

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：工作记忆表征精度加工需求对注意引导的影响

作者：车晓玮，王凯旋，徐慧云，张倩，李寿欣

第一轮

审稿人 1 意见：

本研究完成了两个相互关联的行为学实验和一个基于事件相关电位的脑电实验，通过操纵记忆探测任务的难度来试图操纵被试的工作记忆精度，以探究工作记忆精度与基于工作记忆的注意捕获的关系。虽然作者对于实验设计的陈述和对实验结果的呈现都较为清晰，但是研究整体对于工作记忆精度这一研究对象的操纵以及一些其他方面的实验设计的效度仍然值得商榷。

意见 1：操纵记忆探测任务中探测项之间的相似程度不一定能有效操纵记忆精度。

在三个实验中，作者都用了操纵两个记忆探测项的颜色在色环上角度的差异来试图操纵工作记忆的精度。然而，这一操纵却容易引入“语音编码”这一混淆变量。Christian N.L. Olivers 等人在一系列相关实验中，使用高相似程度的记忆探测项（Difficult Distinction, 见 C.N.L. Olivers, 2009, JEP HPP）来排除被试的语音编码。虽然作者使用了 verbal suppression 来抑制被试的语音编码，但是这一操作不可能保证完全消除被试的语音编码策略。所以关于记忆探测项相似程度的操作仍然有可能影响被试的语音编码水平。而不同水平的语音编码又可能会影响注意捕获效应的强度（见 C.N.L. Olivers et al., 2006, JEP HPP 的前两个实验）。当然，语音编码的混淆作用在未使用 verbal suppression 的实验三中可能更需值得考虑。另外，除了语音编码的混淆作用，本文中的三个实验都没法说明这一操纵与记忆精度是否真正存在关联。被试完全可以在两个情形下保持同样水平的记忆精度来完成实验。而记忆探测的任务的正确率可能受到（除了记忆精度以外的）很多因素的影响。所以，两个情形下记忆探测任务正确率的差异也不能说明作者对于记忆精度的操纵是有效的。然而可惜的是，即使应用了直接探测“精度”的范式，如在色环上的回忆任务（Zhang & Luck, 2008），虽然可能能在操作层面上证明两个情形下精度的差异，但是精度与注意捕获强度的关系仍然无法建立，因为操纵记忆探测项引入的混淆变量仍然无法被平衡。

回应：感谢审稿专家的意见！这里审稿专家主要提出两个问题：

第一，关于在实验中是否会混入“语音编码”这一问题。

我们在实验 1 和实验 2 中采用了发音抑制任务（对数字进行出声的复述），根据以往研究，发音抑制任务中，持续进行出声复述，能够占用语音回路，有效阻止对记忆项进行语音编码（Baddeley, 1986; Besner, Davies, & Daniels, 1981; Woodman & Luck, 2007）。尽管在 Olivers, Meijer 和 Theeuwes（2006）研究中发现，鼓励被试进行语音编码时，不产生注意捕获效应，而鼓励被试进行视觉编码时，产生注意捕获效应。但是，在我们的研究中（实验 1 和 2）未鼓励被试进行语音编码，并且进行了发音抑制任务，在实验过程中已对被试的语音编码进行了控制，结果发现，低精度加工需求条件下，并没有产生注意捕获效应，而高精度加工需求条件下，产生注意捕获效应。

在 Olivers（2009）研究中，比较了“发音抑制任务（数字复述）+不同类别的颜色检测任务”与“发音抑制任务+同一类别的颜色检测任务”，两种任务条件下工作记忆表征对注意捕

获的影响, 结果发现, 两任务条件下均产生注意捕获效应, 且没有差异。这说明, 进行发音抑制任务足以抑制语音编码, 产生注意捕获效应。而我们的研究发现, 在进行发音抑制任务时, 低工作记忆表征精度加工需求条件下, 没有产生基于工作记忆的注意捕获效应。后一条件下的结果与 Olivers 研究不一致的原因可能存在以下两方面: (1) 两项研究中记忆项消失到搜索项出现的时间间隔 (ISI) 不同。Olivers 研究中采用的 ISI 为 2400 ms, 而我们研究采用的 ISI 为 700 ms。有研究者提出, 在长 ISI 下, 被试可能对记忆项进行语音编码, 这促进了言语工作记忆表征与视觉搜索中干扰项的匹配, 使得干扰项捕获注意 (Soto & Humphreys, 2008)。(2) 两项研究的搜索任务难度不同。Olivers 研究中采用的搜索任务是要求被试从圆形中寻找菱形, 并判断菱形内字母为“M”还是“N”, 而我们研究中采用的搜索任务是要求被试从缺口为上下的方框中寻找缺口为水平的方框。相比较而言, Olivers 研究中的搜索任务更为困难, 需要消耗更多的认知资源, 导致对干扰项进行抑制的资源不足, 从而使得干扰项捕获注意。我们的研究中, 低工作记忆表征精度加工需求条件下消耗的资源较少, 且搜索任务的难度较低, 搜索目标时消耗的资源亦少, 被试有足够的资源用于抑制搜索任务中的干扰项, 因此, 未出现注意捕获效应, 并非是由于对记忆项进行了语音编码。

在实验 3 的脑电实验中, 为了减少脑电记录时进行发音复述造成的信号伪迹 (Goncharova, McFarland, Vaughan, & Wolpaw, 2003), 去掉了发音抑制任务, 这也是以往对这类问题进行 ERP 研究的传统做法 (Kumar, Soto, & Humphreys, 2009; Whitehead, Ooi, Egner, & Woldorff, 2019)。尽管没有对记忆项进行语音编码抑制, 但是, 以往研究发现, 在未鼓励被试对视觉呈现的记忆项进行语音编码, 且不进行发音抑制任务时, 与记忆项匹配的干扰项可以捕获注意 (Kiyonaga, Egner, & Soto, 2012)。另外, 我们增加了实验 3 中 N2pc 成分的始潜伏期 (onset latency) 的数据分析。N2pc 的始潜伏期反映了注意选择时间上的差异, 当注意选择的目标刺激强度较弱时, N2pc 的始潜伏期延迟 (Brisson, Robitaille, & Jolicoeur, 2007)。实验 3 发现, 在低精度加工需求条件下, 干扰项与记忆项匹配条件 N2pc 始潜伏期 ($M = 305$, 95%CI [289, 322], 单位: ms, 下同) 晚于干扰项与记忆项不匹配条件 ($M = 282$, 95%CI [258, 307], $p = 0.037$) 和基线条件 ($M = 280$, 95%CI [262, 298], $p = 0.042$); 在高精度加工需求条件下, 干扰项与记忆项匹配条件 N2pc 始潜伏期 ($M = 299$, 95%CI [281, 317]) 晚于干扰项与记忆项不匹配条件 ($M = 277$, 95%CI [255, 298], $p = 0.060$) 和基线条件 ($M = 280$, 95%CI [261, 299], $p = 0.029$)。这说明, 与高精度加工需求条件相同, 低精度加工需求条件下, 与不匹配干扰项相比, 匹配干扰项的出现, 减弱了目标的视觉刺激强度, 使得对目标进行注意选择的时间延迟。也从另一侧面说明, 在视觉搜索任务中, 高、低精度加工需求条件下, 视觉形式呈现的与记忆项匹配的干扰项同等程度影响了注意选择的时间进程, 并非在高、低精度加工需求条件下, 对记忆项进行了不同程度的语音编码, 从而影响注意捕获效应。见论文第 15 页第 4 段第 4~6 行、第 18 页第 2 段第 1~6 行, 第 19 页第 2 段第 1~4 行。

第二, 关于工作记忆表征精度操纵的问题。

我们同意审稿专家的意见。的确, 操纵记忆探测项有改变记忆精度有可能引入混淆变量。在我们的研究中, 目的是探讨工作记忆表征过程中工作记忆资源投入的多少对注意捕获的影响, 我们操纵检测项之间的相似程度, 目的是变化工作记忆表征精度的加工需求, 进而改变工作记忆表征过程中工作记忆资源的投入。因此, 我们将文中“工作记忆表征精度”这一提法改为“工作记忆表征精度加工需求”。

意见 2: 两个水平的操纵并不能引出“提高..., 使得...提高”的结论。

作者的主要结论之一为提高记忆精度可以使得基于工作记忆的注意捕获强度提高。然而, 实验中可能关于“精度”的操纵只有两个水平 (“高精度”和“低精度”), 这不足以支持记忆精度与捕获强度成正比的结论。因为这两个变量之间的关系并不一定是单调的、线性的关

系。作者需要增加操纵的水平来增加得出“正比”关系结论的信心，或是直接使用基于模型的方法探测记忆精度与捕获强度的单调线性关系是否成立。

回应：感谢审稿专家的意见！

在研究中我们对工作记忆表征精度的加工需求进行了操纵，探讨高、低精度加工需求下，工作记忆表征对注意捕获的影响，是一项因果研究，而非相关研究。由于我们对结论的表述不当，易使人产生误解，将论文的结论部分进行修改如下：

“与低工作记忆表征精度加工需求条件相比，高工作记忆表征精度加工需求下，工作记忆表征项目能捕获更多的注意”。见论文第 22 页第 5 段第 1~2 行。

意见 3：工作记忆精度是什么？

虽然工作记忆精度是本文探讨的重要对象，但是作者在文中并未对这一名词给出明确的定义和解释。若基于传统的 Item-based 理论，那么记忆的精度理论上甚至并不存在。不过，从操纵记忆探测项相似度的方法来看，作者可能意图使用记忆表征在色环上与真实刺激的角度差（的绝对值）来定义记忆精度。然而直接使用这一角度差表征记忆精度的效度存在问题。首先，记忆表征与刺激项的差异可能受到被试猜测的概率的影响。另外，从 resource-based 理论考虑，被试的表征实际上服从一个概率分布（通常考虑 Von Mises 分布，见 Zhang & Luck, 2008 等），实际的表征是从该分布中抽样得到的。所以，人为定义一个色环的角度差，或者说，表征的位置，来定义精度时，需要考虑被试的表征实际上是存在随机性的，即使被试的表征与真实刺激十分接近（如“高精度”情形下成功完成记忆探测任务），也不代表被试表征的分布就一定非常趋近于记忆刺激项。所以综合来看，如果考虑表征分布的随机性，直接通过色环角度差“定义”精度再“操纵”精度的方法都是非常粗糙的。当然，提高试次量可能会在整体效应（平均后得到的效应）上，一定程度上减少这一问题的影响。

回应：感谢审稿专家的意见！

在文中确实未对工作记忆精度概念进行明确的界定。审稿专家关注的是，工作记忆过程中，表征的实际精度如何，而我们并未对记忆精度进行测量，在这种情况下，使用高、低精度表征确实不合适。在我们的研究中，关注的是工作记忆表征加工过程中工作记忆资源的投入问题，因此，我们将文中“表征精度”这一变量改为“表征精度加工需求”，在文中对工作记忆表征精度概念进行了界定，对工作记忆表征精度加工需求与工作记忆资源投入的关系在文中进行了说明：

“工作记忆表征精度是指工作记忆表征的精确性，提高工作记忆表征精度的加工需求，需要在工作记忆表征过程中投入更多认知资源 (Bays & Husain, 2008; Machizawa, Goh, & Driver, 2012)”。见论文第 3 页第 1 段第 1~2 行。

