行重写，在 P5 前言部分的最后一段提出研究目的和假设：“因此，本研究通过 3 个实验考察奖赏预测误差的效价和凸显性对同时呈现的项目记忆和联结记忆的影响及其认知机制。本研究假设项目记忆和联结记忆受 RPE 影响的方向相反，联结记忆成绩存在正

效价和低凸显性优势，而项目记忆成绩存在负效价和高凸显性优势，在记忆编码中相应的项目和奖赏联结信息将获得更长的学习时间且引起更大的瞳孔扩张。”

将总讨论部分针对提出的问题，按照以下顺序重写：5.1 奖赏预测误差对项目和联结记忆成绩影响的分离，5.2 奖赏预测误差影响记忆编码中的认知资源分配，5.3 奖赏预测误差对联结记忆提取的影响，5.4 奖赏结果对情景记忆的促进，5.5 不足与展望。

此外，我们对结论（P22 结尾）进行了修改，对两个研究问题做出了回回应：项目记忆和联结记忆的编码存在认知资源的竞争，RPE 负效价和高凸显性增加了对项目编码的认知资源投入，低凸显性增加了对联结编码的认知资源投入，且 RPE 正效价还通过回想过程促进联结记忆的提取，从而实现了 RPE 对项目和联结记忆的分离影响。

第二轮

审稿人 1 意见

意见 1：作者对摘要部分进行了重新的整理，使得结果部分的描述更加清晰，但是实验设计部分直接删除了，读起来有些突兀，在摘要字数允许的情况下，还是希望作者在摘要部分简要描述实验方法。

回应：感谢您的认可和建议。我们对摘要的修改如下：

选取奖赏预测误差(reward prediction error, RPE)效价和凸显性为自变量，采用 3 个实验考察 RPE 对项目 and 联结记忆影响的差异及其元记忆机制。被试在对图片的奖赏预测-奖赏反馈中形成 RPE，且需要同时记忆图片（项目）以及图片-奖赏联结，最后进行记忆测试。结果发现，（1）联结记忆成绩存在 RPE 正效价和低凸显性优势，其 JOCs 准确性在 RPE 正效价时更高，而项目记忆成绩存在 RPE 负效价和高凸显性优势；（2）在编码过程中，RPE 负效价提高了个体对图片注视时的瞳孔扩张峰值；RPE 低凸显性增加了分值学习时间分配，缩短了图片学习时间分配；（3）增加 RPE 水平后，RPE 对项目 and 联结记忆成绩的分离影响仍稳定存在。这些结果表明，RPE 对项目 and 联结记忆的影响存在分离，编码阶段中，个体以 RPE 效价和凸显性为线索，通过元记忆控制对项目 and 联结记忆加工中的认知资源进行差异性分配；提取阶段中，RPE 正效价提高了对联结记忆提取的元记忆监测水平。

对英文摘要也进行了相应地修改。

意见 2：引言部分经过作者的大幅修改，内容上有了显著的提升。但仍然存在个别地方不太清楚。例如，P4 倒数第 6 行“本研究参考 Murty 等人（2016）的研究”，具体参考了什么？本研究所使用的实验范式与 2016 年 Murty 的研究似乎并无共同点，

回应：感谢您的认可和对问题细心的指出。Murty 等人(2016)的研究中，为了在将来获得更多收益，被试需记忆一个完整情景：被试得到特定独裁者给予的特定奖赏。在这个情景中，同时包含了项目记忆（独裁者面孔）和联结记忆（独裁者面孔-奖赏联结）任务，且二者都影响将来收益，能够体现被试如何基于奖赏信息同时加工不同类型的记忆。本研究主要参考了 Murty 等人(2016)的因变量指标(以图片和图片-奖赏联结分别作为项目和联结记忆指标)，我们在 P5 第一段对此进行了补充。

