

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：奖赏预测误差对时间顺序记忆和来源记忆的影响

作者：张弘弛 成旋 毛伟宾

第一轮

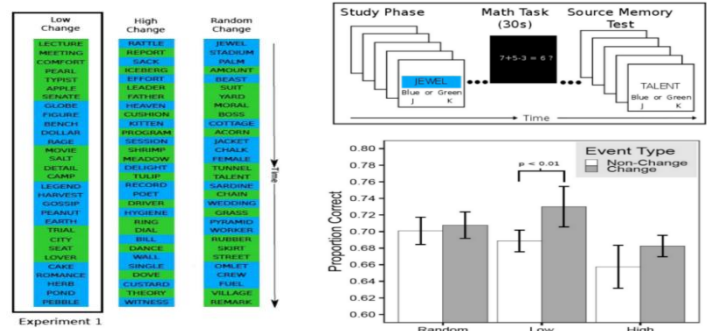
审稿人 1 意见：

本文主要的研究问题是：将奖赏预测误差(reward prediction errors, RPE)作为事件边界时，其对时间顺序记忆和来源记忆的影响，共进行了两个行为实验和一个 ERP 实验，主要得到两个结论：1. 事件边界的切分强度是影响记忆权衡效应的重要因素；2. N400 成分是反映事件边界对情景记忆的整合与切分的重要指标。

本文研究问题比较明确，在前言部分对该问题的现状进行了梳理，对于本研究我主要存在两个主要的疑问，以及文章中部分表述存在不够明确的问题，具体如下：

意见 1： 本文的实验结果中一部分主要来自于来源记忆在边界和非边界两种条件下的正确率差异，而事件的边界是由奖赏预测误差造成的，那么是否可能来源记忆在不同条件下的正确率差异是由预期的冲突直接引起，而不是由预期造成的事件边界引起的呢？

回应： 非常感谢审稿专家的建设性的指导意见！这促使我们对边界处来源记忆增强的原因进行了深入思考并查阅了相关文献。正如审稿专家所说，来源记忆在不同条件下的正确率差异可能是由预期的冲突直接引起，而不是预期产生的事件边界所引起。关于这个问题，Siefke 等人(2019)曾通过 2 个实验探讨了非事件边界的预期冲突能否影响记忆。实验 1 以颜色背景作为事件边界，要求被试在学习和不同背景颜色配对的单词后进行来源记忆测试，即判断单词在学习阶段相匹配的背景颜色。结果发现，边界项的来源记忆正确率显著高于非边界项。那么，产生该结果的原因究竟是边界处背景颜色的变化不符合预期，还是颜色背景构成的事件边界导致的呢？对此他们进行了实验 2。在实验 2 中，除了事件边界条件(低变化条件)外，又增加了高变化条件和随机变化条件，也就是提高了单词的背景颜色变化频率，变化项(边界项)之后的未变化项(非边界项)被认为是产生了更大的预期冲突。作者认为，如果边界处来源记忆的增强是事件边界本身导致的，则在高变化条件下仍表现出和实验 1(或实验 2 的低变化条件)相一致的结果；反之，如果是预期冲突导致的，则在高变化条件下表现出和实验 1(或实验 2 的低变化条件)相反的结果，即非边界项的来源记忆成绩更好。结果发现，尽管高变化条件下变化项和未变化项的来源记忆在统计学上并未达到显著性水平，但表现出了和实验 1(或实验 2 的低变化条件)相同的趋势。这就表明，来源记忆在边界和非边界条件下正确率的差异的确是由预期误差造成的事件边界本身所引起的。Siefke 等人(2019)的具体实验流程与结果如下所示：



为了更好地解释我们的研究和结果，我们在文中做了如下修改：“Siefke 等人(2019)通过采用高、低频率背景颜色变化的单词列表考察单词-背景颜色来源记忆的研究也表明，预期误差造成的事件边界本身是边界处来源记忆增强的原因。”(具体修改内容请参见文中 2.3 分讨论部分红色字体)

意见 2: 前言中提到的操纵事件边界常用的手段是空间、知觉、类别特征等外部环境变化导致的事件边界，那么 RPE 作为一种内在的、具有社会性意义的变化的操纵方式，除了研究较为鲜少之外，是否在了解事件边界影响记忆这一问题上有其特有的贡献呢？或者其与外部环境的变化是否有加工机制上的差异？