意见 4：作者是否排除了记忆探测任务错误的试次？

若被试未成功完成记忆探测任务，对应试次出现的注意捕获效应则不能用记忆表征的影响来解释。所以在相关实验中，研究者通常会首先排除掉记忆探测任务错误的试次，之后再探讨搜索任务反应时的差异。我建议作者明确地报告分析中是否进行了相似的处理。

回应：感谢审稿专家的意见！

我们在实验中只分析了记忆任务和搜索任务均正确试次下的结果，在文中对删除工作记忆任务和视觉搜索任务反应错误的的数据比例进行了补充说明，修改如下：

“在分析视觉搜索任务反应时时，先删除工作记忆任务和视觉搜索任务反应错误的的数据（占总试次数 13.46%），再删除搜索任务中与记忆项相似的干扰项试次（占总试次数 3.59%），以及 $M \pm 2.5SD$ 之外的数据（占总试次数 1.91%）”，见论文第 6 页第 4 段第 1~3 行。

“在分析视觉搜索任务反应时时，先删除工作记忆任务和视觉搜索任务反应错误的的数据

(占总试次数23.22%),再删除搜索任务中与记忆项相似的干扰项试次(占总试次数4.86%),以及 $M \pm 2.5SD$ 之外的数据(占总试次数1.55%)”,见论文第11页第3段第1~3行。

“在分析视觉搜索任务反应时时,先删除工作记忆任务和视觉搜索任务反应错误的数据(占总试次数13.42%),再删除搜索任务中与记忆项相似的干扰项试次(占总试次数3.74%),以及 $M \pm 2.5SD$ 之外的数据(占总试次数1.53%)”,见论文第16页第2段第1~3行。

意见 5: 脑电实验(实验三)中行为学与脑电结果不符。

在实验三中,注意相关的脑电成分体现出的效应与实验一与实验二的行为学结果较为一致。然而,行为学结果却没有被成功重复。这可能是因为该实验的搜索任务反应要在搜索序列消失后出现。无论如何,在这种情况下,脑电的效应不宜直接还原为行为学层面的效应。

回应: 感谢审稿专家的意见!

在实验3中,为记录被试完成搜索任务过程的注意资源分配情况,分析记录搜索任务呈现期间的 EEG,要求被试在搜索序列消失后做按键反应。这样做的目的,一是排除在行为实验中按键后搜索序列消失带来的脑电变化,一是避免被试记录 EEG 期间做按键反应产生的动作电位,防止记录 EEG 时带来伪迹,使得记录的 EEG 更纯净。在搜索序列消失后,再要求被试做出按键反应,这时被试的搜索过程可能已经完成,是对搜索目标的朝向进行选择。而在行为实验1与2中,在搜索序列呈现过程中要求被试做出反应,反应速度反映的是对搜索目标快速搜索后并对开口朝向做出选择的过程。因此,实验3的反应时与实验1和2的反应时的意义有所不同。而在实验3中在搜索任务呈现过程中记录 EEG,这一过程反映了对目标的搜索和选择,与实验1和2的认知加工过程是一致的。因此,我们分析实验3的 ERP 结果,以进一步揭示行为实验结果的机制。

在实验3中选择 N2pc 这一脑电成分,该成分反映了不同条件下搜索任务呈现过程中对目标的注意分配,可以作为工作记忆表征捕获注意的 ERP 指标(Kumar, Soto, Humphreys, 2009)。结果发现,在高精度加工需求条件下,干扰项与记忆项匹配条件下的 N2pc 小于干扰项与记忆项不匹配条件;而在低精度加工需求条件下,干扰项与记忆项匹配/不匹配时的 N2pc 没有差异,这与实验1的反应时结果一致。

意见 6: 被试可能通过搜索任务中出现的记忆匹配的干扰项来帮助自己巩固记忆。

因为“高精度”情形下,被试完成记忆任务的难度更大,被试很有可能通过搜索任务中的干扰项来强化自己的记忆。这样在搜索任务中观察到的注意捕获强度仍然在“高精度”情形下会增大,但实际上是被试的一种主观策略。因为作者只进行了两种情形间的比较,所以这一混淆变量的影响不能被忽视。

回应: 感谢审稿专家的意见!

确如审稿专家所说,在“高精度”情形下,被试完成记忆任务的难度更大,被试有可能通过搜索任务中的干扰项来强化自己的记忆。我们在实验材料中没有写清楚的是,搜索任务中,干扰项的颜色随机取自记忆项和记忆检测项的颜色(已在文中添加说明,见论文第4页第4段第4~5行)。当搜索任务的干扰项与记忆检测项中非记忆项的颜色一致时,被试利用干扰项的颜色进行记忆判断反而会造成错误。另外,通过对实验结果的进一步分析,排除了这种可能性。首先,我们对高精度加工需求条件下,记忆项与干扰项颜色相似和相同试次的搜索任务成绩进行分析,结果是,高精度加工需求条件下,记忆项与干扰项颜色相似时搜索任务反应时($M = 844, 95\%CI [662, 1026]$) ms 和记忆项与干扰项颜色相同时搜索任务反应时($M = 850, 95\%CI [685, 1014]$) ms 没有差异, $t(18) = 0.22, p > 0.05$; 而且,记忆项与干扰项颜色相似时记忆任务正确率($M = 0.83, 95\%CI [0.76, 0.90]$)与记忆项与干扰项颜色相同时记忆任务正确率($M = 0.88, 95\%CI [0.85, 0.92]$)也没有差异, $t(18) = 1.51, p > 0.05$, 且高于

随机水平 (0.5), $t(18) = 10.43$, $p < 0.001$ 。这说明在高精度加工需求条件下, 被试并没有利用搜索项目中的干扰项来帮助记忆。已在文中增加这部分结果, 见论文第 6 页第 2 段第 1~7 行, 第 8 页第 1 段第 2~4 行, 第 10 页第 2 段第 1~6 行, 第 15 页第 6 段第 1~6 行。

第二, 如果被试采用主观策略, 在搜索任务中对匹配干扰项进行更多注意, 那么, 在匹配条件下, 搜索任务的反应时长的试次中, 记忆任务的正确率会高于搜索任务反应时短的试次。我们对高精度加工需求且干扰项与记忆项匹配条件下, 搜索任务的反应时依据中值进行分组, 结果是, 搜索任务反应时长的试次中, 记忆任务的正确率 ($M = 0.86$, 95%CI [0.83, 0.90]) 和搜索任务反应时短的试次中记忆任务的正确率 ($M = 0.85$, 95%CI [0.80, 0.91]) 没有差异, $t(18) = 0.53$, $p > 0.05$ 。

意见 7: 实验三的注意捕获可能来源于被试主观的策略

实验三中为了探测 N2pc 成分, 目标项与干扰项始终处于屏幕的异侧。然而, 这使得被试可以通过主动地注意干扰项来帮助自己找到目标项。这一策略的引入使得实验三中的效应不一定与实验一与实验二中的效应来源相同。

回应: 感谢审稿专家的意见!

确如审稿专家所说, 被试在实验过程中可能采取策略以促进对目标的搜索。但是, 从实验 3 的 N2pc 结果来看, 并不支持这种推论。N2pc 反映了任务过程中对目标的注意资源投入 (Berggren & Eimer, 2018; Luck & Hillyard, 1994), 如果被试采用策略主动注意突显干扰项, 突显干扰项会先获得注意, 使得目标项获取的注意资源减少, 那么在干扰项与记忆项不匹配条件下, 目标项诱发的 N2pc, 应该小于基线条件 (即无突显干扰项条件)。然而, 实验 3 的结果表明, 干扰项与记忆项不匹配条件下的 N2pc ($M = -1.10 \mu\text{V}$, 95%CI [-1.64, -0.55]) 与基线条件 ($M = -1.33 \mu\text{V}$, 95%CI [-2.08, -0.58]) 没有差异, $p > 0.05$, 这说明被试并没有对突显的不匹配干扰项投入比基线条件更多的注意。

意见 8: 两个刺激项都能引启捕获就支持多模板假设吗?

作者认为实验二二中在“高精度”情形下, 被线索提示到的项目和没有提示到的项目都显著地启动了注意捕获, 所以这说明在这种情形下, 被试的注意可以由多个不同记忆项引导, 即存在多个“模板” (多模板假设)。然而这种逻辑并不一定成立。多模板假设和单模板假设都认为记忆匹配的干扰项能更多地捕获注意。而且值得注意的是, 单模板假设并没有强调在记忆项数量大于一时, 捕获就一定完全不会出现。甚至, 在单模板假设下, 在记忆项数量大于一时, 捕获强度不一定要弱于记忆项唯一时的情形。因为不同项目可以交替地分享“模板” (或“focus of attention”) 的地位, 这样两个项目的表征就都有可能引启注意捕获。不过这两个假设的区别在于, 对于单一试次而言, 若同时存在两个记忆匹配的搜索项, 则若存在两个模板, 则这两个搜索项都会有捕获注意的可能。但是, 若只存在一个模板, 则只有一个搜索项能捕获注意。所以解决这个问题一个可能的方法是将一个搜索项作为干扰项, 另一个作为目标项, 这样若存在两个模板, 则两个项目引启的捕获效应就会被抵消掉。若只有一个模板, 则每个试次就只有一个项目能捕获注意。这样整体上看, 两个假设预测的反应时的分布是不同的 (见 C. Zhou, M. Lorist, & S. Mathot, 2020, APP)。

回应: 感谢审稿专家的意见!

确如审稿专家所说, 两个刺激项都能捕获注意, 并不能支持多模板假设, 因为不同项目可以交替地分享“模板”的地位”。对此, 我们对论文进行了修改, 由于我们探讨的主要问题是工作记忆表征加工过程资源投入对注意引导的影响, 因此, 删除了讨论中关于单模板和多模板假设的有关内容。对讨论部分进行了修改:

“工作记忆表征过程中工作记忆资源的占用和随后完成搜索任务时对于干扰项抑制的平

衡性，可能是造成工作记忆表征是否引导注意产生争议的原因。在注意捕获范式下，当工作记忆表征过程中，工作记忆资源占用较少，完成搜索任务时对于干扰项抑制较容易时，工作记忆表征难以引导注意；当工作记忆表征过程中工作记忆资源较多占用，完成搜索任务时对于干扰项抑制较困难时，工作记忆表征容易引导注意”，见论文第 22 页第 4 段第 1~5 行。

意见 9：研究背景的叙述可能存在争议

作者在第一段提到“但是，并非所有的工作记忆表征都能引导注意，与当前任务无关、处于执行加工焦点以外的信息往往不能引导注意”，这一结论目前存在着较大争议（见 Bahle 等, 2018, JEP HPP）。实际上，本研究实验二的结果也不支持这一结论。另一方面，工作记忆对注意选择的影响可能是两方面的（见 Bahle 等, 2018, JEP HPP）。一方面是被试被动地被记忆匹配的干扰项捕获注意，另一方面是被试主动地利用记忆表征引导注意。当前研究的任务只能研究前者，即被动的效应。建议作者在文中说明这一问题。