意见 3：引言的倒数第二段介绍了常用的两种眼动指标，但是并未明确提出本研究将采用何种指标，在此应该明确提出本研究将采用何种眼动指标。

回应：感谢您的建议。我们在引言倒数第二段最后一句中，对此进行了补充：

因此本研究采用眼动追踪技术，通过注视时间和瞳孔扩张两个指标，考察 RPE 影响项目和联结记忆编码的元记忆控制过程，作为 RPE 效应产生的认知机制。

意见 4：实验方法部分，对于实验 2 中的眼动结果，我不是非常能够理解。实验 2 中所测得的图片注视时间，瞳孔直径的结果均是学习阶段，被试对于图片的注视时间以及此时瞳孔直径最大值，在此阶段，被试还没有对图片的价值进行预测，也无法预知 RPE。此阶段的图片注视时间和瞳孔直径大小似乎只能反映图片本身的差异。如何能够说图片注视时间和瞳孔直径大小是由 RPE 差异以及 URPE 的高低引起的呢？请作者说明。

回应：感谢您的提问。实验 2 中，被试做完价值猜测后，屏幕上出现图片及其分值，被试此时形成 RPE，对图片和分值信息进行加工。在该屏收集被试的眼动指标（注视点，瞳孔直径），此时被试记忆加工的眼动受到 RPE 的影响。

在之前的版本中，仅在 3.1.3 实验流程的第二段描述“在学习阶段的价值反馈屏收集眼动数据”，指示不够具体。收到您的问题之后，我们在实验 2 流程图中对眼动指标收集屏增加了标志和说明（见 P12 图 4 绿色方框和字体）。

意见 5：讨论部分。综合本研究的 3 个实验的结果，在 3 个实验中，联结记忆的击中率均比较低（大部分都小于 0.5），而项目记忆的成绩可以说显著高于联结记忆成绩，也就是说，联结记忆任务的难度显著大于项目记忆任务，因此，RPE 对项目记忆和联结记忆成绩影响的分离有没有可能是任务难度引起的呢？这一点应该在讨论中提及。

回应：感谢您的建议。项目和联结记忆测试都是采取的再认形式，其中项目记忆有 2 个选项，随机水平为 0.5。在实验 1 和 2 中，联结记忆共有 3 个选项（1/4/7），在实验 3 中，有 4 个选项（1/3/5/7），随机水平分别为 0.33 和 0.25。在 3 个实验中，联结记忆成绩基本都高于随机水平，仅在实验 1 中-6 条件、实验 2 中的-3 条件和实验 3 的-6 条件中低于随机水平，但这正表明了 RPE 负效价和高凸显性降低了联结记忆成绩。

项目和联结记忆的加工机制存在差异，导致了二者难度的差异。具体而言，项目记忆只需要编码单个项目的信息，在提取阶段中可以通过熟悉性过程进行再认；而联结记忆编码需要将不同项目或特征进行绑定加工，在提取阶段中需要回想出细节信息进行再认。二者难度的差异是两种记忆类型的特点，在比较项目和联结记忆差异的文献中（如本文中提到的 Murty et al., 2016），大多不会归因于二者任务难度的差异，而是加工背景和条件的作用。因此本文并未具体讨论项目和联结记忆的难度差异，仅在讨论联结记忆受 RPE 凸显性的影响时，对比了不同凸显性水平下的联结记忆难度（P19 5.2.2 第一段）。具体而言，在讨论联结记忆低凸显性优势时，我们推测低凸显性降低了联结记忆编码难度，从而联结记忆通过元记忆控制过程的调节得到了更长的学习时间。

意见 6：本文的标题“奖赏预测误差对项目记忆和联结记忆影响的分离：来自眼动的证据”强调了“眼动的证据”，事实上，本文的主要结论来源于不同项目类型的击中率，再认成绩等，眼动证据仅仅在实验 2 中作为辅助证据，这个标题似乎不太合适。

回应：感谢您的建议。之前取这个题目，是因为与前人研究相比，本研究最主要的贡献在于通过眼动追踪技术的考察。但您的意见非常中肯，眼动证据仅在实验 2 中出现，而本研究共有 3 个实验。3 个实验中，实验 1 和 2 都收集了元记忆的指标（JOCs 和眼动指标），实验 3

是一个验证性的补充实验，因此基于您的建议，经过讨论，我们将题目修改为：**奖赏预测误差对项目 and 联结记忆影响的分离：元记忆的作用**。相应地，在摘要，前言最后两段，实验 2 讨论，总讨论的标题和前两个部分，以及结论中，都增加了元记忆监测与控制以点题，以绿色字体呈现。

.....