回应: 非常感谢审稿专家建设性的意见！这对于我们更好地理解论文的研究意义有很强的指导作用！我们重新梳理了论文的引言部分并对 RPE 事件边界的特殊性进行了补充说明，并在讨论部分增加了对此进行进一步研究的必要性。我们按照建议对引言部分做出如下修改：“与先前研究不同，人脑对奖赏信息十分敏感，RPE 更多体现的是个体内部心理体验的变化，通常伴随着激素水平的上升。研究表明，中脑奖赏系统的腹侧被盖区(VTA)产生的多巴胺会投射至海马，从而导致对非预期事件的记忆增强(Lisman et al., 2011; Jang et al., 2019)。由此，探讨 RPE 能否形成事件边界并对记忆的时间和空间层面产生影响不仅有助于丰富事件边界的类型，进一步考察内在和外在的事件边界对记忆的影响是否不同，而且对于厘清事件边界的加工机制也具有重要的意义。”(具体修改内容请参见文中 1 引言第 5 段红色字体)

意见 3: 摘要中“通过 3 个行为和 ERP 实验”这一表述略有歧义，建议更改为更精确的表述。

回应: 非常感谢审稿专家的意见和专家的细心认真！我们按照建议对摘要部分做出如下修改：“本研究以奖赏预测误差(reward prediction errors, RPE)作为事件边界，通过两个行为实验和一个 ERP 实验，探讨 RPE 事件边界对时间顺序记忆和来源记忆的影响。”(具体修改内容请参见文中摘要部分红色字体)

意见 4: 图 7 的图标题中，N400 和 P600 分别对应哪两张图，建议更明确地标注

回应: 非常感谢审稿专家的意见！我们已遵照审稿意见增加了对图 7 波形图标题的标注，具体修改如下：“图 7 时间顺序记忆和来源记忆中各条件下的 N400 和 P600 波形(上图对应时间顺序记忆，下图对应来源记忆)”(具体修改内容请参见图 7 标题红色字体)

审稿人 2 意见:

文章基于事件切割理论，探讨了奖赏预测误差对时间顺序记忆和来源记忆的影响，分析了转换强度所起的调节作用及从神经生理机制的层面揭示了 RPS 事件边界影响时间顺序记忆和来源记忆的脑电指标。其结果具有一定的创新性，整体的写作逻辑也较为清晰。具体意

见如下：

意见 1：引言部分为使其与已有研究相衔接，应沿用本领域研究中的常规表述。如将“事件切分”改述为“事件切割”，“事件切分理论”改述为“事件切割理论”。

回应：非常感谢审稿专家的意见！原本是考虑“切分”概括性更强一些，“切割”的物理属性更突出一点。但我们非常赞同您的建议，为便于研究间的衔接，保持研究领域常规表述的统一性的确是非常必要的。所以，我们根据您的建议将全文中前人研究提到的“事件切割理论”表述为“事件切割理论”，其他的部分还是采用了“切分”的表述。

意见 2：第一段末指出“大量研究表明，事件边界对记忆的时间和非时间层面产生了显著的影响”，作者在下文的论述中也是从时间和非时间两个层面进行论述。虽然划分为两个层面可以进一步明晰事件边界对记忆的影响，但作此划分的依据还需进一步阐明。对相关文献的引用仍需进一步准确。如果这种划分是作者第一次提出的，请合理说明其理由。

回应：非常感谢审稿专家的意见！关于事件边界对记忆的时间层面和非时间层面的影响的提法是诸多研究者基于一系列研究总结出来的，我们沿用了这一说法。这一表述首见于 Clewett 等人(2019)的研究。Clewett 等人(2019)明确提到事件边界会影响先前的情节(episode)在记忆中的表征和组织形式，对情景记忆的时间(temporal)和非时间(nontemporal)层面产生不同的影响。

为了表达的更清晰和准确，我们在文中做了如下修改：“大量研究表明，事件边界对情景记忆的时间和非时间层面产生了不同的影响(Clewett et al., 2019)，具体表现为事件边界削弱了记忆的时间层面，而增强了记忆的非时间层面(Davis et al., 2021; DuBrow & Davachi, 2013; Ezzyat & Davachi, 2011, 2014; Horner et al., 2016; Lin et al., 2010; Siefke et al., 2019)。”(具体修改内容请参见 1 引言第 1 段红色字体)

意见 3：“时间顺序记忆”和“来源记忆”作为作者讨论的核心变量，应做出清晰且具体的定义。

回应：非常感谢审稿专家的意见！我们在重新梳理引言部分的同时对“时间顺序记忆”和“来源记忆”的概念进一步做出明确界定。我们按照建议对引言部分做出如下修改：

“事件边界影响记忆时间层面的研究主要集中在时间顺序记忆和时间距离判断上(DuBrow & Davachi, 2013; Ezzyat & Davachi, 2011, 2014; Horner et al., 2016)。时间顺序记忆是指对已经历的事件时间发生顺序的记忆，通常采用新近性判断(recency judgment)来测量，具体操作是要求被试在测验阶段判断两个待测项中的哪一个相对更早呈现。”

