

## 《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：视觉工作记忆离线态表征的生成机制

作者：李子媛，雷鸣，刘强

### 第一轮

#### 审稿人 1 意见：

该研究通过两个实验探索了离线态记忆表征是如何由在线态表征转换生成，检验两种可能的转换加工假设：巩固假设和衰减假设。研究采用序列呈现提取范式来引导记忆表征处于在线态与离线态，对刺激间隔时间和呈现时间进行控制。结果发现阵列 2 呈现时间的延长，能够消除在线态记忆负荷对离线记忆成绩的影响。进而推测离线态转向在线态符合巩固假设，而不是衰减假设。全篇论文从提出问题，到验证假设，得出结论，逻辑严谨，数据分析合理，具有一定创新性和价值。但是，该论文仍存在以下几个问题需要作者明晰：

**意见 1：**实验一中的延迟时间和实验二中记忆阵列的呈现时间，是一个关键变量。0.8 秒记忆阵列间隔是在前人基础上进行重复，但 1s 的间隔和 0.2s、0.5s 的记忆阵列 2 是如何选择的？

**回应：**感谢审稿专家。基于以往的序列呈现任务，0.8 秒的延迟间隔足够启动阵列 1 发生状态转换，但未能保证这一过程顺利完成。关于记忆表征卸载至离线态的时间估计，Wolf 等人(2017)对记忆表征完成状态转换的时间估计大约为 1 秒；LaRocque 等人(2013)结合脑电神经活动结果和行为结果，计算卸载记忆表征至离线态的时间分别为 1.25 秒和 1.7 秒（该内容在总讨论部分第二段呈现）。这些研究一致表明记忆表征成功进入离线态的时间不少于 1 秒。由于我们采用简单的颜色作为记忆刺激，同时转移至离线态的项目个数只有两个，因此，我们在 0.8 秒的基础上延长 0.2 秒，来验证 1 秒的间隔是否足以让阵列 1 完成状态转换。前期预试验结果符合实验预期。基于这一结果，由于阵列 1 的记忆表征状态转换加工在刺激后延迟间隔 1s 时即可完成，基于 0.8 秒的延迟间隔，如果阵列 2 在 0.2 秒的基础上还会再继续呈现不少于 0.2 秒，则足以满足阵列 2 的编码加工。因此我们保守地选用 0.2 秒 vs.0.5 秒，以此来辨别状态转换符合巩固假设还是衰减假设。

LaRocque, J. J., Lewis-Peacock, J. A., Drysdale, A. T., Oberauer, K., & Postle, B. R. (2013). Decoding Attended Information in Short-term Memory: An EEG Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(1), 127–142.  
[https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00305](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00305)

Wolff, M. J., Jochim, J., Akyürek, E. G., & Stokes, M. G. (2017). *Europe PMC Funders Group Dynamic hidden states underlying working memory guided behaviour*. 20(6), 864–871.  
<https://doi.org/10.1038/nn.4546.Dynamic>

**意见 2：**探究离线态表征如何生成这一问题的前提关键是，阵列 1 和在阵列 2 没有同时存储在在线态。在当前实验任务中，如何确定阵列 1 确实进入离线态进行存储，和阵列 2 实现分离？

**回应：**感谢审稿专家。首先，本实验中采用的序列呈现范式在以往研究中已被证明其能够有

效实现记忆表征的存储态分离(Li et al., 2020, 2021; Zhang et al., 2022)。此外, 根据当前行为结果, 无论对于不同延迟间隔条件(实验 1)还是不同呈现时间条件(实验 2), 记忆表征存储态都有显著的主效应, 离线态记忆成绩显著差于在线态记忆成绩。这一结果表明, 两个阵列的记忆表征确实由不同存储态进行维持。

Li, Z., Liang, T., & Liu, Q. (2021). The storage resources of the active and passive states are independent in visual working memory. *Cognition*, 217(June 2020), 104911. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2021.104911>.