审稿人 3 意见：

与第一稿相比，在写作上该论文有了很大进步，但仍有一些方面需要思考：

意见 1：摘要写作存在问题。第一句是研究目的“为考察奖赏预测误差 (reward prediction error, RPE) 的效价和凸显性对同时进行的项目记忆和联结记忆的影响”但是这个问题是结果导向而不是研究问题导向。其次，摘要要简要介绍为了实现目的怎么做，这点没说。然后说做了三个实验，有两个发现，但是读者无法或者三个实验和两个结论之间的对应关系。应该重新梳理和撰写摘要。

回应：感谢您的宝贵意见，您的意见非常详细。基于此，对摘要的修改如下：

选取奖赏预测误差(reward prediction error, RPE)效价和凸显性为自变量，采用 3 个实验考察 RPE 对项目 and 联结记忆影响的差异及其元记忆机制。被试在对图片的奖赏预测-奖赏反馈中形成 RPE，且需要同时记忆图片（项目）以及图片-奖赏联结，最后进行记忆测试。结果发现，（1）联结记忆成绩存在 RPE 正效价和低凸显性优势，其 JOCs 准确性在 RPE 正效价时更高，而项目记忆成绩存在 RPE 负效价和高凸显性优势；（2）在编码过程中，RPE 负效价提高了个体对图片注视时的瞳孔扩张峰值；RPE 低凸显性增加了分值学习时间分配，缩短了图片学习时间分配；（3）增加 RPE 水平后，RPE 对项目 and 联结记忆成绩的分离影响仍稳定存在。这些结果表明，RPE 对项目 and 联结记忆的影响存在分离，编码阶段中，个体以 RPE 效价和凸显性为线索，通过元记忆控制对项目 and 联结记忆加工中的认知资源进行差异性分配；提取阶段中，RPE 正效价提高了对联结记忆提取的元记忆监测水平。

对英文摘要也进行了相应地修改。

意见 2：先前研究的实验设计对项目 and 联结记忆分别考察，到“难以揭示同一情景的项目 and 联结信息因认知资源竞争”所导致的奖赏预测误差效应的差异。——分别考察，作者是同时考察，可以进行逻辑推导，但是如何项目 and 联结信息竞争资源，这是怎么推导的，中间缺少推理过程，很跳跃。

回应：感谢您的建议。之前的版本中，我们仅在前言第一段（P3）的第 4~7 行提出“同时呈现的项目 and 联结记忆信息可能会因认知资源竞争被差异性加工”。吸收了您的意见之后，我们在 P3 第二段（第 3~6 行）强调了 Murty 等人(2016)同时考察了项目 and 联结记忆及其意义，在 P4 最后一段（第 2~7 行）增加了推导过程，以绿色字体呈现。

意见 3：作者前言中“为考察奖赏对记忆编码中认知资源投入的影响...”这一段所涉及的认知资源分配，是对结果的解释，而不是实验的操作，所以不能作为立论的方式在前言中表达。

回应：感谢您指出该问题。认知资源分配是元记忆控制过程的体现，眼动技术可以通过收集注视时间和瞳孔直径直接考察元记忆控制过程，在 P5 第一段中的第一行，我们增加了相应阐述，并在最后一行将认知资源分配改为“元记忆控制过程”。相应地，在结论中也强调了元

记忆控制。

意见 4: 作者前言的铺垫到预期的做出比较突兀, 另外, 依旧没有交代三个实验的逻辑关系, 以及三个实验分别的预期。

回应: 感谢您指出该问题。我们在 P5 前言最后一段对此进行了补充, 以绿色字体呈现。

意见 5: 在讨论中资源分配作为一种对结果可能性的解释没有问题, 但是作为小标题“效价对认知资源分配的影响”“凸显性对认知资源分配的影响”就显得先入为主、过度解释了。作者没有操作, 认知资源是作者的推测, 只是一种可能的解释。