“研究表明，事件边界在记忆的非时间层面表现出一定的记忆优势，具体为能提高边界处信息的项目以及来源记忆(Lin et al., 2010; Siefke et al., 2019)。来源记忆是指对项目及其情境(context)信息的记忆，如对项目及其所属背景颜色的记忆等(Tulving, 2002)。”(具体修改内容请参见 1 引言第 2 段和第 3 段红色字体)

意见 4：第 4 段段首处，“如前所述，事件边界削弱了记忆的时间层面，却增强了记忆的非时间层面，……”。这里的表述并不准确。如已有研究发现，在事件内条件下，事件边界会促进图片材料的事件顺序记忆(e.g., van de Ven et al., 2020)。同时该段中对 Heusser 等人(2018)的研究的举例并未强调出“来源记忆”，因而无法看出作者所谓的“记忆权衡效应”。

回应：非常感谢审稿专家的意见！我们又重新梳理了论文的引言部分的第四段内容，并对 Heusser 等人(2018)关于来源记忆的测量及研究目的进行了修改和补充说明。具体修改如下：

“如前所述，事件边界削弱了记忆的时间层面，却增强了记忆的非时间层面，那么这种增强

和削弱之间是否存在某种权衡关系呢？Heusser 等人(2018)首次在 3 个实验中系统地探讨了事件边界中时间顺序记忆和来源记忆的关系。该研究采用背景颜色的变化来构成事件边界，进行了时间顺序记忆和项目-背景颜色来源记忆测验。结果发现，边界条件的项目-背景颜色来源记忆显著优于非边界条件，而跨事件条件下的时间顺序记忆则显著差于事件内条件。也就是事件边界增强了边界处的来源记忆，却削弱了跨边界的时间顺序记忆。据此，他们认为，事件边界对来源记忆和时间顺序记忆的影响可能存在权衡效应。”(具体修改内容请参见 1 引言第 4 段红色字体)

意见 5: 第 4 段中作者分别论述了已有研究证实了事件边界会增强来源记忆或对来源记忆没有影响。不能将有影响和没影响随意列举，请试图合理分析造成这种差异的原因，从而才能基于已有研究来提出作者自己怎样操纵实验材料，划分事件边界。

回应: 非常感谢审稿专家的建议！在 van de Ven 等人(2022)的研究中，以刺激间的间隔(ISI)作为事件边界，但是并没有发现 ISI 事件边界对时间顺序记忆和来源记忆产生权衡效应，主要表现为事件边界削弱了时间顺序记忆，但并没有增强来源记忆。该研究的事件边界是通过刺激间的间隔(ISI)来操作的，由此，我们认为可能并非所有类型的事件边界均能产生记忆权衡效应，换句话说，可能正是因为 ISI 事件边界不同于知觉边界(Heusser et al, 2018)、听觉边界(Clewett et al., 2020)等类型，所以才没有产生记忆权衡效应。这也是本研究需要验证的第一个假设。

在文中我们做了进一步的修改，以使得表达更为清晰，具体修改如下：“可能 ISI 事件边界是一种不同类型的事件边界，不同于以往研究中所采用的视觉或听觉变化等知觉边界，才导致没有提高边界处项目的来源记忆，进而没有产生记忆权衡效应。因此，不同类型的事件边界是否均能产生记忆权衡效应，以及事件边界产生记忆权衡效应是否受到其他因素的影响有待于进一步探究。”(具体修改内容请参见 1 引言第 4 段红色字体)

意见 6: 作者在第 5 段中指出，Rouhani 等人(2020)首次证明了奖赏预测误差(reward prediction errors, RPE)可以作为事件边界对记忆产生影响。随后又写道“他们又在后续实验中检验了 RPE 事件边界.....”，并对研究内容做了详述。但此处缺少对参考文献的进一步补充，是此处的文献引用同上述一致？

回应: 非常感谢审稿专家的意见！由于我们在表述上存在一些模糊，所以引起了歧义，此处提到的“他们又在后续实验中检验了 RPE 事件边界.....”与上文提到的“Rouhani 等人(2020)首次证明了奖赏预测误差(reward prediction errors, RPE)可以作为事件边界对记忆产生影响”是同一篇文献。Rouhani 等人(2020)共做了 4 个实验，其中实验 1-3 探讨了 RPE 能否作为事件边界切割序列信息，实验 4 中探讨了 RPE 事件边界对记忆时间层面的影响。

为了表述更清晰，文中的具体修改如下：“在证明了 RPE 可以作为事件边界之后，他们又在实验 4 中进一步检验了 RPE 事件边界如何影响记忆的时间层面，这是因为事件边界在记忆中存在的一个重要证据就是表现为跨事件时间顺序记忆的削弱(Davachi & DuBrow, 2015)。”(具体修改内容请参见 1 引言第 5 段红色字体)

