

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：作业中断对任务绩效的影响及心理疲劳的调节作用

作者：陈悦源，方卫宁，郭北苑，鲍海峰

第一轮

审稿人 1 意见：

该文研究的主题对工程心理学很有意义，但是该文在研究方法和数据统计部分描述不够详细，数据结果有不严谨或错误之处，望修改。

意见 1：关于被试，G-power 的计算结果需要列出

回应：已在 2.1 被试章节进行了相应修改，添加了 G-power 的计算结果细节。修改后具体描述为“基于 GPower 计算中等效应量 ($r = 0.25$)，在统计检验力 $1 - \beta = 0.80$ ， $\alpha = 0.05$ 的前提下，执行重复测量方差分析所需实验样本量为 18 人次，实际统计功效达到 0.812，critical F 值为 3.16。”。

意见 2：ERP 的数据处理，使用的是 mean amplitude，那如何计算的潜伏期？

回应：分析所使用的为 P200 和 P300 峰值潜伏期，即刺激出现后 180~280ms (P200) 和 300~450ms (P300) 内的波形峰值出现时刻。已在结果中进行修改，使用了“峰值潜伏期”这一名词。

意见 3：为什么没有连续选取，而跳过了某些电极？选取依据是什么？

回应：用于数据量较为庞大，因此统计分析的 ERP 数据并没有选取全部 64 导联，而是选取了具有代表性的电极位置，电极位置的选取参考了以往类似的工作记忆或任务干扰研究。选取了额区 (F3、Fz、F4)，中央区 (C3、Cz、C4) 和顶区 (P3、Pz、P4) 作为 ERP 分析电极点 (Forester et al., 2020; Vilà-Balló et al., 2018)

Forester, G., Halbeisen, G., Walther, E., & Kamp, S.-M. (2020). Frontal ERP slow waves during memory encoding are associated with affective attitude formation. *International Journal of Psychophysiology*, 158, 389-399.

Vilà-Balló A., Salmi, J., Soveri, A., Rodríguez-Fornells, A., Lehtonen, M., & Laine, M. (2018). Neural signatures for active maintenance and interference during working memory updating. *Biological psychology*, 132, 233-243.

意见 4：三因素 ANOVA 是在每个电极点上，分别做的 ANOVA 吗？电极位置有没有作为 ANOVA 的一个因素？如果没有，结果部分诸如“在额区 (F3, Fz, F4) 尤为突出”这样的结论是怎么来的？

回应：原先的分析并非在每个电极点上分别作方差分析，而是对所选取所有电极点平均后分析，且没有将电极位置作为一个因素。但对于个别电极点进行了检查，因此得出了“在额区 (F3, Fz, F4) 尤为突出”这样的结论。

根据您所提出的意见考虑后，我们认为原本的分析方式确实容易造成读者的误解，因此依据以往的研究文献 (Forester et al., 2020; Vilà-Balló et al., 2018)，选取了额区 (F3、Fz、F4)，中

中央区（C3、Cz、C4）和顶区（P3、Pz、P4）作为 ERP 分析电极点，分别在三个脑区进行 ANOVA。相应的分析方法的改变已经在 2.3 和 2.4 节进行了说明。因此，对 3.3 ERP 分析结果章节进行了全面修改。

意见 5: 图 8 和 9 分别表示 P200 和 P300 的地形图，但是从图中看，采用的时间窗都是 275-500ms，并没有对应不同的时间窗，是标注错误吗？

回应: 抱歉由于我们的失误造成了您的不解，这确实是绘图时的标注错误，已经对图 8 不同条件下的 P200 地形图进行了修正。此外，原本的 ERP 时间窗是根据常见的 P200 和 P300 定义选取的。考虑到时间窗过于宽泛可能会包含额外的成分（甚至可能与个别被试的反应时出现交叉，从而出现行为动作的影响），因此我们通过目视检查所有数据，尽可能缩小了时间窗选取范围并保证峰值落在所选时间窗内，最终选取 P200 时间窗为刺激出现后的 180~280ms，P300 时间窗为刺激出现后的 300~450ms。