Li, Z., Zhang, J., Liang, T., Ye, C., & Liu, Q. (2020). Interval between two sequential arrays determines their storage state in visual working memory. *Scientific Reports*, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64825-4>.

Zhang, J., Ye, C., Sun, H.-J., Zhou, J., Liang, T., Li, Y., & Liu, Q. (2022). The passive state: A protective mechanism for information in working memory tasks. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. <https://doi.org/10.1037/xlm0001092>.

**意见 3:** 作者认为实验结果支持巩固假设, 但文中缺少对于衰减假设可能结果的分析。

**回应:** 感谢审稿专家。在“1 前言”部分, 我们提出关于状态转换的巩固假设和衰减假设, 接着第四段对这两种假设进行分析和给出相应的结果预期。针对 Zhang 等人(2022)研究结果和资源独立理论相违背的原因, 衰减假设认为, 阵列 1 的神经激活模式在 0.8 秒的延迟间隔内还未完全消退, 此时呈现的阵列 2 的视觉刺激会对阵列 1 的在线记忆表征造成干扰, 这一干扰效应表现为阵列 2 记忆负荷影响阵列 1 记忆成绩。如果衰减假设成立, 在 0.8 秒的延迟间隔条件下, 无论阵列 2 的呈现时间长短, 其始终会影响阵列 1 的成绩表现, 因此无法通过延长阵列 2 的呈现时间来消除阵列 2 对阵列 1 记忆成绩的影响。此外, 在“3 实验 2”部分分析了呈现时间操控下衰减假设对应的结果预期。修改稿中“1 前言”第四段和“3 实验 2”第一段处用蓝色字体标出。

**意见 4:** 2.1.1 中“30 名被试足以达到记忆阵列存储态分离的可靠效应量 ( $\eta_p^2 = 0.545$ )”, 此处表述模糊。对于样本量应详细说明计划样本量, 实际样本量。

**回应:** 感谢审稿专家意见, 已完成对样本量描述的修改。

**意见 5:** 结果图示中, 样本配对 t 检验的显著差异值  $p < 0.001$  和  $p < 0.05$  都用\*表示, 建议将他们区分, 前者用\*\*表示, 后者用\*, 并在图例中说明。

**回应:** 接受审稿专家意见, 已对此修改。

**意见 6:** 2 (在线负荷 2 vs. 在线负荷 4)  $\times$  2 (在线态记忆成绩 vs. 离线态记忆成绩)  $\times$  2 (0.8 s vs. 1 s), 不规范。建议修改: 2 (在线负荷: 2 vs. 4)  $\times$  2 (记忆成绩: 在线态 vs. 离线态)  $\times$  2 (延迟间隔: 0.8 s vs. 1 s)。

**回应:** 接受审稿专家意见, 已对此修改。

**意见 7:** 此外还有一些细节问题:

(1) 全文中英文括号不统一, 需检查。

**回应:** 感谢审稿专家的细致认真, 我已认真检查全篇文章, 修改了存在的问题。

(2) 段落行间距不统一。

回应：感谢审稿专家的细致认真，已将段落行间距统一。

(3) (0.2s vs. 0.5s) (0.8 秒 vs.1 秒)，文章种出现的时间单位，应保持一致。

回应：接受审稿专家意见，文章中出现的时间单位已修改一致。

(4) 论文中出现标点符号重复现象，如：3.1.2 部分。请校对符号正确使用和纠正字词重复问题。

回应：感谢审稿专家的细致耐心，我认真检查全文，修改存在的问题。

(5) 英文摘要出现多处语法错误，建议进一步润色。例如名词单复数。两个记忆阵列 array 1 和 array 2 作为特定的目标阵列，建议首字母大写。

回应：接受审稿专家意见，对英文摘要完成相应的修改，并将英文摘要进一步润色和完善。

**审稿人 2 意见：**

稿件《视觉工作记忆离线态表征的生成机制》采用序列记忆提取范式诱发 VWM 的在线态与离线态存储，并通过操纵记忆阵列的集合大小、间隔时间和呈现时间，考察离线态 VWM 的影响因素。结果发现，当状态转换过程时间不足时，在线 VWM 的负荷大小会影响离线 VWM 的绩效。该结果符合记忆表征状态转换的巩固假设。