意见 7: 作者对 N400 的心理意义写的较为模糊，N400 能否可以作为判定出现事件边界的一个指标？此处还需进一步阐明。

回应: 非常感谢审稿专家的意见！我们在引言部分对 N400 成分的心理意义进行了进一步的说明。具体修改如下：“研究表明，N400 成分与预期违背密切相关(DeLong et al., 2005; Kutas & Hillyard, 1980, 1984; Sitnikova et al., 2003; West & Holcomb, 2002)。即如果随后输入的信息是非预期的、不可预测的，此时就会产生较大的 N400 波幅。因此，Zacks 等人(2007)认为事

件边界处个体无法对随后输入的信息进行准确预测,和预期违背有关的 N400 成分在事件边界中可能具有重要的作用。Delogu 等人(2018)对此也进一步推论, N400 成分与词在句子或语篇语境中的预期程度有关,相比较于事件边界处的信息,事件内的信息会诱发出更低的 N400 波幅,体现了更容易的提取过程。”(具体修改内容请参见 1 引言第 6 段红色字体)

意见 8: 方法部分实验 1 中实验程序的呈现是否为伪随机? 由于该程序的测验方式是在每个 block 之后, 鉴于即时再认所产生的记忆巩固对后续 block 测试的干扰, 非伪随机时应考虑平衡各个 block 的顺序。此问题同样存在与实验 2、实验 3。

回应: 非常感谢审稿专家的认真和严谨! 如专家所言, 不同的测验方式的先后顺序会对后续 block 测试的结果产生干扰。我们对被试间平衡的表述不太清晰和具体, 可能造成了一些误解, 现将我们的具体操作说明如下: 研究中实验程序的呈现并没有采取伪随机处理, 而是采用了被试间平衡的方式, 一半被试先进行时间顺序记忆测验然后再进行来源记忆测验(时间顺序记忆-来源记忆), 另一半被试则先进行来源记忆测验然后再进行时间顺序记忆测验(来源记忆-时间顺序记忆)。

我们在文中做了如下修改: “此外, 时间顺序记忆测验和来源记忆测验的先后顺序、时间顺序记忆测验中两项目的位置以及来源记忆测验中两数值的位置也都进行了被试间平衡。”(具体修改内容请参见 2.1.4 实验程序部分红色字体)

意见 9: 实验 1 的小讨论并不充分, 如作者发现并未观测到事件边界对时间顺序记忆的影响, 导致其产生这种结果的可能的原因是什么? 除作者简要所提的转换强度之外, 是否还可能与其他因素有关。比如, 每个 trial 的较长呈现时间和每个 block 中 trial 较少, 从而导致被试记忆的更好? 请做进一步论述。

回应: 非常感谢审稿专家的认真和严谨! 首先, 实验中的每个 trial 的呈现时间都是一致的; 其次, 关于每个 block 中的 trials 数量是否对记忆结果有影响, 我们在梳理了关于事件边界的研究后发现, 无论每个 block 中的 trials 数量为 24(Heusser et al., 2018 实验 3)、25(DuBrow & Davachi, 2013)、32(Clewett et al., 2020)、36(Heusser et al., 2018 实验 1 和实验 2; Rouhani et al., 2020)还是 96(Horner et al., 2016), 结果一致性表明事件内条件下的时间顺序记忆显著优于跨事件条件, 这就说明每个 block 中的 trials 数量可能不会对不同条件下的时间顺序记忆产生影响。

因此, 对于实验 1 中我们没有观察到事件内和跨事件条件之间的时间顺序记忆存在显著差异的结果, 我们认为可能与事件边界的强度有关。因为相比较于其他类型事件边界的明显变化, RPE 作为事件边界时, 事件内的情境存在动态波动。例如, 实验 1 中一个事件的价值数值可能是“36¥-42¥-39¥-41¥-44¥”, 它们都是围绕着平均值“40¥”上下波动的, 但不同事件之间 RPE 转换的平均值则是从 20¥-80¥, 所以可能存在从“36¥-42¥-39¥-41¥-44¥”到“56¥-61¥……”这种转换平均值从“40¥”转换到了“60¥”的较小转换的情况。换句话说, 虽然确实发生了事件转换, 但转换的强度比较低, 被试可能不太容易将其区分成不同的事件。因此, 我们认为, 可能是由于那些低强度的 RPE 转换不能很好地发挥出事件边界的作用, 才使得实验 1 中没有发现事件边界对跨事件时间顺序记忆的削弱作用, 进而没有表现出记忆权衡效应。

诚如您所说, 可能还存在其他原因导致 RPE 事件边界没有削弱跨事件条件下的时间顺序记忆, 但我们的实验 2 结果直接验证了实验 1 的推测。此外, 在实验 1 之后我们进行了主观转换强度评定, 结果发现, 被试对于那些高强度的 RPE 转换比低强度的 RPE 转换更能明显觉察出变化。因此, 无论是实验 2 的结果还是主观转换强度评定的结果均表明我们的推测是正确的。