综上，作者仍需在实验操纵的逻辑上，尤其是对记忆精度的操纵上，即第 1、2、3、6 点，对当前研究进行较大幅度的完善。

回应：感谢审稿专家的意见！

对前言中相关内容进行了如下修改：

“当工作记忆表征与随后视觉搜索任务中的目标项匹配时，工作记忆中存储的视觉表征，能够在随后的视觉加工任务出现之前激活感觉神经元，从而使得与该表征匹配的刺激获得竞争优势，产生基于工作记忆的注意引导（Desimone & Duncan, 1995; Downing, 2000）。然而，当工作记忆表征与随后视觉搜索任务中的干扰项匹配时，工作记忆表征能否引导注意？尚存争议。”，见论文第 1 页第 1 段第 4~8 行。

参考文献

- Baddeley, A. D. (1986). Working memory. Oxford, England: Clarendon.
- Bays, P. M., & Husain, M. (2008). Dynamic shifts of limited working memory resources in human vision. *Science*, 321(5890), 851–854.
- Berggren, N., & Eimer, M. (2018). Visual working memory load disrupts template-guided attentional selection during visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 30(12), 1902–1915.
- Besner, D., Davies, J., & Daniels, S. (1981). Reading for meaning: The effects of concurrent articulation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 33A, 415–437.
- Brisson, B., Robitaille, N., & Jolicœur, P. (2007). Stimulus intensity affects the latency but not the amplitude of the N2pc. *Neuroreport*, 18(15), 1627–1630.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18(1), 193–222.
- Downing, P., & E. (2000). Interactions between visual working memory and selective attention. *Psychological Science*, 11(6), 467–473.
- Goncharova, I. I., McFarland, D. J., Vaughan, T. M., & Wolpaw, J. R. (2003). EMG contamination of EEG: spectral and topographical characteristics. *Clinical Neurophysiology*, 114(9), 1580–1593.
- Kiyonaga, A., Egner, T., & Soto, D. (2012). Cognitive control over working memory biases of selection. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19(4), 639–646.
- Kumar, S., Soto, D., & Humphreys, G. W. (2009). Electrophysiological evidence for attentional guidance by the contents of working memory. *European Journal of Neuroscience*, 30(2), 307–317.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(5), 1000–1014.
- Machizawa, M. G., Goh, C. C., & Driver, J. (2012). Human visual short-term memory precision can be varied at will when the number of retained items is low. *Psychological Science*, 23(6), 554–559.
- Olivers, C. N. (2009). What drives memory-driven attentional capture? The effects of memory type, display type, and search type. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(5), 1275–1291.
- Olivers, C. N., Meijer, F., & Theeuwes, J. (2006). Feature-based memory-driven attentional capture: visual working memory content affects visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(5), 1243–1265.
- Soto, D., & Humphreys, G. W. (2008). Stressing the mind: The effect of cognitive load and articulatory suppression on attentional guidance from working memory. *Perception & Psychophysics*, 70(5), 924–934.

- Whitehead, P. S., Ooi, M. M., Egner, T., & Woldorff, M. G. (2019). Neural dynamics of cognitive control over working memory capture of attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 31(7), 1079–1090.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2007). Do the contents of visual working memory automatically influence attentional selection during visual search?. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(2), 363–377.
-

审稿人 2 意见:

该研究关注“工作记忆表征引导注意”这一重要问题，从表征精度的角度出发，探讨了工作记忆表征精度对注意引导的影响。实验采用双任务范式，在记忆任务的保持阶段插入视觉任务，通过检测项的差异大小来操控被试的记忆表征精度，以注意捕获效应为主要行为指标，发现高精度的工作记忆表征对注意的引导效应相对低精度表征更强（实验一）；高精度条件下，高、低激活态的工作记忆表征都引导注意，低精度条件下只有高激活态的工作记忆表征可以引导注意（实验二）；此外，该研究以 NSW、N2 和 N2pc 为指标，发现高精度工作记忆表征增加认知资源的消耗，使得干扰项捕获的注意增加，而搜索目标获得的资源减少（实验三）。该研究主题相对明确，写作规范，但是也存在一些问题，详列如下：

意见 1: 研究动机不强。P2 最后一段，作者仅仅罗列了三项研究，其中涉及了表征精度和激活状态这两个因素，随后作者提出研究问题，“工作记忆表征精度是否影响搜索任务的注意引导？……是否与工作记忆表征的激活状态有关？”从作者的论述中，很难看出研究间是否真的存在矛盾，为何要同时考虑精度与激活状态两个问题？

回应: 感谢审稿专家的意见！

根据审稿专家的意见，我们对论文前言部分的逻辑进行了修改：

第 1 段论述工作记忆和注意的关系，并提出当前该领域存在的争议：当工作记忆表征与随后视觉搜索任务中的干扰项匹配时，工作记忆表征能否引导注意？第 2 段论证“当工作记忆表征与视觉搜索任务的干扰项匹配时，不能引导注意”的相关研究；第 3 段论证“当工作记忆表征与视觉搜索任务的干扰项匹配时，可以引导注意”的相关研究；第 4 段分析造成争议的原因，并提出研究问题：工作记忆表征过程中资源的投入是否影响工作记忆表征对注意的引导？第 5 段论述研究设计和研究假设。

对于问题提出部分具体修改如下：

“上述两类研究的主要不同在于记忆项与检测项之间区分的难易程度，当记忆项与检测项差异较大，容易区分时，工作记忆表征不引导注意；当记忆项与检测项差异较小，难以区分时，工作记忆表征能够引导注意。检测项与记忆项区分的难易程度影响工作记忆表征过程中资源的投入（Zhang & Luck, 2011），当记忆项与检测项容易区分时，对工作记忆的表征投入较少资源即可完工作记忆或检测任务；反之，当记忆项与检测项难以区分时，需要对工作记忆表征投入较多资源，才能完成检测任务。工作记忆资源投入的多少既可能影响注意模板的建立，也可能影响视觉搜索任务中对干扰项的抑制。有研究发现，与工作记忆项目仅用于记忆检测任务相比，当工作记忆项目作为搜索任务的目标项呈现时，需要投入更多的资源用于建立注意模板，从而引导注意（Gunseli, Meeter, & Olivers, 2014; van Driel, Gunseli, Meeter & Olivers, 2017）；并且，当两个记忆项目同时呈现时，获取较少工作记忆资源的记忆项不能引导注意（Kerzel & Witzel, 2019）。另外，在视觉搜索任务中，存在对匹配干扰项的主动控制，而这种认知控制受到投入认知资源多少的影响，当资源充足时，认知控制更易发挥作用，对搜索任务中干扰项的抑制也更为有效（Dube, Basciano, Emrich, & Al-Aidroos, 2016; Wen, Hou, & Li, 2018）。”见论文第 2 页第 3 段第 1~13 行。

另外，在实验 2 中探讨工作记忆表征的激活状态和工作记忆表征精度加工需求对注意引导的影响，主要想解决的问题是，工作记忆表征精度加工需求对注意引导的影响是否是由于

改变了工作记忆表征的激活状态,并非是因为以往研究中表征精度和激活状态对注意引导的影响存在矛盾。

意见 2: 作者对于对部分关键文献的理解有偏差。例如 Hollingworth 和 Hwang (2013) 发现当干扰子与非线索化项目匹配 (uncued singleton) 时,并非“不产生注意捕获效应”,而是这个效应与无干扰子 (no-match singleton) 的捕获效应没有显著差异,进而指出 uncued singleton 不引导注意;此研究无意也无法“表明工作记忆表征精度不影响注意引导”,原文中与此相关的结果是:即使保持的是高精度的表征,非线索化的项目也无法引导注意。

回应: 感谢审稿专家的意见!

确如审稿专家所言,我们对 Hollingworth 和 Hwang (2013) 研究结论的表述不全面。在新修改论文的前言中,我们主要围绕工作记忆表征过程中的资源投入展开论证,使用的是工作记忆表征精度的加工需求这一变量,而不是工作记忆表征精度本身,所以没再引用该文献。感谢审稿专家的提醒!我们对论文中引用的其他文献也进行了逐一核实。

意见 3: 实验一中的部分结果的解释需要进一步考虑。(1) 低精度条件下,匹配项与非匹配项的注意捕获效应量没有显著差异,这个结果是否与前人结果矛盾,需要解释。(2) 作者认为高精度条件下干扰效应更强的原因是高精度表征消耗的注意资源更多,对干扰子的抑制能力更差,如果解释成立,那么对于不匹配的干扰子,高精度条件的注意捕获效应也应该大于低精度条件。换言之,为什么高精度表征消耗更多资源后,只对与工作记忆匹配的干扰子的抑制能力变差,而对普通干扰子的抑制能力不变。现在的逻辑似乎无法解释。(3) 作者认为低精度条件下,“匹配与不匹配的干扰项均得到有效抑制”,然而只要注意捕获效应存在,即注意捕获效应量显著大于零,难以以下结论讲干扰子被“有效抑制”。

回应: 感谢审稿专家的意见!

(1) 在实验 1 中,低精度加工需求条件下,匹配项与非匹配项的注意捕获效应量没有显著差异,这与 Woodman 和 Luck (2007) 结果一致,而与 Olivers (2009) 结果不一致。与 Olivers 研究不一致的原因可能有两方面:(1) 两项研究中记忆项消失到搜索项出现的时间间隔 (ISI) 不同。Olivers 研究中采用的 ISI 为 2400ms,而实验 1 采用的 ISI 为 700ms。有研究者提出,在长 ISI 下,被试可能对记忆项进行语音编码,这促进了言语工作记忆表征与视觉搜索中干扰项的匹配,使得干扰项捕获注意 (Soto & Humphreys, 2008)。(2) 两项研究的搜索任务难度不同。Olivers 研究中采用的搜索任务是要求被试从圆形中寻找菱形,并判断菱形内字母为“M”还是“N”,而实验 1 采用的搜索任务是要求被试从缺口为上下的方框中寻找缺口为水平的方框。相比较而言,Olivers 研究中的搜索任务更为困难,需要消耗更多的认知资源,导致对干扰项进行抑制的资源不足,从而使得干扰项捕获注意。而我们的研究中,低精度加工需求条件下消耗的资源较少,且搜索任务的难度较低,搜索目标时消耗的资源亦少,被试有足够的资源用于抑制搜索任务中的干扰项,因此,未出现注意捕获效应。已在文中进行补充,见论文第 8 页第 2 段第 4~13 行。

(2) 在实验中,我们采用干扰项与记忆项匹配/不匹配条件下搜索任务反应时减去基线条件下搜索任务反应时的差值,作为注意捕获效应量,反映干扰项对搜索任务的影响。对与工作记忆匹配和不匹配的干扰项产生的注意捕获效应进行分析时,是相对于基线条件的干扰效应来说的。当提高工作记忆表征的精度加工需求时,消耗更多认知资源,对所有干扰项的抑制均受到削弱,即不仅在不匹配条件下,对干扰项的抑制降低,搜索反应时延长;在基线条件下,对干扰项的抑制也降低,搜索反应时延长。因此,不匹配条件和基线条件下完成搜索任务的反应时差值没有变化,表现为在高、低工作记忆表征精度加工需求条件下,与工作记忆不匹配的干扰项,产生的注意捕获效应没有差异。

(3) 我们同意审稿专家意见，将文中内容修改为：

“在低精度加工需求条件下，认知资源充足，被试能够依据工作记忆表征抑制匹配干扰项的加工，使得匹配干扰项和不匹配干扰项均产生更多刺激驱动的注意捕获，而较少产生基于工作记忆的注意捕获”，见论文第 8 页第 3 段第 7~9 行。