意见 6: 建议在前言和讨论部分，增加关于结果含义的解释，例如在工作记忆任务中行为结果，P200 和 P300 对应的含义，特别是讨论部分，对于实验得到的结论，对目标记忆模型有何补充，对作业者作业有何意义，还需要深入讨论。

回应: 根据您的建议，已在前言和讨论部分增加了关于 ERP 结果含义的解释。主要在讨论部分进行了修改，主要包括以下部分：

- “P200 潜伏期通常被用作神经效率和速度的指标(Wongupparaj et al., 2018)，进入疲劳状态后 P200 潜伏期略有上升，说明信息加工处理速度略有降低，有学者认为较短的 P200 潜伏期反映了更强的任务切换能力，中断后潜伏期的增长在疲劳后表现的更加明显 (Wongupparaj et al., 2018)，并与被试的在中断后试次中反应时增加表现出一致性，也同时说明了疲劳对于任务切换能力的损害。”
- “P300 振幅在暂停中断任务的试次间并没有显著性差异。一种假设理论认为，与注意力和记忆相关的 P300 的产生可能是由抑制与干扰信息相关的脑区激活的大脑机制引起的，P300 及其子过程能够反映神经对持续活动的快速抑制，有助于将传入的刺激信息从额叶转移到颞顶叶，从而增强记忆(Smith et al., 2013)。这一观点得到了大量神经生理学实验结果的支持，且研究证实了 P300 振幅会与大脑抑制功能相关，随着抑制作用的增强而提高(Xiao, 2015)。本研究的实验结果表明经历了任务中断后的 P300 幅值的显著升高，在一定程度上证实了神经对中断过程中持续活动的快速抑制(Polich, 2007)，虽然中断任务干扰造成了注意力资源的剥夺，但是被试投入更多的注意力资源抑制来自任务中断的干扰信息，使得 P300 振幅显著提高。而这一抑制现象并没有出现在暂停中断情况中，是因为并没有出现主任务之外的信息干扰，因此中断后试次的振幅才没有发生显著变化，更加说明了中断任务的信息对主任务工作记忆的干扰是导致中断后任务绩效下降的主要原因之一，这些结果为作业中断对主任务中断后绩效下降提供了来自 EEG 的证据。”
- “而暂停中断没有抑制无关信息的需求，因此在中断后仅受到疲劳作用的影响，P300 振幅变低，相应的行为绩效下降的也更加严重。”

结合既有的 MFG 理论和研究结果，对目标记忆模型的信息干扰机制进行了补充论证，内容如下：

- “中断期间主任务记忆随着时间逐渐衰退，需要在返回主任务后激活，疲劳损害了大脑的认知记忆功能，使得激活数据减慢从而出现了中断恢复的延迟，因此不论是任务中断还是暂停中断，中断后试次的绩效都出现了下降。相比以往关注中断时长、中断频率等因素的研究更加关注记忆的时间衰退机制，本研究通过对比同等时长的任务中断和暂停

中断进一步证实了中断任务对于记忆的干扰机制。”

最后，还针对本研究对于实际作业中断问题的意义进行了讨论，内容如下：

- “由此可见，人机交互作业中的中断问题不能仅关注任务特征，作业者的自身状态对于中断的有效处理和作业绩效也具有至关重要的影响。而这一影响主要体现在中断后早期阶段注意力资源的分散导致任务切换能力的下降以及主任务重新激活时中断任务的干扰抑制能力减弱。来自 ERP 的证据——P200 潜伏期和 P300 振幅在不同脑力疲劳状态下的变化证实了疲劳对于中断后绩效的调节作用。因此对于降低中断负面影响、有助于中断恢复的中断管理策略来说，除了考虑培训、人员选拔、界面辅助设计、中断出现时间管理等方法外(Wang et al., 2014)，感知与监控人员状态，结合其当前的认知能力提供最佳的中断管理方法也是解决中断破坏性的有效途径之一。”