回应: 感谢您指出该问题。认知资源分配体现在元记忆的控制过程, 实验 2 中的眼动技术通过注视时间分配和瞳孔扩张两个指标, 对元记忆控制过程进行了考察, 作为 RPE 效应产生的元记忆机制。基于您的建议, 我们对总讨论部分进行了如下修改:

我们将小标题中的“认知资源分配”改为了“元记忆控制”, 同时将 5.3 的标题改为“元记忆监测”, 以增强讨论部分的连贯性。在 5.2 的行文 (P18~P19) 中, 先提到元记忆控制过程, 再通过元记忆控制体现认知资源分配。

此外, 我们翻阅了一些心理学报的文章, 发现大多文章在总讨论第一段都只分实验总结了结果, 因此我们对 P18 第一段进行了修改, 仅阐述实验结果, 将具体讨论放到了小标题里, 最后概括作为结论。

第三轮

审稿人 1 意见:

经过这一轮的修改, 文章在逻辑上和可理解性上有了较大的提高, 但仍然存在个别问题, 如下:

意见 1: 在前言的结果预期部分 (最后一段的第 4 行), “RPE 能够促进记忆提取中的监测准确性”, 这里的监测准确性根据上文的意思应该是指信心判断, 这里作者是预期 RPE 能够促进信心判断的准确性吗? 请更加直接的对结果进行预期。

回应: 感谢您的建议。该段中已经提到监测这一因变量的指标是信心判断, 因此此处的确应该直接写因变量指标。已在文中修改为“RPE 能够促进记忆提取中的信心判断准确性”。

意见 2: 于实验 1 和 2, 奖赏结果和 RPE 正负效价存在较大的重叠所以引入实验 3, 读者无法很直接地理解这个重叠是什么意思, 建议在引入实验 3 的部分 (第一段) 详细说明, 便于读者理解。

回应: 感谢您的建议。我们在实验 3 的第一段 (P15) 增加了对于“重叠”的说明, 并引出实验 3 的变化和目的:

“实验 1 和 2 中, 奖赏结果只有 1、4 和 7 三种, 导致高奖赏结果 7 对应的 RPE 只有 0 和负效价, 低奖赏结果 1 对应的 RPE 只有 0 和正效价, 只有中等奖赏结果 4 同时对应正效价、0 和负效价。因此在实验 3 中, 将奖赏结果设置为 1、3、5 和 7 四种, 以增加 RPE 水

平，减小 RPE 效价和高低奖赏结果的重叠，验证 RPE 效价和凸显性对项目 and 联结记忆影响的稳定性。”

意见 3：实验 3 的讨论部分应该对实验 1 和实验 3 奖惩敏感性的差异性结果进行简单讨论，或者简单提一下实验 3 的奖惩敏感性没有显著结果的原因。

回应：感谢您的建议。之前的版本仅在不足与展望中讨论了该阴性结果，基于您的意见，我们在实验 3 讨论部分的最后（P16 第二段）增加了一段简单的讨论：

“实验 2 和 3 中均未发现奖惩敏感性与项目和联结记忆中 RPE 效价效应的相关，且实验 1 中的相关程度偏低，这可能是由于受招募而来的被试群体对奖惩的敏感性类似。通过将标准差除以平均数计算离散系数，发现被试对奖赏和惩罚的敏感性原始分数的离散系数均低于 0.5（实验 1，奖赏 0.43，惩罚：0.40；实验 2，奖赏：0.46，惩罚：0.29；实验 3，奖赏：0.15，惩罚：0.17），离散程度处于较低水平，验证了上述推论。”

意见 4：总讨论，第一段“RPE 低凸显性增加了分值学习时间，缩短了图片学习时间”此部分属于作者根据结果所作出的推测，不宜放在结果汇总部分，引起读者的理解困难。

回应：感谢您的建议。我们更换为了实验收集的因变量指标，将此处改成了“RPE 低凸显性增加了对分值的注视时间，缩短了对图片的注视时间。”