**意见 1：**作者对离线态 VWM 的表征形成有两种假设，一种是巩固假设，认为离线态 VWM 记忆表征由在线态转换而来，而且需要有一个巩固加工过程；

另一种为衰减假设，在线态表征由大脑神经网络的神经激活模式和突触联结模式共同进行信息维持，而其离线态记忆表征则神经激活模式消失，只留下突触模式。

但稿件对两种假设的描述不够详尽。比如衰减假设对 VWM 的两种表征的神经基础做了假设，巩固假设对此没有明确假设（但在讨论中似乎又借用了衰减假设的一些说法）。读者并不知道在巩固假设下，在线态和离线态的 VWM 表征是什么样子的，有什么特点。

但在稿件中，两种假设有一些混淆，或者是没有描述得很清楚。

在讨论部分，作者写道，“此外，这些研究结果将有助于我们进一步理解短时离线态记忆存储与长时记忆的关系。从视觉信息认知加工的神经层面来看，在记忆信息的维持阶段，如果突触之间形成稳固且长久的权重联结，则形成刺激信息的长时记忆。而当这些突触权重联结是暂时性的，并会很快被消除时，则形成短时离线态记忆。当前结果表明，记忆表征经由巩固加工过程，进而实现从在线态进入离线态进行短暂存储。”

本研究支持的是巩固假设，但从这段文字来看，似乎也不排斥衰减假说，即认可突触权重的暂时性链接形成了离线态 VWM。

总之吧，读起来有些乱。

回应：感谢审稿专家。当前研究主要探究工作记忆离线态表征如何生成，据此我们提出了巩固假设和衰减假设。这两个假设都认可离线态表征的维持机制是突触联结，但这两个假设的区别在于，当知觉刺激巩固进入工作记忆系统时，离线态表征模式和在线态表征模式是否同

步生成。巩固假设认为，记忆表征的在线态模式先生成，而后在任务需要的前提下在线记忆表征被转换到离线态进行存储，状态转换意味着记忆表征由大脑神经激活模式转变为突触模式；而衰减假设认为，记忆表征的在线态模式生成的同时离线态表征即已同步形成，状态转换意味着其神经激活模式消失，只留下突触模式。当前研究结果支持巩固假设。讨论部分关于离线态记忆与长时记忆的关系，两者的维持方式都被认为是突触模式，区别在于时程的长短。将记忆表征巩固进离线态无疑会训练和增强记忆的突触存储模式，这将有利于具有相同存储模式的长时记忆性能。为使文章条理清晰，已在前言部分做出相应修改。“1 前言”第三段处用蓝色字体标出。

**意见 2:** “首先，我们进行 2 (在线负荷 2 vs. 在线负荷 4) × 2 (在线态记忆成绩 vs. 离线态记忆成绩) × 2 (0.8 s vs. 1 s) 重复测量方差分析。结果表明，不同存储态的记忆成绩和在线态记忆负荷有显著的交互作用， $F(1, 29) = 45.259, p < 0.001, \eta^2_p = 0.609$ 。接着，我们分别对短间隔条件下和长间隔条件下的记忆成绩进行分析。”

1) 其他主效应和交互作用的结果是不是也大致报告一下？

**回应:** 接受审稿专家意见，实验 1 和 2 结果部分报告了其它主效应和交互作用的结果。

2) 方差分析时给每个因素起个名字是不是更好？现在只列出了每个因素的各个水平。

**回应:** 接受审稿专家意见。方差分析时给每个因素已命名。实验一，2 (在线负荷：2 vs. 4) × 2 (记忆成绩：在线态 vs. 离线态) × 2 (延迟间隔：0.8 s vs. 1 s)；实验二，2 (在线负荷：2 vs. 4) × 2 (记忆成绩：在线态 vs. 离线态) × 2 (呈现时间：0.2 s vs. 0.5s)。