意见 10: 实验 2 中, 作者将转换强度划分为高、低强度, 作此划分的依据是? 此问题同样出现于实验 3。

回应: 非常感谢审稿专家的认真和严谨! 因为限于篇幅, 我们没有将详细的高、低转换强度的划分过程进行介绍。我们的具体做法如下: 在对实验 1 的结果做出推测之后, 我们在开展实验 2 之前对 RPE 边界的转换强度做了主观评定, 不仅可以从侧面验证实验 1 小讨论的推测, 还可以作为实验 2 划分 RPE 边界转换强度的依据。具体操作为选取 15 名不参与正式实验的被试, 对一个价值数值序列在事件边界处进行主观强度评定, 两个相邻事件之间平均值的差值大小即为转换强度, RPE 转换强度的范围是从 20¥-80¥。如在一个序列“22¥-19¥.....21¥-88¥-91¥.....87¥-73¥-69¥.....72¥-11¥-13¥.....”中, 要求被试对事件边界处的强度大小在 9 点量表上进行主观评定, 其中, 1 为完全感知不到变化, 5 为几乎刚刚能感知到变化, 9 为完全能感知到变化。结果如下所示:

转换强度	20¥	30¥	40¥	50¥	60¥	70¥	80¥
评定分数	3.73±1.33	4.27±0.88	6.00±1.25	7.07±1.44	6.33±1.23	7.60±1.45	8.33±0.90

根据评定的结果, 我们的实验 2 最终选择了转换强度评分值低于 5 分的 20¥和 30¥为低 RPE 转换强度, 选择转换强度大于 6 分的 50¥和 60¥为高 RPE 转换强度。需要说明的是, 之所以在实验 2 中没有选择转换强度更高的 70¥和 80¥, 是因为每个 block 中达到 70¥和 80¥高的转换强度的价值数值序列非常少(如仅存在于从平均值“20¥”转换到“90¥”, 或从平均值“10¥”转换到“90¥”等几个序列中)。在证明了事件边界的转换强度的确是影响记忆权衡效应的因素之后, 在实验 3 中则把 50¥-80¥的 RPE 高转换强度范围均作为事件边界, 进一步考察事件边界对记忆影响的神经机制。

为了更好地解释我们的研究和结果, 我们在文中做了如下修改: “实验开始之前, 随机选取 15 名不参与正式实验的被试对 RPE 边界的转换强度在 9 点量表上进行主观评定, 从 1(完全感知不到变化)到 9(完全能感知到变化), 转换强度就是两个相邻事件之间平均值的差值大小。根据评定的结果, 最终选择评分小于 5 的 20¥和 30¥(3.73±1.33; 4.24±0.88)作为低 RPE 转换强度条件; 评分大于 6 的 50¥和 60¥(7.07±1.44; 6.33±1.23)作为高 RPE 转换强度条件。”(具体修改内容请参见 3.1.4 实验程序部分红色字体)

意见 11: 基于实验 1, 作者在小讨论中指出转换强度可能会影响其实验结果。那么作者关于此处分析转换强度的数据为何并未呈现? 作者究竟是基于那些数据来得出了转换强度可能是造成结果不一致的主要原因?

回应: 非常感谢审稿专家的意见! 最初由于篇幅的原因, 我们在文中并没有呈现主观转换强度的评定结果以及划分高、低 RPE 转换强度的标准。我们现已将详细的结果进行了补充和说明(具体修改内容请参见 3.1.4 实验程序部分红色字体以及回复 10)

意见 12: 如果从实验 1 中可以分出不同转换强度下的结果, 那么做实验 2 的必要性在哪里? 请进一步澄清两个实验的逻辑关系。

回应: 非常感谢审稿专家的意见! 实验 1 在 Rouhani 等人(2020)研究的基础上提出了一种用于检验来源记忆的操作, 旨在探究内在的、具有社会性意义的 RPE 事件边界能否在削弱跨事件信息时间顺序记忆的同时, 增强边界处信息的来源记忆, 即产生记忆权衡效应(Heusser et al., 2018; Clewett et al., 2020)。但我们并没有在实验 1 中观察到预期的记忆权衡效应, 同时, van de Ven 等人(2022)以刺激间隔 ISI 作为事件边界时同样没有得出记忆权衡效应的结

果。因此，我们认为或者可能并非所有类型的事件边界均能产生记忆权衡效应，或者事件边界产生记忆权衡效应可能受其他因素的影响，据此结合实验 1 的结果与推测进行了实验 2，并进一步验证了事件边界的切割强度是影响事件边界产生记忆权衡效应的重要因素。