意见 5：5.2.1 的最后一句，可同时推测“RPE 负效价通过减少对联结记忆的资源投入，导致 RPE 负效价时联结记忆成绩更差”

回应：感谢您的建议。我们在 5.2.1 最后一段（P19 第二段）的第一句加入了该讨论：“而 RPE 负效价时，对联结记忆的资源投入减少，导致此时联结记忆成绩降低。”

意见 6：总讨论，5.4 奖赏结果对情景记忆的促进，情景记忆的出现有点突然，奖赏动机在项目记忆和联结记忆上的结果如何能推到情景记忆，请说明。

回应：感谢您的建议。情景记忆包含项目记忆和联结记忆，奖赏结果同时促进了项目和联结记忆，因此将 5.4 标题取为“奖赏结果对情景记忆的促进”。但与前几个小标题相比，此处的情景记忆的确出现得突然，且与前者不对应，因此基于您的建议，我们更换为“5.4 高奖赏结果同时促进项目和联结记忆”。

意见 7：小的问题：在结果的表达上，一般在文字描述“显著效应”后面应该附上 p 值，尤其是在报告显著的交互作用，之后应该详细描述具体的交互方向（例如简单效应分析的结果）。在本文中，作者采用表格的方式表达，读者在读结果的时候需要对照表格去找具体结果，尤其是对交互作用的理解有点费劲，建议作者可以考虑采用更具体直接的文字表述。

回应：感谢您指出该问题。在第一轮修改中，为避免文中和表格中重复呈现信息，我们对段落的 p 值进行了删除。这样的处理忽略了读者的感受，增加了阅读中的麻烦，因此基于您的建议，我们在文中重新标注了 p 值。

对于交互作用，回归分析中的简单效应分析方法，是考察一个变量的影响如何随着另一个变量的量级变化而发生改变，但由于前面问题中提到的奖赏结果和 RPE 的重叠，不适合进行具体的简单效应分析。且本研究更多地是将奖赏结果作为控制变量，主要关注 RPE 和 URPE 的主效应，因此仅对交互作用进行了简单描述，以体现奖赏结果对 RPE 效价效应大

小的影响。对于交互作用结果的描述，我们在 P8 第一段的最后用红色字体进行了解释。

“对于交互作用，通过将主效应项 B 值乘积的符号与交互作用项 B 值的符号进行对比，符号相反时的交互作用被描述为负向交互作用，此时一个变量的增长会削弱另一个变量的效应量；符号相同时则被描述为正向交互作用，此时一个变量的增长会增大另一个变量的效应量。”

意见 8: 个别语句表达不清或不准确，例如，摘要里面存在“结果发现”这样非常口语化的表述；第 4 页倒数第二段最后一句“因此难以分辨出联结记忆成绩的提高是都能归因于凸显性的影响”；第 13 页倒数第 7 行“也不显著”；第 16 页第一段最后一句“RPE 效价效价”等。

回应: 感谢您指出这些问题。我们将摘要中的“结果发现”更换为“**结果表明**”，并对文中的笔误进行了检查和修改。

审稿人 3 意见:

修改稿有了很大进步，没有其他意见，同意发表。

回应: 非常感谢您对我们的工作的认可，您在审稿中提出的问题和对我们启发和帮助很大。在以后的工作中，我们也将吸取这些经验，继续努力！

第四轮

审稿人 1 意见: 经过作者的努力，文章有了较大的进步，同意发表

编委意见:

稿件还有以下问题，建议修改。

意见 1: 眼动结果缺少描述统计结果。

回应: 感谢您的建议。我们在 P14 增加了表 9，为实验 2 中注视时间和瞳孔直径的均值和标准差。

意见 2: 为什么在瞳孔指标中选择了瞳孔的最大值？如何计算？通常情况下，在使用瞳孔指标时是计算瞳孔增加或缩小的量（变化量），而不是单纯使用瞳孔直径。因为瞳孔很容易受到刺激的亮度、大小等外在物理因素影响，为了避免这种影响，一般应该采用与基线比较的方式计算瞳孔在不同条件下的变化率。