除上述审稿人所提问题外，对全文进行了细致检查，修改了一些小的细节错误，例如，标点符号、文字描述通顺性、参考文献等。

第二轮

审稿人 1 意见：

本论文探讨作业中断对工作记忆（连续 n-back 任务）的影响，同时考虑了疲劳的调节作用，有一定的理论和应用价值。该论文撰写规范，但是逻辑不够清晰，数据分析方法的关键细节缺失，选择测量指标的逻辑有待加强，实验结果的呈现有很大提高的余地，讨论欠深度，建议大修后再审。

意见 1：论文题目“疲劳对作业中断过程中工作记忆的影响”与研究内容不符，建议修改。“中断过程中”无任何工作记忆的测量。另外，建议使用“认知疲劳”或者“心理疲劳”来替代“疲劳”。

回应：感谢您的指正。本研究主要探究了作业中断对任务绩效的影响以及疲劳在其中的调节作用，通过分析事件相关电位（ERP）揭示作业中断认知过程及疲劳对其影响机理。通过作业中断相关文献的分析可知，中断对工作记忆的影响是导致任务绩效变化的主要原因，同时注意力机制在其中也有一定影响，因此选取 2-back 任务作为实验范式展开研究。本研究不仅仅只关注工作记忆，“认知资源分配”、“注意力”等因素也在本研究需要考虑的范围之中。因此，我们修改文章题目为“作业中断对任务绩效的影响及心理疲劳的调节作用”。我们已使用“心理疲劳”来替代“疲劳”。

意见 2：摘要：第一句话包含了本研究背后最基本的理论和实证假设，请在引言中重点论述。如果“目标记忆模型”中的“目标记忆”确属“工作记忆”，请明确阐述。另外“n-back”任务与“目标记忆”的测量有何关联？ERP 指标测量的是什么心理成分。确定这两个 ERP 成分是公认的注意资源的度量？请在引言部分详细阐述。研究目标是“X”对工作记忆的影响，我的理解这里是不是应该测量反映工作记忆的 ERP 指标，而不是反映“认知资源分配”、“脑力疲劳”、“注意力”、“语言语境”的 ERP 指标（见 p.3）。换句话讲，这里的 P300, P200 成分和本研究有什么关联。目前我看不出有清晰和紧密的关联。

回应：根据您的问题，我们对引言进行了修改，针对每个具体问题的修改如下：

目标记忆模型是在 ACT*(Anderson, 1983)和 Soar (Newell, 1990)认知结构的基础上所提出的“目标”记忆。在 ACT*和 Soar 中，目标记忆是工作记忆的一部分，并被认为是工作记忆中唯一不需要排练来维持激活的元素。因此“目标记忆模型”中的“目标记忆”确属“工作记忆”。相关说明已通过修改引言第二段进行体现：“基于 ACT*认知结构(Anderson, 1983)

所提出的目标记忆模型（Memory for Goals, MFG）是目前接受度最广的中断认知模型。”，“MFG 模型的“目标”作为工作记忆的元素之一指的是一种意图的心理表征，即完成一项任务、达到某个特定的状态或采取某种心理、物理行动(Heath et al., 1999)。”

“n-back 作为一张典型的工作记忆范式，包含了对所记忆信息的在线编码、更新和维护过程，能够较全面地反映工作记忆的关键过程(Owen et al., 2005)。因此选择 2-back 范式作为主要任务。”（已在引言第五段中阐述）

ERP 指标测量体现注意力资源和工作记忆存储、维持、激活和检索的成分，并非工作记忆容量。通过引言第四段对前人研究的分析总结发现：“中断对人员的注意力和工作记忆均产生影响，但如何区别这两种认知机制对于作业绩效的影响以及各自的影响效应是怎样的，目前还尚未有相关研究工作开展。结合注意力、工作记忆机制和 2-back 任务，引言第五段描述了 P300 和 P200 成分反映“注意力资源”和“工作记忆”的相关研究，例如“P300 受反映注意力分配和工作记忆所调节(Lin et al., 2020; Polich, 2007)”，“P300 振幅对双任务中所使用的注意资源量敏感”，“受到充分注意的刺激能够促进成功的工作记忆存储、检索和识别，也会产生更大的 P300 振幅(Polich, 2007)”等描述。