意见 13: 实验中的高低转换强度值是如何界定的？这种转换强度变化所带来的效应依赖于强度变化是一个固定值（以 20 为例，转换强度大于 40）还是比例值（提高了 200%）？作者没有进行说明。

回应: 非常感谢审稿专家的意见！实验中的高、低 RPE 转换强度值是通过主观转换强度的评分来界定的。转换强度带来的效应主要是依赖于两个相邻事件之间 RPE 差值的大小。比如“36¥-42¥-39¥-41¥-44¥”到“56¥-61¥.....”，平均值从“40¥”转换到了“60¥”，RPE 转换强度值为 20¥，属于低转换强度；“17¥-18¥-21¥-23¥-19¥”到“82¥-79¥.....”，平均值从“20¥”转换到了“80¥”，RPE 转换强度值为 60¥，属于高转换强度。

意见 14: 网络图片库中选取的图片是否进行了效价评定（与中国情绪图片系统、国际情绪图片系统的中性效价一致）？实验三所使用的材料是否在物理属性（对比度、亮度、分辨率等）上进行了统一？尽管内源性 ERP 成分几乎不受材料刺激的影响，但考虑到文章的可读性以及这些属性对行为的影响，请作者进行补充与回答。

回应: 非常感谢审稿专家的意见！首先，本研究在开始之前选取了 15 名不参与正式实验的被试对网络图片库中所选取的图片在 9 点量表上进行了效价评定，从 1(非常不愉悦)到 9(非常愉悦)。中性场景图片的效价介于 4-6 之间($M=5.19, SD=0.37$)。由于本文中不涉及情绪性的问题，因此没有在文中呈现材料评定的数据。其次，实验 3 中所使用的材料并未在物理属性（对比度、亮度、分辨率）上进行统一，只是按照 Heusser 等人(2018)的做法，在图片的尺寸上统一为 350×350(像素)。先前关于探讨边界处和非边界处感知和注意加工的研究会关注亮度、对比度等物理属性，而本研究侧重于考察事件边界对记忆的影响，所以也沿用了先前关于事件边界对记忆影响相关研究的选择材料的做法，没有考虑物理属性的统一。但在未来的实验中，将进一步注意实验材料的物理特性的统一。

意见 15: 请准确表述实验三中的实验材料部分（指仅使用实验二中的高强度材料）。

回应: 非常感谢审稿专家的意见！我们在整个研究中(实验 1-3)共选取了 300 张中性场景图片，参照 Rouhani 等人(2020)的研究设计，在实验 1 中选取其中的 216 张进行实验，在实验 2、3 中则选用全部的 300 张图片进行实验。实验 3 中程序部分提到的“本实验在学习阶段不同事件之间的 RPE 转换范围仅采用实验 2 中的高转换强度条件，即转换范围为 50¥-80¥。”是指根据主观转换强度的评定结果发现，50¥-80¥的转换强度范围均可被认定为高 RPE 转换强度。也就是说，对实验 2 中的材料进行了高、低转换强度的操纵，而在实验 3 中场景图片材料仍和实验 2 一致，仅通过操纵转换强度范围(50¥-80¥)来进行高 RPE 转换强度条件的实验。

意见 16: 根据审稿人对文章的理解，作者是在测验阶段进行的 EEG 数据采集，但作者未对测验阶段的实验流程进行详细报告（刺激的出现时间、刺激间的呈现间隔、实验总时长等）。首先，由于 trial 间时间间隔未知，很难对每个 trial 是否代表了一个独立的心理活动进行判断。其次，ERPs 是锁时锁相的，作者是否设置了足够且随机的时间间隔以保证所感兴趣的 ERP 成分未受到前一 ERP 成分的影响？第三，作者在进行记忆测验时是否将汉字判断提示（在学习阶段哪张图片相对呈现的更早一些？）与刺激图片分离？由于作者使用的 ERP 指标为 N400 与 P600，此两种 ERP 成分常用于语言加工相关的研究中。鉴于本研究的核心是“事件边界两侧的信息分别存储在不同的事件模型之中”所引发的冲突，如果未分离提示与

刺激图片，那么本研究所产生的 N400 与 P600 效应是否存在混淆？请作者补充详细的实验流程并回答上述问题。

回应：非常感谢审稿专家的意见！我们逐条进行说明如下：

首先，我们实验 3 中考察的是测验阶段刺激呈现后的 350-550ms 和 600-1000ms 两个时间窗的 ERP 数据。和实验 1、2 的程序一致，被试在进行时间顺序记忆测验和来源记忆测验时是不受时间限制的，只有当被试做出判断之后才会呈现下一个 trial，trials 与 trials 之间没有设置时间间隔。由于我们所关注的就是刺激呈现后 350-550ms 和 600-1000ms 两个时间窗的 ERP 波形，也如您所说 ERPs 是锁时锁相的，刺激呈现后大脑就会做出相应的反应，所以 trials 之间的时间间隔并不会对 ERP 成分产生影响。