回应: 感谢您的建议。瞳孔均值和瞳孔直径最大值都是瞳孔扩张的常用指标(杨晓梦等, 2020)，之前选用瞳孔最大值而非均值，是考虑到反馈后的编码时间有较长的 4s，被试在编码的后期可能会停止编码，使收集到的瞳孔均值降低。在之前的分析中，我们忽略了基线比较过程，收到您的建议并查阅文献后，我们选取价值反馈屏呈现前 500ms 的平均瞳孔直径作为基线，通过减法换算（瞳孔校正值=反馈屏瞳孔大小—基线值），得到校正后的瞳孔直径平均值和最大值(杨晓梦等, 2020)。然后对均值和最大值两个指标都进行了分析，分析结果呈现在 P14 最后一段，以及 P15 的表 10 中。对实验 2 讨论部分（P15 倒数第二段）

进行相应修改，在总讨论部分中也进行了相应修改（P19 中 5.2.1 第一段和 P20 第一段最后一句），对中英文摘要都进行了相应补充。

额外说明：在对文献的搜索中，我们发现，对于文中的关键概念 *salience*（原译为突显性），在以往的中文文献中，被翻译为“突显性”或“凸显性”。如：李丹阳等(2018)使用“突显的预测误差”，而吴小勇等(2011)将“身份凸显性”翻译为 *Identity Salience*，彭姓等(2018)在注意领域的综述中也翻译为“凸显性”。

于是我们查阅了凸显和凸显词义的差别：凸显指某事物明显突出其原平坦表面；突显指本来很平坦的东西，在其某个部位或边缘，小范围的突然发生了变化，与其余大部分不一样。*Salience of RPE* 指的是奖赏结果和预期的偏离程度，体现了与结果与预期完全一致时（不凸显）的差异，我们认为它更适合翻译为“凸显性”，因此我们对全文中 *salience* 进行了重新翻译。由于范围很广且只针对凸显这一词，并未以橙色字体标注。

参考文献:

- 李丹阳, 李鹏, 李红(2018). 反馈负波及其近 10 年理论解释. *心理科学进展*, 26(9): 1642-1650.
- 彭姓, 常若松, 任桂琴, 王爱君, 唐晓雨(2018). 外源性注意与多感觉整合的交互关系. *心理科学进展*, 26(12): 2129-2140
- 杨晓梦, 王福兴, 王燕青, 赵婷婷, 高春颖, 胡祥恩. 瞳孔是心灵的窗口吗?——瞳孔在心理学研究中的应用及测量. *心理科学进展*, 28(7): 1029-1041.
- 吴小勇, 杨红升, 程蕾, 黄希庭(2011). 身份凸显性: 启动自我的开关. *心理科学进展*, 19(5):712-722

第五轮

编委意见:

关于瞳孔直径平均值和瞳孔直径最大值等问题还请作者做以下补充，（1）如果用“瞳孔校正值=反馈屏瞳孔大小—基线值”，则在文中应该用“瞳孔变化值”或“瞳孔变化最大值”，二不是用“瞳孔直径平均值”和“瞳孔直径最大值”；（2）应该给出瞳孔指标（包括眼动或其他行为指标）的单位；此外，（3）有些表中数据的小数点后保留位数不统一。建议修改后发表。

回应：感谢您的建议。

- （1）已在文中实验 2 中进行修改，并在摘要和总讨论中也进行了修改。
- （2）已在文中表格中给出反应时(ms)、注视时间(ms)和瞳孔变化(μm)的单位。
- （3）已修改，根据心理学报投稿指南中的要求，除 *p* 值保留 3 位小数外，所有统计值均保留 2 位小数。

主编意见:

本论文通过 3 个实验，考察了奖赏预测误差的效价、凸显性影响项目与联结记忆时的差异。本论文研究框架清晰，研究范式选用恰当，数据处理过程科学规范。