意见 4：实验三 N2 的选择与分析无意义。尽管 N2 可以用于反映冲突监测和认知控制，但是此处 N2 在搜索项呈现后出现的脑电成分，难以确定该成分是否是真正反映了冲突监测和认知控制，更何况在基线条件下根本无该潜在认知过程。此外，作者发现的 N2 结果实质上可能属于匹配条件下 ERP 成分幅值的总体提高（从 0ms 就开始出现）。

回应：感谢审稿专家的意见！

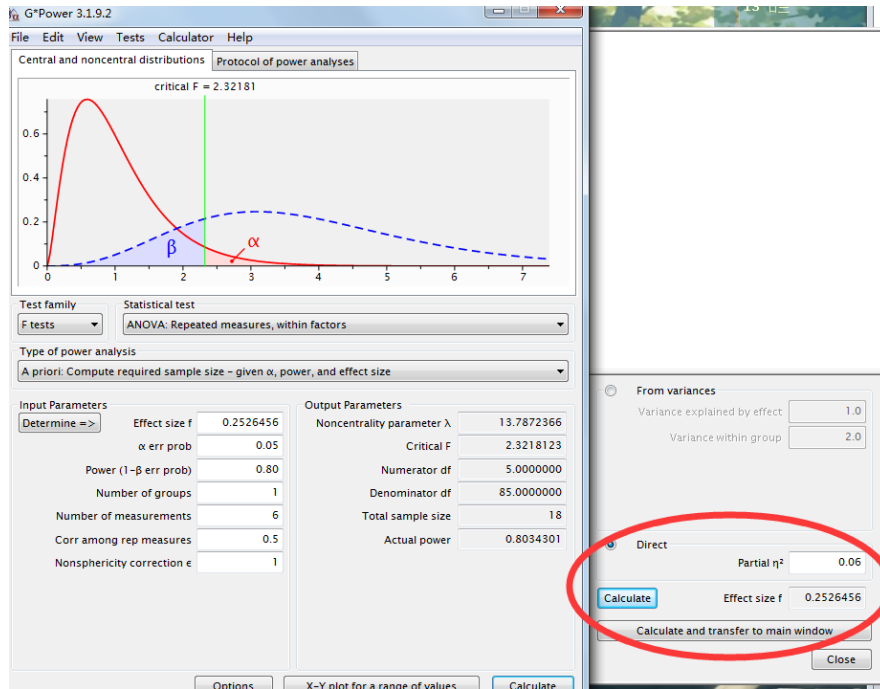
根据以往研究，在视觉搜索任务中，N2 可以用于反映冲突监测和认知控制（Eimer, Kiss, Press, & Sauter, 2009; Luck & Hillyard, 1994）。在搜索任务中，尽管只有一个目标，其他项目属于干扰项，在搜索目标时，目标项与干扰项之间会产生冲突，因而诱发 N2。即使在基线条件下，完成搜索任务依然需要从干扰项中寻找目标项，干扰项的存在会造成认知冲突，并需要进行认知控制。在本研究中通过分析 N2，说明在搜索任务中投入干扰项抑制的资源多少，进一步说明高、低工作记忆表征精度加工需求条件下，对完成搜索任务的资源分配情况。关于审稿专家提出的“匹配条件下从 0ms 开始出现的 ERP 幅值的总体提高”这一问题，这可能与我们在 ERP 成分分析时选取的基线时间过长有关。参照以往研究（Berggren & Eimer, 2018），我们将 N2 分析的基线改为搜索项呈现前的 100ms，对数据进行重新分析，结果显示，在高精度加工需求条件下，匹配条件下 ERP 成分幅值未出现总体提高现象，见论文第 17 页图 8。

意见 5：采用 priori 的方式计算被试量应该在收集数据之前进行，而非做完实验后（如果的确是这么做的，建议把被试量的计算描述置于真正实验被试量的描述之前）。此外，笔者根据作者提供的数据进行了被试量的计算，跟作者提供的被试量对不上，请确认计算是否正确。

回应：感谢审稿专家的意见！

在实验过程中，我们确实是先计算被试样本量再收集数据，已经根据审稿专家的意见，将被试样本量的计算描述置于真正实验被试量的描述之前，见论文第 3 页第 3 段第 1~2 行，第 9 页第 3 段第 1~2 行，第 13 页第 5 段第 1~2 行。

另外，对于审稿专家提出的计算的被试量对不上的问题，我们考虑可能是由于我们之前采用的中等程度的效应量指标为 $\eta_p^2 = 0.06$ ，我们将这一指标在 G*Power 3.1 软件中，转换为 f 值是 0.2526456（见下图），从而计算出样本量为 18。而若根据 Cohen（1992）提出的中等程度的效应量指标 $f = 0.25$ ，则计算出样本量为 19。依据 Cohen（1992）的研究，我们将实验 1 和实验 2 依据的中等程度效应量指标改为 $f = 0.25$ ，根据新计算出的样本量，实验 1 新增 1 名被试，以保证足够的样本量，而实验 2 的被试量未发生变化。



意见 6: 实验二讨论部分: “低精度条件下,工作记忆表征的激活状态影响注意捕获;高精度条件下,与工作记忆表征匹配的干扰项对注意的捕获不受表征的激活状态影响” 这些解释只是换了一种方式在描述结果, 理论性不足。

回应: 感谢审稿专家的意见!

我们对实验 2 的讨论部分进行如下修改:

“对视觉搜索任务结果分析发现, 在低精度加工需求条件下, 与高激活项目匹配的干扰项捕获注意的效应量大于与低激活项目匹配的干扰项, 这与 van Moorselaar 等人 (2014) 采用线索化范式和变化觉察任务, 探讨表征状态对注意引导的影响, 所得结果一致; 然而, 在高精度加工需求条件下, 高、低激活项目匹配的干扰项捕获注意的效应量没有差异, 这与 van Moorselaar 等人 (2014) 的结果不一致, 而与 Dube 和 Al-Aidroos (2019) 采用线索化范式和连续报告任务, 探讨工作记忆表征优先性对注意引导的影响, 所得结果一致。有研究者认为 (Zhang & Luck, 2011), 与变化觉察任务相比, 连续报告任务对工作记忆表征精度的加工要求更高, 这说明以往研究中探讨工作记忆表征的激活状态对注意引导的影响, 得到不一致结果, 可能与工作记忆表征精度加工需求没有得到控制有关。提高工作记忆表征的精度加工需求, 会增加工作记忆资源的消耗 (Bays & Husain, 2008; Machizawa et al., 2012), 用于认知控制的资源减少, 因此, 与不同激活状态记忆项匹配的干扰项均会捕获注意”, 见论文第 13 页第 2 段第 1-10 行。

意见 7: P4 作者没有报告其采用的 CIElab 色环的具体参数 (L、a、b 的值), 以及共选取了多少种颜色组成了色环。作者是否检查过其采用的色环与图 1 是否完全一致? 流程图中的实例颜色似乎与图 1 不相符。

回应: 感谢审稿专家的意见!

实验中采用的 CIElab 色环参照 Zhang & Luck (2008) 的设计, 其具体参数为, L=70, a=20, b=38, 共选取 180 种颜色组成色环。已在文中进行了补充说明, 见论文第 4 页第 3 段第 2 行。

实验过程中使用的颜色与图 1 的色环一致, 但是在制作流程图时并未采用实验中的颜

色，我们在图 1 中增加了实验使用的部分颜色的示例，并依据实验使用的颜色重新做了实验流程图，见论文第 4 页图 1，第 5 页图 2，第 10 页图 4，第 14 页图 6。

意见 8: P5 搜索任务和记忆任务的按键相同，可能导致互相干扰。

回应: 感谢审稿专家的意见！

我们参照以往的研究（Hollingworth & Beck, 2016; Bahle, Beck, & Hollingworth, 2018），对于任务的按键进行设定。尽管两任务采用了相同的按键，但我们对于按键赋予的含义一致，如在搜索任务中，“1”键表示缺口朝左；在记忆任务中，“1”键表示记忆项位于左侧，因此，两任务下对“1”键的含义均为“左”，不会造成不同任务间按键相同造成的干扰。

意见 9: P6 第一段，一些文字表述不精确不专业，类似问题存在多处：例如 1：“对表 1 数据进行……分析”应该表述为“对实验一数据……”，表中的数据是描述统计的结果；例如 2：“2 工作记忆表征精度×3 记忆项匹配情况”应该写作“2(工作记忆表征精度:高、低)×3（干扰项与记忆项匹配情况：匹配、不匹配）”

回应: 感谢审稿专家的意见！

我们对论文相应的部分进行了修改，见论文第 5 页第 3 段第 1 行，第 6 页第 3 段第 1~2 行，第 6 页第 4 段第 3~4 行，第 7 页第 2 段第 2~3 行，第 10 页第 1 段第 1~2 行，第 11 页第 1 段第 1~2 行，第 11 页第 2 段第 1~2 行，第 11 页第 3 段第 3~4 行，第 12 页第 2 段第 1~2 行，第 15 页第 5 段第 1~2 行，第 16 页第 1 段第 1~2 行，第 16 页第 2 段第 3~4 行，第 17 页第 1 段第 1~2 行，第 18 页第 1 段第 1 行，第 18 页第 2 段第 1~2 行。

意见 10: 一些结果报告不完整：所有记忆任务都没有报告交互作用，实验二报告了记忆任务的反应时而实验一、三没有。

回应: 感谢审稿专家的意见！

因记忆任务交互作用不显著，因此在文中没有报告。为了保证实验结果报告的完整性，我们对论文中结果部分进行了修改，添加了相应数据分析报告，见论文第 6 页第 1 段第 3~4 行、第 10 页第 1 段第 6 行、第 15 页第 5 段第 4 行。

对于实验二的结果中，报告记忆任务的反应时是为了分析高优先项目的记忆检测反应是否快于低优先项目，以说明实验 2 中对表征激活状态的操纵有效。由于实验 1、3 中并不涉及表征激活状态的问题，所以在实验 1 和 3 中未报告记忆任务的反应时。

参考文献

- Bahle, B., Beck, V. M., & Hollingworth, A. (2018). The architecture of interaction between visual working memory and visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 44(7), 992–1011.
- Bays, P. M., & Husain, M. (2008). Dynamic shifts of limited working memory resources in human vision. *Science*, 321(5890), 851–854.
- Berggren, N., & Eimer, M. (2018). Visual working memory load disrupts template-guided attentional selection during visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 30(12), 1902–1915.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychology Bulletin*, 112 (1), 155–159.
- Dube, B., Basciano, A., Emrich, S. M., & Al-Aidroos, N. (2016). Visual working memory simultaneously guides facilitation and inhibition during visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 78(5), 1232–1244.
- Dube, B., & Al-Aidroos, N. (2019). Distinct prioritization of visual working memory representations for search and for recall. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 81(5), 1253–1261.
- Eimer, M., Kiss, M., Press, C., & Sauter, D. (2009). The roles of feature-specific task set and bottom-up salience in attentional capture: an ERP study. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(5), 1316–1328.
- Gunseli, E., Meeter, M., & Olivers, C. N. L. (2014). Is a search template an ordinary working memory? Comparing electrophysiological markers of working memory maintenance for visual search and recognition. *Neuropsychologia*, 60, 29–38.
- Hollingworth, A., & Beck, V. M. (2016). Memory-based attention capture when multiple items are maintained in

- visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(7), 911–917.
- Hollingworth, A., & Hwang, S. (2013). The relationship between visual working memory and attention: Retention of precise colour information in the absence of effects on perceptual selection. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1628), 1–8.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(5), 1000–1014.
- Machizawa, M. G., Goh, C. C., & Driver, J. (2012). Human visual short-term memory precision can be varied at will when the number of retained items is low. *Psychological Science*, 23(6), 554–559.
- Kerzel, D., & Witzel, C. (2019). The allocation of resources in visual working memory and multiple attentional templates. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 45(5), 645–658.
- Olivers, C. N. (2009). What drives memory-driven attentional capture? The effects of memory type, display type, and search type. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(5), 1275–1291.
- Soto, D., & Humphreys, G. W. (2008). Stressing the mind: The effect of cognitive load and articulatory suppression on attentional guidance from working memory. *Perception & Psychophysics*, 70(5), 924–934.
- van Driel, J., Gunseli, E., Meeter, M., & Olivers, C. N. (2017). Local and interregional alpha EEG dynamics dissociate between memory for search and memory for recognition. *NeuroImage*, 149, 114–128.
- van Moorselaar, D., Theeuwes, J., & Olivers, C. N. L. (2014). In competition for the attentional template: Can multiple items within visual working memory guide attention? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(4), 1450–1464.
- Wen, W., Hou, Y., & Li, S. (2018). Memory guidance in distractor suppression is governed by the availability of cognitive control. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 80(5), 1157–1168.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2007). Do the contents of visual working memory automatically influence attentional selection during visual search?. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(2), 363–377.
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2008). Discrete fixed-resolution representations in visual working memory. *Nature*, 453(7192), 233–235.
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2011). The number and quality of representations in working memory. *Psychological Science*, 22(11), 1434–1441.

第二轮

审稿人 1 意见：

作者在更新的论文中添加了很多新的结果和对结果的讨论，并且将操纵对象由“工作记忆精度”改为了“工作记忆精度加工需求”。这些改动确实很好第回应了一些之前提出的建议。但是依然存在几个关键的问题需要进一步讨论和修改。

意见 1：语音编码潜在的混淆效应依然无法排除

作者认为使用 *articulatory suppression* 足以完全抑制语音编码，从而排除在两种条件下语音编码的不同强度的干扰效应。然而，我认为首先这一操作不足以消除被试的语音编码的策略，可参考 Souza & Skórá (2017)。该研究中，在使用 *articulatory suppression* 的条件下，模型拟合的结果表示依旧存在着很高程度的类别编码。另外，作者在回复中引用了 Olivers (2009) 中关于语音编码的实验来辅证他们的观点。然而，该实验发现使用 *articulatory suppression* 与否对注意捕获效应的强度没有显著影响，就说明发音抑制任务足以抑制语音编码吗？我认为这一逻辑并不成立，因为注意捕获效应的存在并不等价于语音编码的消失，注意捕获效应的强度也不与语音编码的强度一一对应。因此，后续讨论本研究结果与 Olivers (2009) 的结果的不一致的可能来源也并不能对排除语音编码的干扰有任何贡献，因为捕获效应与语音编码本就是两个不同的概念。

对于脑电实验，作者提出过往的相关脑电研究都未采用 *articulatory suppression* 来抑制语音编码，而其中却有一些研究发现了显著的注意捕获效应。但是，我并没有理解作者提出的这一事实与语音编码强度在本研究中潜在的混淆作用有何关联。首先，在没有抑制语音编

码时出现了显著的捕获效应并不能说明语音编码的强度对捕获效应没有影响。另外，过往的研究并没有进行两种记忆探测任务难度的条件间的比较，所以语音编码强度并不存在混淆的作用。作者在更新的论文中，还增加了对始潜伏期的分析结果的呈现。但是，为何这一结果能排除语音编码强度的影响呢？我依然无法理解。如果按作者所叙述，将 N2pc 成分的始潜伏期看作是项目“刺激强度”的指标，那么搜索任务中匹配非匹配干扰项的始潜伏期差异就只是另一种工作记忆驱动的注意捕获强度的指标而已，与产生捕获效应差异的来源并无关系。

诚然，使用双任务范式来研究基于工作记忆的注意捕获时，是很难避免语音编码的引入的。但是，在本研究中，之所以排除语音编码的干扰很关键，是因为作者的主要效应来源于两种记忆探测任务难度条件间的比较，而过往任务中这种操作实际上恰恰是为了操纵语音编码的强度（即 *Difficult Distinction*，当两个记忆探测项颜色很接近时，被试用语言来区分不同颜色的难度比较大，见 *Olivers, Meijer, & Theeuwes, 2006; Olivers, 2009* 等）。所以本研究的假设相当于，过往研究中使用 *difficult distinction* 使得基于工作记忆的注意捕获强度提高的结果并非来源于对于语音编码强度的抑制，而来源于工作记忆精度（“加工需求”？）的提高。我认为这一假设本身很有趣，但是可惜的是，本研究并不能为验证此假设提供任何贡献，因为研究无法分离语音编码和记忆精度的影响。作者可以考虑在现有的范式基础上增添一个“促编码（*Pro-labeling*）”的条件，即有一个条件鼓励被试进行语音编码，如在每个试次必须用语音报告出记忆项的颜色（见 *Souza & Skóra, 2017*），来比较语音编码强度的变化是不是能影响捕获效应，以及在两种语音编码强度下高低精度加工需求的效应的强度是不是相同。

回应：感谢审稿专家的意见！根据审稿专家提出的建设性意见，即“在现有的范式基础上增添一个‘促编码（*Pro-labeling*）’的条件”，对实验 1 进行了修改。在实验 1 中我们参照 *Souza & Skóra (2017)* 的研究，增加了促进语音编码条件，实验结果发现，与抑制语音编码条件相比，促进语音编码时，基于工作记忆的注意捕获效应量更大。这表明，与高精度加工需求条件相比，低精度加工需求条件下，基于工作记忆的注意捕获效应降低并非由于对记忆项进行了语音编码。对记忆项进行语音编码，能够促进言语形式的工作记忆表征与视觉搜索中干扰项的匹配，使得干扰项捕获注意增加（*Soto & Humphreys, 2007, 2008*）。具体修改见论文第 4 页第 2 段第 2~5 行，第 5 页第 2 段第 4~6 行，第 5 页第 3 段第 4~10 行，第 7 页第 3 段第 2~8 行，第 8 页第 2 段第 1~5 行。

意见 2：工作记忆精度的加工需求？

作者在更新的论文中将操纵的对象定义为了工作记忆精度的加工需求。这确实相较于前一版本中的“工作记忆精度”在逻辑上更加合理，因为本质上“工作记忆精度”是被试的反应特征，是无法被直接操纵的（如 *Zhang & Luck, 2015*，操纵的是 *resolution load* 而非 *resolution* 本身）。但是研究中的操纵真的有效操纵了对记忆精度的加工需求吗？我认为研究需要对操纵有效性的检验。因为在过往使用基于色环的连续报告（*continuous report*）任务的研究中，被试在记忆项只有一个时的记忆报告的标准差常常在 10° ~ 20° 。而本文中“高精度加工需求”条件下，记忆探测项在色环上的角度差为 24° ，与通常被试的反应特征对比，不一定为需要被试额外提升“记忆精度”的任务，这在被试的整体较高的记忆任务正确率上也得以体现。况且，被试完全可以在两种情形间保持同样的高记忆精度来完成实验。本研究的操纵是否是一个合格的对“记忆精度”的加工需求的操纵仍然值得怀疑。而过往使用这一操纵的研究，如作者提到的 *Zhang & Luck (2015)* 也同样提到了这一操纵可能有多种其他解释方式，如 *perceptual load*, *focus of attention*，也恰好包括上文中提到的语音编码策略。而考虑到这一操纵作为本研究唯一的关键操纵，我认为这一问题还是不容忽视的。

回应：感谢审稿专家的意见！在本研究中，我们通过控制记忆探测项在色环上的角度差来控制精度加工需求，从而改变工作记忆表征过程的资源投入，对于这一操纵而言，确实如审稿

专家所说,可能存在其他方面的解释,如改变知觉负载、注意焦点等,但是,这些解释与我们的研究目的一致,即“通过操纵工作记忆表征精度加工需求改变工作记忆表征过程的资源投入”,也就是说,工作记忆表征精度加工需求在提高知觉负载或增加注意刷新时,也会在工作记忆表征过程中增加资源的投入。至于知觉负载或注意焦点在工作记忆表征引导注意中的作用如何,我们也将继续关注,在以后的研究中做进一步探讨。

根据审稿专家提出的“高精度加工需求条件下,记忆探测项在色环上的角度差为 24° ;与通常被试的反应特征对比,不一定为需要被试额外提升‘记忆精度’的任务”这一建议,我们将所有实验中的高精度加工需求条件下记忆探测项在色环上的角度差由 24° 调整为 15° (具体修改见论文第5页第2段第3行),并重新采集所有的实验数据。新的实验1结果表明,高精度加工需求条件下的记忆正确率($M = 0.93$, $95\%CI [0.91, 0.95]$)小于低精度加工需求($M = 0.99$, $95\%CI [0.98, 0.99]$), $F(1, 19) = 26.98$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.59$;新的ERP实验结果显示,高精度加工需求条件下诱发的NSW和LPC大于低精度加工需求条件(具体见论文第19页第3段第2~4行,第19页第4段第2~4行),这与以往研究结果一致(He, Zhang, Li, & Guo, 2015)。上述结果说明,被试在高精度加工需求条件下,投入了更多认知资源用于工作记忆表征的加工,也说明,我们在实验中通过改变精度加工需求操纵工作记忆表征过程资源投入是有效的。

意见3: 关于利用记忆匹配的干扰项来巩固记忆的策略

作者在更新的论文中说明,他们的干扰项的颜色是随机从记忆项和另一个记忆探测项间选取的。我认为这不足以排除被试利用记忆匹配的干扰项来巩固记忆的策略。目前唯一能做到完全排除这一策略的范式应为避免记忆探测任务和搜索任务在同一试次出现,即在呈现记忆序列之后,一部分试次只呈现搜索任务,另一部分试次只直接呈现记忆探测任务(如Gunseli, Olivers, & Meeter, 2015)。通过现有的范式得到的数据(如不同情况下记忆任务的正确率)来回推被试是否采用巩固记忆的策略都是不严谨的,因为采用这种策略并不代表就一定能成功提升记忆任务的正确率,比如记忆任务的正确率可能来源于两种过程的对抗作用,一种是被试在搜索任务中通过主动注意记忆匹配的干扰项进行重采样从而巩固记忆,另一种是在搜索任务中由于需要抑制干扰项以更好地完成搜索任务,导致记忆内容也受到了抑制。当然,这种理论跟被试没有采用巩固记忆策略的理论一样,都无法基于当前研究得以验证。这只是说明记忆任务正确率的变化不能反映被试是否采用巩固记忆的策略。