其次，本研究在记忆测验时没有将汉字判断提示与刺激图片分离，而是将其放在同一屏上呈现。由于我们比较的是事件内/非边界条件和跨事件/边界条件的 ERP 指标，而无论是事件内还是跨事件的 trials 都是将汉字判断提示与刺激图片一起呈现的，所以如果汉字判断提示有影响的话，对两者的影响应该是一致的。我们的结果发现了跨事件/边界条件比事件内/非边界条件诱发出更大的 N400 波幅。诚如您所说，N400 和 P600 成分的确常用于语言加工的相关研究中，但许多研究发现当序列图片或连续视频的连贯性被中断时，即下一幅图片或下一帧视频不符合预期、产生预期冲突时，同样会诱发更大的 N400 波幅(West & Holcomb, 2002; Sitnikova et al., 2003)，也就是说，N400 并不只对言语信息的语义加工敏感，体现的是更为广泛的预期冲突的心理意义。我们在梳理了前人文献后也发现，有研究指出 N400 和 P600 成分可能与事件边界有关。

意见 17：作者未汇报实验程序制作所使用的编程程序，亦未汇报处理 EEG 数据使用的软件（以及工具包）。请进行补充。

回应：非常感谢审稿专家的意见！我们已针对实验程序部分的描述，进行了相应的补充说明。具体修改如下：

“实验程序的编制以及实验的运行均通过 E-Prime3.0 软件完成。实验分为学习阶段和测验阶段，共分为 6 个 block。”(具体修改内容请参见 2.1.4 实验程序部分红色字体)

“利用 MATLAB 2013 软件中的 EEGLAB 工具箱进行离线数据分析……”(具体修改内容请参见 4.1.5 EEG 数据记录和分析部分红色字体)

意见 18：结果部分图 7 中仅展示了作者所描述的头皮中前部与中后部 ROI 的图片，为什么没有展示中部的图片？请予以补充。且作者所展示的图片在 P4 的来源记忆边界与非边界组上似乎没有明显的 P600 波，在 F4 点四组仅有一个正走向的趋势，波峰并不明显，请作者予以解释。

回应：非常感谢审稿专家的认真和严谨！首先，实验 3 的重复测量方差分析以及进一步的简单效应分析结果发现，在 350-550ms 和 600-1000ms 时间窗内，头皮中部 ROI 在不同条件之间(事件内 vs 跨事件；边界 vs 非边界)均未存在显著差异。即无论是时间顺序记忆(事件内 vs 跨事件)还是来源记忆(边界 vs 非边界)均不存在显著差异。因此，我们在图 7 中仅展示了存在显著差异的电极点，对于差异不显著的电极点并未进行展示。

其次，诚如您所说，我们所展示的图片在 P4 的来源记忆边界与非边界组上似乎没有明显的 P600 波，在 F4 点四组仅有一个正走向的趋势，波峰并不明显。的确从我们的结果来看，无论是波形图还是方差分析的结果均没有表现出不同条件下 P600 波幅间的差异。脑电结果如下所示：

不同条件下(事件内 vs 跨事件; 边界 vs 非边界)ERP 波幅差异显著的脑区

时间窗	测验类型	中前部	中部	中后部
350-550ms(N400)	时间顺序记忆	$p=0.02^*$	<i>ns.</i>	<i>ns.</i>
	来源记忆	<i>ns.</i>	<i>ns.</i>	$p=0.001^{***}$
600-1000ms(P600)	时间顺序记忆		<i>ns.</i>	

P600 结果与 Delogu 等人(2018)的研究出现不一致的情况。通过与该研究比较之后我们分析原因可能在于: (1)由情境变化导致的 P600 波幅的增加可能对言语的信息整合加工更敏感; (2)言语的信息整合加工与长时记忆的语义提取加工可能是两个完全平行独立的过程, 由不同的系统加以控制。

意见 19: 讨论部分根据实验 1 的结果, RPS 事件边界有助于提升来源记忆, 但对时间顺序记忆无影响。因此, 总讨论部分中“5.1 RPE 事件边界增强了边界处信息的来源记忆, 却削弱了跨事件信息的时间顺序记忆”的这一说法存在歧义, 论述时还需进一步准确。同时, 此部分的论述应聚焦于 RPE 事件边界与其他事件边界的区别, 通过讲述 RPE 事件边界的特异性来解释与以往研究结果不一致的争议。