3) 偏 eta 方的 p 应该是下标

**回应:** 感谢审稿专家提醒，已将文章中偏 eta 方的 p 下标。

**意见 3:** “0.8 秒的延迟间隔不足以（让）阵列 1 的记忆表征顺利完成从在线到离线的状态转换，”

**回应:** 感谢审稿专家的细致认真，已修改这句话的表达。并且全文通读，修改了其它语法问题。

**意见 4:** 参考文献格式，似乎没有太对齐。有的文献条目，甚至没有缩进。

**回应:** 感谢审稿专家提醒，已修改参考文献格式。

---

## 第二轮

**审稿人 1 意见:** 作者已回答了我的全部问题，修改比较完善，建议发表。

**审稿人 2 意见:** 稿件《视觉工作记忆离线态表征的生成机制》的修改版本基本回答了审稿人上次提出的问题。以下问题请作者思考或核实。

**意见 1:** 根据修改版，“据此可知，刺激信息的离线态表征会伴随在线态表征同步产生，且在在线态表征维持期间，与其同步变化。当该记忆表征与当前任务暂时无关时，其神经激活

模式消失，只留下突触模式，此时离线态记忆表征形成。”

1) 那么衰减假设下，离线态和在线态 VWM 是不是就是同一个表征？还是说是同一表征的两个 copy？（根据巩固假设，在线态 VWM 表征需要转换为离线态 VWM 表征。两者可以不是同一个表征。）

回应：感谢审稿专家。衰减假设和巩固假设一样，都认为在线态表征和离线态表征是以不同的存储模式对同一信息内容进行存储的表征。在衰减假设下，离线态表征是伴随在线态表征的产生而同步生成的副产品。在在线态表征没有消失前，如果有外界干扰导致在线态表征的内容发生变化，离线态表征的内容也会与其同步变化，此时离线态表征还处于非独立状态。当记忆表征由在线态转换到离线态时，其神经激活消失，只留下突触模式，此时独立稳定的离线态表征才真正形成。所以在衰减假设下，既不能说离线和在线是同一个表征，也不能说两者是一个表征的两个 copy（如果两个 copy 的意思是指相同的存储模式）。为使文章表述更清晰，文稿中相应部分已做修改（前言部分第三段蓝色字体标出）。

**意见 2：巩固假设里的巩固，到底巩固了什么？**

“这两个假设都认可离线态表征的维持机制是突触联结”。那么在线态变离线态的时候，到底巩固了什么呢？

回应：感谢审稿专家，记忆表征从在线转换到离线进行存储，意味着记忆表征由在线态存储系统巩固进入离线态存储系统，进而形成稳固的离线态表征。因此，在线态转换离线态巩固的是以离线模式进行维持的记忆表征。

**意见 3：空格请核实**

比如 Zhang 前后的空格

Zhang 等人(2022)通过调控离线态记忆存

本实验旨在验证 Zhang 等人(2022)

在这种情况下，对阵列 2 的编码加工将影响阵列 1（阵列 2 后的空格）

进入离线态存储的记忆项目有更好的长时记忆表现性能( McCabe, 2008; Rose et al., 2014)。左括号后的空格

回应：感谢审稿专家的细致认真，我已将文章中出现的非必要空格清除，并认真检查全文，修改存在的问题。

**意见 4：请核实 CI 格式**

95% CI = [1.062, 2.156]

APA 第 7 版的格式是

“ $d = 0.65, 95\% CI [0.35, 0.95]$ 。” 没有等号

回应：感谢审稿专家的细致认真。我已将 95% CI 后面的等号删除。

---

### 第三轮

**编委意见：**根据审稿专家的意见，建议发表。

**主编意见：**本论文对视觉工作记忆的在线态表征如何转换生成离线态表征进行了考察，并对两种可能的转换加工假设（即巩固假设和衰减假设）进行了检验。本论文的选题具有一定新颖性，研究框架清晰，数据分析过程科学规范。参考外审专家意见进行修改后，本论文已经达到《心理学报》发表文章的相关要求，建议发表。