回应:感谢审稿专家的意见!我们同意审稿专家的意见,根据审稿专家提出的建议“在呈现记忆序列之后,一部分试次只呈现搜索任务,另一部分试次只直接呈现记忆探测任务”,我们采用一半试次只呈现搜索任务,另一半只呈现记忆探测任务,对原有的三个实验进行修改,并重新采集数据,实验结果是,描述统计结果有所变化,而推断统计结果与之前的三个实验结果一致。而且,在新增的行为实验中,采用了同样的范式。

意见4: ERP结果的解释

诚然,N2pc在过往研究中常常作为注意选择的指标。然而在当前研究中由于行为学范式的改变,N2pc与注意选择之间的关系是无法建立的,即无法通过数据证明的。所以理论上将ERP的结果的差异直接还原成行为学注意捕获效应的差异是没有根据的。但是考虑到过往有大量研究证明N2pc与视觉注意之间的关系,本研究的ERP结果依然具有一部分参考价值,但是并不能据此得到可靠的结论。

回应:感谢审稿专家的意见!根据审稿专家提出的“由于行为学范式的改变,N2pc与注意选择之间的关系是无法建立的,即无法通过数据证明的”这一问题,我们对ERP实验进行了修改。在修改后的实验中,参照以往研究(Luria, Gotler, Jolicœur, & Dell'Acqua, 2010),在记

忆项呈现之前增加数字默念任务，以抑制被试对记忆项进行语音编码，并将搜索任务的呈现时间改为 2000ms，允许被试在搜索到目标项后按键反应（具体修改见论文第 16 页第 6 段第 1~3 行），以保证 ERP 实验范式和行为实验范式一致。行为结果发现，在高精度加工需求条件下基于工作记忆的注意捕获效应量大于低精度加工需求条件（见文中第 19 页第 2 段第 1~3 行），这与实验 1 的行为结果一致。ERP 结果发现，高精度加工需求条件下，干扰项与记忆项匹配时诱发的 N2pc 小于干扰项与记忆项不匹配和基线条件下；低精度加工需求条件下，3 种匹配情况诱发的 N2pc 没有差异（见文中第 21 页第 1 段第 6~10 行）。上述结果能够建立 N2pc 与注意选择之间的关系，可以通过 ERP 结果来解释行为学注意捕获效应。

参考文献

- He, X., Zhang, W., Li, C., & Guo, C. (2015). Precision requirements do not affect the allocation of visual working memory capacity. *Brain Research, 1602*, 136–143.
- Luria, R., Sessa, P., Gotler, A., Jolicœur, P., & Dell'Acqua, R. (2010). Visual short-term memory capacity for simple and complex objects. *Journal of Cognitive Neuroscience, 22*(3), 496–512.
- Soto, D., & Humphreys, G. W. (2007). Automatic guidance of visual attention from verbal working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 33*(3), 730–757.
- Soto, D., & Humphreys, G. W. (2008). Stressing the mind: The effect of cognitive load and articulatory suppression on attentional guidance from working memory. *Perception & Psychophysics, 70*(5), 924–934.
- Souza, A. S., & Skóra, Z. (2017). The interplay of language and visual perception in working memory. *Cognition, 166*, 277–297.
-

审稿人 2 意见：

感谢作者根据审稿人的意见做了有益的回复与补充。根据现有论文，审稿人认为论文存在如下问题：

意见 1：研究动机与当前研究领域的现状不符。作者在补充的内容中指出“当工作记忆表征与随后视觉搜索任务中的干扰项匹配时，工作记忆表征能否引导注意？尚存争议。”在这个问题上实际上已经基本有定论：当工作记忆表征与随后视觉搜索任务中的干扰项匹配时，工作记忆表征可以引导注意。但是当工作记忆中存储超过 1 个客体表征时，能否引导注意目前其实还是存在很大争议，这一块作者遗漏了很多文献（见该问题后的相关文献）。因此，作者在文中试图去解决工作记忆表征是否引导注意的问题，使其研究价值大打折扣。但不可否认，本研究是有一定的贡献的，探讨了工作记忆存储表征精度对视觉搜索中注意捕获的影响（特别是实验 1 与 2）。因此，论文的研究动机建议从该方面入手去考虑更为合适。

相关文献（举例）

- Fr?tescu, M., Van Moorselaar, D. & Math?t, S. Can you have multiple attentional templates? Large-scale replications of Van Moorselaar, Theeuwes, and Olivers (2014) and Hollingworth and Beck (2016). *Atten Percept Psychophys* 81, 2700–2709 (2019). <https://doi.org/10.3758/s13414-019-01791-8>
- Beck, V. M., & Hollingworth, A. (2017). Competition in saccade target selection reveals attentional guidance by simultaneously active working memory representations. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 43(2), 225-230. doi:10.1037/xhp0000306
- Ort E, Fahrenfort JJ, Olivers CNL. Lack of Free Choice Reveals the Cost of Having to Search for More Than One Object. *Psychological Science*. 2017;28(8):1137-1147. doi:10.1177 /0956797617705667
- Bahle, B., Beck, V. M., & Hollingworth, A. (2018). The architecture of interaction between visual working memory and visual attention. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 44(7), 992-1011. doi:10.1037/xhp0000509
- Ort, E., Fahrenfort, J. J., Ten Cate, T., Eimer, M., & Olivers, C. N. (2019). Humans can efficiently look for but not select multiple visual objects. *ELife*, 8, e49130.

回应：感谢审稿专家的意见！这里，专家主要提出了三方面问题，我们逐一回答如下：

第一，根据审稿专家提出的我们在前言部分遗漏文献的问题，我们对前言部分进行修改，

增加了第二段，内容如下（第二次修改内容在文中以绿色字体呈现，下同）：

“近些年，研究者采用目标搜索范式，通过工作记忆表征与搜索任务的目标项匹配，对工作记忆表征影响注意的引导开展了大量研究。在搜索任务之前呈现记忆项进行的研究发现，工作记忆中存储的表征，能够在随后的搜索任务出现之前激活感觉神经元，从而使得与该表征匹配的刺激获得竞争优势，产生基于工作记忆的注意引导，促进视觉搜索（Desimone & Duncan, 1995; Soto, Heinke, & Blanco, 2005）。Houtkamp 和 Roelfsema（2009）比较了不同数量搜索目标对注意引导的影响，结果发现，与搜索 1 个目标相比，搜索 2 个目标时，搜索任务成绩降低，产生双目标搜索损耗，这种损耗可以由单模板模型预测，说明，一次只有一个工作记忆表征引导注意。Ort, Fahrenfort 和 Olivers（2017）采用眼动技术，控制搜索序列中目标项数量，探讨认知控制在双目标搜索中的作用，结果发现，当搜索序列中只有 1 个目标项时，试次间目标变化的眼跳潜伏期长于试次间目标不变，当搜索序列中有 2 个目标项时，试次间目标变化与否不影响眼跳潜伏期。这说明，在进行双目标搜索时，一次只能激活 1 个目标模板引导注意，转换目标模板需要进行认知控制，从而产生双目标搜索损耗。而 Beck 和 Hollingworth（2017）采用眼动技术，先后呈现 2 个搜索目标，分别对应于先后呈现的 2 个搜索序列，探讨能够同时引导注意的表征数量，发现当第二个搜索序列中出现第一个搜索序列的目标时，对 2 个目标的注视概率相同，说明两个搜索序列中的目标均能引导注意，即可以同时有两个工作记忆表征引导注意。另有研究者采用事件相关电位（event-related potential, ERP）技术，以反映注意资源投入的后部对侧差异波（N2-posterior contralateral component, N2pc）为指标，探讨了单目标和双目标对注意引导的影响，结果发现，在进行单目标搜索和双目标搜索时，搜索目标诱发的 N2pc 没有差异，说明注意资源可以灵活分配给不同搜索目标，工作记忆中存储的多个目标表征可以同时引导注意（Berggren & Eimer, 2018）。Kerzel 和 Witzel（2019）从工作记忆资源分配角度，探讨了多项目工作记忆表征对注意引导的影响，结果发现，单目标搜索和双目标搜索时，位置线索对注意产生相同的促进效应；区分搜索目标和干扰项后，仅搜索目标能促进注意搜索，且搜索目标的记忆精度高于干扰项，这表明，当分配到两个表征的工作记忆资源均等时，可以同时有两个工作记忆表征引导注意；当分配到两个表征的工作记忆资源不均等时，只有获得工作记忆资源多的表征能够引导注意。总之，采用目标搜索范式进行的研究发现，事先存储的工作记忆表征可以促进后续的注意引导，且工作记忆的资源分配影响注意引导的表征数量。”，见论文第 1 页第 2 段。

第二，根据审稿专家对问题提出部分提出的修改建议，进行了相应修改，具体内容如下：

“上述研究存在争议的主要原因可能与工作记忆资源投入有关。在控制记忆项和检测项差异的研究和采用线索化范式进行的研究中，对记忆项加工投入的工作记忆资源存在差异（Zhang & Luck, 2011）。当记忆项与检测项差异较大，容易区分时，对工作记忆表征投入较少资源即可完成记忆检测任务，工作记忆表征不引导注意；当记忆项与检测项差异较小，难以区分时，需要对工作记忆表征投入较多资源，才能完成记忆检测任务，工作记忆表征能够引导注意。而采用线索化范式进行的研究中，线索化项目获得的工作记忆资源多于非线索化项目，线索化项目捕获注意，而非线索化项目不捕获注意。工作记忆资源投入的多少既可能影响注意模板的建立，也可能影响搜索任务中对干扰项的抑制。有研究发现，与工作记忆项目仅用于记忆检测任务相比，当工作记忆项目作为搜索任务的目标项呈现时，需要投入更多的资源用于建立注意模板，从而引导注意（Gunseli, Meeter, & Olivers, 2014）。并且，在搜索任务中，存在对匹配干扰项的认知控制，这种认知控制受到投入认知资源多少的影响。当资源充足时，认知控制更易发挥作用，对搜索任务中干扰项的抑制也更为有效（Dube, Basciano, Emrich, & Al-Aidroos, 2016; Wen et al., 2018）。已有研究发现，当工作记忆表征与搜索目标匹配时，工作记忆资源分配影响多项目工作记忆表征对注意的引导（Kerzel & Witzel,

2019), 那么, 当工作记忆表征与搜索的干扰项匹配时, 工作记忆资源分配是否影响不同数量的工作记忆表征对注意的引导?”见论文第 3 页第 1 段。

第三, 针对审稿专家提出的“当工作记忆中存储超过 1 个客体表征时, 能否引导注意目前其实还是存在很大争议”这一问题, 我们增加了一个实验(实验 3), 探讨多项目工作记忆表征精度加工需求对注意引导的影响, 具体内容见论文第 12 页第 3 段到第 16 页第 1 段。

意见 2: 作者的解释内在逻辑存在问题。作者解释精度的调节效应时, 认为“工作记忆表征精度加工需求提高, 消耗更多工作记忆资源(Bays & Husain, 2008), 使得用于搜索任务中抑制干扰的资源减少, 干扰效应增加”, 并以实验 3 中 NSW 的结果作为证据予以支持。根据现有的工作记忆研究与作者的内在假设, 抑制干扰的资源属于来自中央执行器的注意资源。然而, NSW 反映的是工作记忆的信息存储, 难以直接反映中央执行器的注意资源。同时, 精度提高后, 是否更多的消耗了中央执行器的注意资源, 是值得商榷的。如 Zhang & Luck (2015) 发现提高精度要求后提高的是类似知觉的注意资源, 而非中央执行器的注意资源(Zhang, W., & Luck, S. J. (2015). Opposite effects of capacity load and resolution load on distractor processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41(1), 22–27.)。对于中央执行器资源的作用, 作者是否可以考虑分析下前额的 Late positive component?