回应: 非常感谢审稿专家的意见! 首先, 实验 2 是在实验 1 的 RPE 事件边界没有产生记忆权衡效应的基础上进行的探索, 我们认为可能存在其他因素导致 RPE 事件边界对时间顺序记忆无影响。在实验 2 中, 根据主观转换强度划分高、低 RPE 转换强度, 结果发现仅在高 RPE 转换强度条件下表现出了记忆权衡效应。所以, 高 RPE 事件边界只是 RPE 事件边界的一种特定条件而非其他类型, 换句话说, RPE 事件边界本身是可以产生记忆权衡效应的, 但只有在特定的高 RPE 转换强度条件下, 当事件之间的差异表征足够大、事件边界的切割强度足够强时才能表现出来。

其次, 我们重新梳理了论文的讨论部分并对 RPE 事件边界的特殊性进行了补充说明。我们按照建议对讨论部分做出如下修改: “此外, 不同于知觉、空间、目标、类别特征等外部环境变化导致的事件边界, 个体很容易感知或觉察出事件之间的差异(DuBrow & Davachi, 2013, 2014, 2016; Heusser et al., 2018; Horner et al., 2016; Siefke et al., 2018)。个体内在心理状态, 如情绪性、唤醒水平、生理状态等也被证明可以为事件切割提供额外的线索(Clewett et al., 2019, 2020; Duns Moor et al., 2018)。RPE 是一种由当前的实际奖赏不符合预期所带来的内部心理体验, RPE 事件边界将个体先前与随后的经验分离, 并在记忆中创建新的内在情境, 体现的是情境中更深层次的变化(Rouhani et al., 2020), 我们推测 RPE 可能是一种内在的、具有社会性意义的事件边界。我们的研究表明, RPE 带来的内在心理状态的变化也会使得随后输入的信息不可预测, 从而更新事件模型、形成事件边界来分离序列信息(Zacks et al., 2007), 并进一步对记忆的时间和非时间层面产生不同的影响。”(具体修改内容请参见 5 讨论部分红色字体)

意见 20: 结论部分如何去判定作者所使用的 PRE 就是内在的、具有社会意义的? 究竟何为“内在的、具有社会意义”? 作为研究结论, 应是谨慎推论。同样, 此表述还出现于引言部分。

回应: 非常感谢审稿专家的意见! 我们认为 RPE 事件边界是“内在的、具有社会性意义的”的依据在于: 先前研究常以外部环境变化作为事件边界(DuBrow & Davachi, 2013, 2014, 2016; Heusser et al., 2018; Horner et al., 2016), 而 Clewett 等人(2019)提到, 个体的内在心理状态,

如情绪性、唤醒、生理状态也可以为事件切割提供额外的线索。关于 RPE 领域的研究表明, RPE 不同于惊讶、不确定性等过程(Jang et al., 2019), 更加强调的是一种当前的实际奖赏不符合预期所带来的内部心理体验, 体现了情境中更深层次的变化。并且这种内部心理体验会导致个体将先前与随后的经验分离开来, 在记忆中创建新的内在(latent)情境(Rouhani et al., 2020)。此外, RPE 具有较高的社会性意义, 价值数值或者金钱与人类的社会生活息息相关, 在研究中采用价值数值与中性场景图片配对的形式呈现记忆材料, 更加贴近现实生活。因此, 我们认为 RPE 是“内在的、具有社会性意义的”事件边界。当然, 我们的这种判定方式只是基于前人的研究做出的推论, 没有做深层机制的探讨, 而且先前研究者也并未明确对此做出界定。所以, 我们非常赞同您的建议, 作为研究结论, 这种推论的确应该谨慎。

具体修改内容请参见 5 讨论部分红色字体。

意见 21: 请注意参考文献格式, 此稿中存在多处错误。

回应: 非常感谢审稿专家的严谨和认真! 我们已对参考文献部分进行重新校对。

意见 22: 鉴于样本量问题, 在结论中“N400 效应是反映事件边界对情景记忆的整合与切分的重要指标”这一表述是否过强?

回应: 非常感谢审稿专家的意见! 我们非常赞同您的建议, 尽管本研究结果支持了这一结论, 但诚如您所说鉴于样本量的问题, 先前的这一推论的确表述过强。我们按照建议对结论部分做出如下修改:“N400 成分可能是反映事件边界对情景记忆的整合与切割的重要指标。”(具体修改内容请参见 6 结论部分红色字体)

第二轮

审稿人 1 意见:

作者对我上一轮提的意见均做了详细完整的解答, 我没有额外问题了, 建议发表。

审稿人 2 意见:

作者较好的回答了之前的问题, 论文质量有较大提高。

编委意见:

同意审稿人的发表意见

主编意见:

基于事件切割理论, 作者探讨了奖赏预测误差对时间顺序记忆和来源记忆的影响, 有一定的创新性, 论文写作条理较清晰, 作者已根据审稿专家所提出的详尽意见进行了答复和修改, 审稿过程清楚合规, 我和审稿人及编委的意见较为一致, 均认为文章已达到心理学报的发表水准, 同意发表。