回应:感谢审稿专家的建设性意见! 根据审稿专家的建议, 并参照以往研究(黎翠红, 何旭, 郭春彦, 2015; Gao et al., 2011; He, Zhang, Li, & Guo, 2015), 我们在修改后的 ERP 实验中, 增加了晚期正成分(LPC)的分析, 结果发现, 高精度加工需求条件下记忆项诱发的 LPC 大于低精度加工需求条件, 并根据这一结果对讨论做了相应修改。具体修改见论文第 16 页第 2 段第 2~3 行, 第 17 页第 4 段第 1~4 行, 第 19 页第 4 段第 1~4 行, 第 22 页第 1 段第 5~7 行, 第 23 页第 3 段第 7~12 行, 第 24 页第 1 段第 10~12 行。

意见 3: 根据实验 1 的记忆任务正确率, 非常可能存在被试通过搜索任务中出现的记忆匹配干扰项来帮助自己巩固记忆的可能性。为排除该种可能, 作者对记忆项与干扰项颜色相似的试次数据进行了分析。但是审稿人无法理解为何该分析就可以来排除该种可能? 即使可以排除, 证据也分非常弱, 建议进行额外的实验进行检验(如记忆项与搜索任务各有 50% 检测等方式)。与之相关, 建议实验 2/3 也按照实验 1 的方式(考虑搜索任务中的记忆项匹配情况)进行记忆任务的正确率。

回应:感谢审稿专家的意见! 根据审稿专家的建议, 我们采用记忆项与搜索任务各占 50% 检测的实验范式, 对原有的三个实验进行修改, 并重新采集数据, 实验结果是, 描述统计结果有所变化, 而推断统计结果与之前的三个实验结果一致。具体修改见文中实验 1、2 与实验 4。

意见 4: 实验 3 的结果与实验 1/2 冲突, 作者的解释不能让审稿人信服。此外, 实验 3 的数据稳定性有待商榷。每种条件下仅有 78 个试次, 对于 N2 与 N2pc 的分析数据可能不够。请作者提供如下信息: 每种条件下的 ERP 数据剔除率; 数据分析时是否剔除了 WM 与搜索任务中的错误的的数据? 用于分析的试次分别有多少?

回应:感谢审稿专家的意见! 针对审稿专家提出的问题, 我们逐一答复如下:

第一, 关于实验 3 的结果与实验 1/2 冲突的问题

根据审稿专家的意见, 我们重新做了 ERP 实验(原实验 3)。在修改后的实验中, 我们参照以往研究(Luria, Gotler, Jolicœur, & Dell'Acqua, 2010), 在记忆项呈现之前增加数字默

念任务，以抑制被试对记忆项进行语音编码，并将搜索任务的呈现时间改为 2000ms，允许被试在搜索到目标项后按键，行为结果发现，在高精度加工需求条件下基于工作记忆的注意捕获效应量大于低精度加工需求条件，这与实验 1、2 的行为结果一致。具体修改见论文第 16 页第 6 段第 1~3 行，第 19 页第 2 段第 1~3 行，第 21 页第 1 段第 6~10 行。

第二，关于每种条件下的 ERP 数据剔除率与用于分析的试次数量问题

对于 N2 成分，每种条件下有 80 个试次，高精度加工需求条件下基线、不匹配和匹配条件各剔除率分别为 23.59%、20.23% 和 25.94%，有效叠加试次数分别为 61、64 和 59；低精度加工需求条件下基线、不匹配和匹配条件各剔除率分别为 20.78%、21.64% 和 22.81%，有效叠加试次数分别为 63、63 和 62。各条件下有效叠加次数已远大于 30 次，信噪比较高。具体修改见论文第 17 页第 5 段第 3~5 行。

对于 N2pc 成分，每种条件下有 80 个试次，高精度加工需求条件下基线、不匹配和匹配条件各剔除率分别为 20.70%、20.16% 和 19.45%，有效叠加试次数分别为 63、64 和 64；低精度加工需求条件下基线、不匹配和匹配条件各剔除率分别为 14.69%、17.97% 和 17.79%，有效叠加试次数分别为 68、66 和 66。各条件下有效叠加次数已远大于 30 次，信噪比较高。具体修改见论文第 18 页第 2 段第 4~7 行。

第三，关于数据分析时是否剔除了 WM 与搜索任务中的错误的的数据问题

在实验 4 中，工作记忆检测任务和搜索任务不在一个试次中同时出现，不需分析工作记忆检测任务的 ERP 数据，因此，在分析 N2 和 N2pc 时只剔除了搜索任务中反应错误的的数据。具体修改见论文第 17 页第 3 段第 3 行，第 17 页第 4 段第 3 行，第 17 页第 5 段第 3~4 行，第 18 页第 2 段第 4 行。

参考文献

- 黎翠红, 何旭, 郭春彦. (2015). 多特征刺激在视觉工作记忆中的存储模式. *心理学报*, 47(6), 734-745.
- Beck, V. M., & Hollingworth, A. (2017). Competition in saccade target selection reveals attentional guidance by simultaneously active working memory representations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43(2), 225-230.
- Berggren, N., & Eimer, M. (2018). Visual working memory load disrupts template-guided attentional selection during visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 30(12), 1902-1915.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18(1), 193-222.
- Dube, B., Basciano, A., Emrich, S. M., & Al-Aidroos, N. (2016). Visual working memory simultaneously guides facilitation and inhibition during visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 78(5), 1232-1244.
- Gao, Z., Xu, X., Chen, Z., Yin, J., Shen, M., & Shui, R. (2011). Contralateral delay activity tracks object identity information in visual short term memory. *Brain Research*, 1406, 30-42.
- Gunseli, E., Meeter, M., & Olivers, C. N. L. (2014). Is a search template an ordinary working memory? Comparing electrophysiological markers of working memory maintenance for visual search and recognition. *Neuropsychologia*, 60, 29-38.
- He, X., Zhang, W., Li, C., & Guo, C. (2015). Precision requirements do not affect the allocation of visual working memory capacity. *Brain Research*, 1602, 136-143.
- Hollingworth, A., & Beck, V. M. (2016). Memory-based attention capture when multiple items are maintained in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(7), 911-917.
- Kerzel, D., & Witzel, C. (2019). The allocation of resources in visual working memory and multiple attentional templates. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 45(5), 645-658.
- Luria, R., Sessa, P., Gotler, A., Jolicœur, P., & Dell'Acqua, R. (2010). Visual short-term memory capacity for simple and complex objects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(3), 496-512.
- Ort, E., Fahrenfort, J. J., & Olivers, C. N. (2017). Lack of free choice reveals the cost of having to search for more than one object. *Psychological Science*, 28(8), 1137-1147.
- Soto, D., Heinke, D., Humphreys, G. W., & Blanco, M. J. (2005). Early, involuntary top-down guidance of attention from working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(2), 248-261.
- Soto, D., & Humphreys, G. W. (2007). Automatic guidance of visual attention from verbal working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(3), 730-757.
- Soto, D., & Humphreys, G. W. (2008). Stressing the mind: The effect of cognitive load and articulatory suppression on attentional guidance from working memory. *Perception & Psychophysics*, 70(5), 924-934.
- van Moorselaar, D., Theeuwes, J., & Olivers, C. N. L. (2014). In competition for the attentional template: Can

- multiple items within visual working memory guide attention? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(4), 1450–1464.
- Souza, A. S., & Skóra, Z. (2017). The interplay of language and visual perception in working memory. *Cognition*, 166, 277–297.
- Wen, W., Hou, Y., & Li, S. (2018). Memory guidance in distractor suppression is governed by the availability of cognitive control. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 80(5), 1157–1168.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2007). Do the contents of visual working memory automatically influence attentional selection during visual search?. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(2), 363–377.
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2011). The number and quality of representations in working memory. *Psychological Science*, 22(11), 1434–1441.
-

第三轮

审稿人 1 意见：

作者在更新的论文中重新收集并分析了数据，得到的实验结果很好地回复了先前的评审意见。不过，仍然有以下两点我认为值得改进。

意见 1：关于实验 1 结果的解释

作者在实验 1 中，采纳了我先前提出的建议，加入了“促语音编码”条件。然而，作者解释结果的逻辑我认为不够严谨。两种语音编码条件间捕获效应存在差异并不能证明语音编码本身对注意捕获效应存在作用，因为促语音编码的操作并不损害对记忆项目的连续表征，或者用 Olivers 等(2006)中的术语来说，不影响更加“visual”的记忆，只是提高了更加“verbal”的记忆容量 (Souza & Skora, 2017)。另一方面，Soto (2007) 发现记忆项为单词时，视觉注意仍然会被记忆匹配的干扰项捕获。这也许说明语音模态的记忆本身也存在着捕获注意的能力。所以原先假设的语音编码强度的混淆作用其实来源于语音模态和视觉两种模态的工作记忆表征捕获视觉注意能力的差异，而非语音模态不能捕获注意，即，因为记忆探测项目颜色接近时，被试可能更主动地使用语音编码而非视觉编码的策略，所以记忆表征更加“verbal”，“visual”记忆的权重则下降，所以整体捕获注意的能力不同。

然而，实验 1 的结果我认为确实能排除语音编码效应的干扰。我认为可以从交互作用不显著这个角度出发去排除语音编码效应的干扰，即语音编码强度的不同并不能调节在高低精度加工需求条件间捕获效应的差异。这说明高低精度加工需求条件间的差异并不来源于语音编码强度的差异。

回应：感谢审稿专家的意见！确实如审稿专家所说，“语音编码条件间捕获效应存在差异不能证明语音编码本身对注意捕获效应存在作用”。我们根据审稿专家的意见，对实验 1 讨论部分进行如下修改：

“精度加工需求和语音编码条件两因素交互作用不显著，说明语音编码强度的不同没有调节在高低精度加工需求条件间捕获效应的差异，即高低精度加工需求条件下基于工作记忆的注意捕获效应量的差异，并非是对记忆项语音编码强度的差异造成的”。见论文第 8 页第 3 段第 2~4 行。

意见 2：讨论中应提及其他可能的解释

虽然作者在四个实验中排除了一部分混淆变量，如语音编码的影响，但是仍然有很多值得考量的潜在的其他解释。如近年来逐渐受到关注的类别工作记忆。类别记忆虽然与语音编码存在着紧密的联系，但是也有一些模型并不认为类别记忆完全依赖于语音编码（如 Schurgin, Wixted, & Brady, 2020; Taylor & Bays, 2018; Panichello et al., 2019 等）。再如记忆精度加工需求的增加直接影响了被试的空间注意的能力从而影响了注意捕获效应而非通过

记忆表征的增强影响注意捕获效应。再如任务不同条件下由于任务难度的不同导致的被试唤醒程度的不同导致实验表现的不同等等。我建议作者在讨论部分再加入一些关于这些潜在的解释的内容，来指导今后的研究。

参考文献

- Olivers, C. N., Meijer, F., & Theeuwes, J. (2006). Feature-based memory-driven attentional capture: visual working memory content affects visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(5), 1243.
- Panichello, M. F., DePasquale, B., Pillow, J. W., & Buschman, T. J. (2019). Error-correcting dynamics in visual working memory. *Nature Communications*, 10(1), 1-11.
- Schurgin, M. W., Wixted, J. T., & Brady, T. F. (2020). Psychophysical scaling reveals a unified theory of visual memory strength. *Nature Human Behaviour*, 1-17.
- Souza, A. S., & Skóra, Z. (2017). The interplay of language and visual perception in working memory. *Cognition*, 166, 277-297.
- Taylor, R., & Bays, P. M. (2018). Efficient coding in visual working memory accounts for stimulus-specific variations in recall. *The Journal of Neuroscience*, 38(32), 7132-7142.

回应：感谢审稿专家的意见！我们在论文总讨论部分增加了关于工作记忆表征精度加工需求影响注意引导的其他可能性解释，修改如下：

“除此之外，工作记忆表征精度加工需求对注意引导的影响可能存在其他解释：（1）工作记忆表征精度加工需求改变知觉注意范围，从而影响对搜索目标的知觉加工。已有研究发现，高工作记忆精度加工需求（负载）能够窄化注意，使注意集中在较小的空间范围（李寿欣等，2019）。在视觉搜索任务中，与低精度加工需求条件相比，高精度加工需求条件下，当干扰项优先捕获注意后，较难扩大注意范围对目标项进行知觉加工，因而，对目标的搜索减慢，产生更大的注意捕获。（2）工作记忆表征精度加工需求影响神经元编码噪音，改变表征的精确性，从而影响工作记忆表征与干扰项的匹配。以往研究发现，在工作记忆任务中，当记忆项与检测项差别大（表征精度加工需求低）时，可能对记忆项进行类别记忆，使得神经元编码噪音增加，容易产生记忆偏差，降低表征精确性（Panichello et al., 2019; Schurgin et al., 2020）。因此，与高精度加工需求条件相比，低精度加工需求条件下，工作记忆表征的精确度降低，阻碍工作记忆表征与干扰项的匹配，从而降低注意捕获。对于上述两种可能的解释，需要在后续研究中加以探讨。” 见论文第 23 页第 1 段第 1~11 行。

参考文献

- Li, S. X., Che, X. W., Li, Y. J., Wang, L., & Chen, K. S. (2019). The effects of capacity load and resolution load on visual selective attention during visual working memory. *Acta Psychologica Sinica*, 51(5), 527-542.
- [李寿欣, 车晓玮, 李彦佼, 王丽, 陈恺盛. (2019). 视觉工作记忆负载类型对注意选择的影响. *心理学报*, 51(5), 527-542.]
- Panichello, M. F., DePasquale, B., Pillow, J. W., & Buschman, T. J. (2019). Error-correcting dynamics in visual working memory. *Nature Communications*, 10(1), 1-11.
- Schurgin, M. W., Wixted, J. T., & Brady, T. F. (2020). Psychophysical scaling reveals a unified theory of visual memory strength. *Nature Human Behaviour*, 4(11), 1156-1172.
-

审稿人 2 意见：

作者在最新版的文章中修对问题提出、实验设计和结果讨论都进行了有益的修改，但存在如下小问题，审稿人认为修改后可被接受。

意见 1：前言的逻辑基本清晰，流畅度有待优化，例如第二段第三段之前可以有一句总领句（例如“近些年，研究者分别采用目标搜索范式和注意捕获范式，从两个方面对.....进行了探讨”），给读者 1 以预期；第五段开始直接“写工作记忆表征精度是指.....”，与上一段尾的提问割裂感较强。

回应：感谢审稿专家的意见！对于第二段前的总领句，修改如下：

“近些年，研究者分别采用目标搜索范式和注意捕获范式，对工作记忆表征影响注意引导进行了大量探讨。”见论文第 1 页第 2 段第 1~2 行。

关于第五段与上一段的衔接，修改如下：

“本研究通过控制记忆项和检测项之间的差异程度，改变工作记忆表征精度加工需求(以下简称精度加工需求)(Zhang & Luck, 2015; 李寿欣 等, 2019)，操纵工作记忆表征过程认知资源投入，探讨注意捕获范式下工作记忆表征对注意引导的影响。”见论文第 3 页第 2 段第 1~3 行。

意见 2：作者在实验二的讨论中写道，实验三的研究动机是“仅在低精度加工需求条件下，工作记忆表征激活状态影响注意的引导，这是否与能够引导注意的工作记忆表征数量有关？”那么实验三的讨论是否应该对这个问题加以回答。

回应：感谢审稿专家的意见！在实验 3 讨论部分修改如下：

“即低精度加工需求条件下，只有一个工作记忆表征引导注意，因此，实验 2 低精度加工需求条件下，当工作记忆中存储多个表征时，只有处于高激活状态的这一工作记忆表征能引导注意。在高精度加工需求条件下，记忆 2 匹配 2 条件下基于工作记忆的注意捕获效应大于记忆 2 匹配 1 和记忆 1 匹配 1 条件，符合工作记忆表征引导注意的多模板假设预期 (Fan et al, 2019; Hollingworth & Beck, 2016)，即高精度加工需求条件下，可以有多个工作记忆表征引导注意，因此，实验 2 高精度加工需求条件下，多个工作记忆表征对注意的引导不受表征激活状态的影响”。见论文第 14 页第 2 段第 5~11 行。

意见 3：笔误：“在低精度加工需求条件下，记忆 1 匹配 1 和记忆 2 匹配 1 条件下基于工作记忆的注意捕获效应量没有差异，均大于记忆 2 匹配 1 条件，符合 VWM 表征引导注意的单模板假设预期”，应该是：“在低精度加工需求条件下，记忆 1 匹配 1 和记忆 2 匹配 2 条件下基于工作记忆的注意捕获效应量没有差异，均大于记忆 2 匹配 1 条件，符合 VWM 表征引导注意的单模板假设预期”

回应：感谢审稿专家的意见！已在文中进行修改，见论文第 14 页第 2 段第 4 行。

意见 4：作者认为高精度加工需求相比低精度加工需求消耗更多的执行控制资源，并用脑电指标 LPC 加以证明，但 Zhang & Luck (2015) 认为精度加工需求消耗的是知觉注意资源，这一点需要被讨论。

回应：感谢审稿专家的意见！在工作记忆表征过程中，与低精度加工需求条件相比，高精度加工需求条件下，个体可能需要对记忆项进行更多的复述和刷新，这需要投入更多的知觉注意资源 (Zhang & Luck, 2015)。同时，也需要个体根据任务需求，对记忆项的表征进行自上而下的调节 (Zhao et al., 2020)，这需要消耗更多的执行控制资源。已在实验 4 讨论部分进行了补充，修改如下：

“以往研究发现，在对高精度加工需求的视觉刺激进行表征的过程中，需要激活初级视觉皮层进行知觉加工 (Ester et al., 2013)，对记忆项投入知觉注意资源 (Zhang & Luck, 2015)。同时，高工作记忆表征精度信息的存储往往涉及前额叶与初级视觉皮层功能连接的增强 (Zhao et al., 2020)，前额叶能够有效追踪感觉刺激的变化，进行自上而下的认知控制，调节视觉皮层的激活，提高信息表征的稳定性 (Feredoes et al., 2011; Morcos & Harvey, 2016)。LPC 反映了工作记忆存储过程中自上而下的控制 (黎翠红 等, 2015; Gao et al., 2011)，实验 4 结果说明高精度加工需求条件比低精度加工需求条件对记忆项的存储投入了更多认知控制资源，与以往的研究一致 (He et al., 2015)。”见论文第 20 页第 1 段第 5~12 行。

意见 5: 效应不显著时, 有的仅报告了 F 值, 有的仅报告了 p 值, 请统一标准。

回应: 感谢审稿专家的意见! 在文中对效应不显著的统计检验结果, 统一报告 F 值和 P 值。具体修改见论文第 6 页第 2 段第 6 行, 第 7 页第 1 段第 2~6 行, 第 7 页第 2 段第 3~4 行, 第 7 页第 2 段第 8~10 行, 第 8 页第 1 段第 8 行, 第 10 页第 3 段第 6 行, 第 10 页第 4 段第 6 行, 第 10 页第 5 段第 2 行, 第 10 页第 5 段第 5~7 行, 第 11 页第 1 段第 2~3 行, 第 11 页第 2 段第 2~3 行, 第 11 页第 2 段第 6 行, 第 11 页第 2 段第 8 行, 第 13 页第 2 段第 7~8 行, 第 13 页第 3 段第 3~4 行, 第 13 页第 4 段第 4 行, 第 14 页第 1 段第 1~3 行, 第 14 页第 1 段第 6~7 行, 第 17 页第 1 段第 4~5 行, 第 17 页第 2 段第 3~4 行, 第 17 页第 2 段第 7 行, 第 18 页第 2 段第 3 行, 第 18 页第 2 段第 7~8 行, 第 19 页第 1 段第 3 行, 第 19 页第 1 段第 10 行。

意见 6: 论文中图表太多, 建议实验间进行合并

回应: 感谢审稿专家的意见! 我们将实验 1~4 工作记忆任务成绩合并为表 1, 将实验 1~4 视觉搜索任务成绩合并为表 2, 将实验 1~4 的流程图合并为图 2, 将实验 1~3 视觉搜索任务基于工作记忆的注意捕获效应合并为图 3, 将实验 4 中 N2 成分波形图和波幅值图合并为图 6, 将实验 4 中 N2pc 成分波形图和波幅值图合并为图 7。

参考文献

- Ester, E. F., Anderson, D. E., Serences, J. T., & Awh, E. (2013). A neural measure of precision in visual working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(5), 754–761.
- Feredoes, E., Heinen, K., Weiskopf, N., Ruff, C., & Driver, J. (2011). Causal evidence for frontal involvement in memory target maintenance by posterior brain areas during distracter interference of visual working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(42), 17510–17515.
- Gao, Z., Xu, X., Chen, Z., Yin, J., Shen, M., & Shui, R. (2011). Contralateral delay activity tracks object identity information in visual short term memory. *Brain Research*, 1406, 30–42.
- He, X., Zhang, W., Li, C., & Guo, C. (2015). Precision requirements do not affect the allocation of visual working memory capacity. *Brain Research*, 1602, 136–143.
- Li, C. H., He, X., & Guo, C. Y. (2015). The storage mechanism of multi-feature objects in visual working memory. *Acta Psychologica Sinica*, 47(6), 734–745.
- [黎翠红, 何旭, 郭春彦. (2015). 多特征刺激在视觉工作记忆中的存储模式. *心理学报*, 47(6), 734–745.]
- Morcos, A. S., & Harvey, C. D. (2016). History-dependent variability in population dynamics during evidence accumulation in cortex. *Nature Neuroscience*, 19(12), 1672–1681.
- Zhang, W., & Luck, S. J. (2015). Opposite effects of capacity load and resolution load on distractor processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41(1), 22–27.
- Zhao, Y., Kuai, S., Zanto, T. P., & Ku, Y. (2020). Neural correlates underlying the precision of visual working memory. *Neuroscience*, 425, 301–311.