P200 成分也能在一定程度上反映“注意力资源”和“工作记忆”，同时还与“视觉搜索”、“语言语境”等相关。为了避免提及与本研究不相关的认知过程造成读者的误解，我们删除了“语言语境信息”、“重复效应”等无关描述。

意见 3: P.1: 什么是“强化约束”和“启动约束”？

回应：在目标记忆模型（Memory for Goals, MFG）中，“强化约束”即表明，必须增加新目标的激活，以主动克服中断干扰。这种强化过程并非瞬间的，因此存在一个行为的时间滞后来编码一个新的目标。且重要的是，滞后编码需要受到限制，因为在该子目标在将来不再是目标时，过度强化会使其成为（下一个目标）的干扰。

启动约束表示，只有在从相关提示启动提示的帮助下，才能恢复暂停（等待）的目标，以克服干扰。启动约束对任务环境的结构有影响，因为当目标需要被恢复（为了启动目标）时，启动提示需要与目标具有关联性，才可用于启动目标。

这两个词可能对于第一次了解该模型的读者来说较难理解，因此我们修改了这部分的撰写，将其用更易懂的语言进行描述。“基于 ACT*认知结构（安德森，1983 年）所提出的目标记忆模型（Memory for Goals, MFG）是目前接受度最广的中断认知模型。该模型认为在中断后短时间内绩效下降的主要原因是由于中断造成了人员对主任务记忆激活程度的降低(Altmann & Trafton, 2002)，因而在返回主任务后的一段时间，需要克服中断任务的干扰来恢复对主任务记忆的激活程度(Saxby et al., 2013)，从而出现了中断后恢复延迟。MFG 模型的“目标”作为工作记忆的元素之一指的是一种意图的心理表征，即完成一项任务、达到某个特定的状态或采取某种心理、物理行动(Heath et al., 1999)。如图 1 所示，目标 1 为主任务，当中断任务（目标 2）出现后这个新目标的激活程度快速增高以指导行为，而原目标 1 的记忆逐渐衰退；结束中断返回主任务时需要目标 1 的记忆重新检索与激活，当目标 1 激活水平高于中断目标 2 的干扰水平后便返回主任务的执行阶段。”（1 引言章节，第二段）

意见 4: P. 2: “可关于疲劳状态 对于中断后工作记忆及其相关绩效的影响研究到目前为止几乎没有。” 这样讲没问题，但是请简述疲劳对工作记忆的影响，有很多这方面的研究工作。如果疲劳对工作记忆无影响，看疲劳对工作记忆任务中断后的影响还有什么意义？

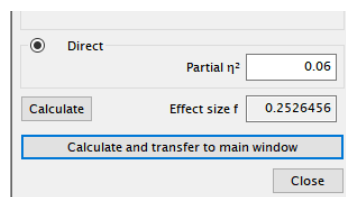
回应：感谢您的意见。我们已在引言中补充了一些关于疲劳对工作记忆影响的研究工作。同时，与注意力机制相关研究也一并进行了描述。

“同时 P300 作为评价工作记忆任务下心理疲劳模型的有效指标，研究表明随着心理疲劳的

加深, P300 振幅出现明显下降(Fan et al., 2018), 能够在一定程度上说明心理疲劳的产生对人员的注意力和记忆力了造成损害。心理疲劳会导致脑额叶执行功能减弱, 从而造成目标定向注意力减少, 使人员更容易出现刺激驱动注意方式(Boksem et al., 2005), 选择注意能力的下降(Zhang, 2009), 可能表现为对不相关信息的抑制能力减弱 (Faber et al., 2012)。由于工作记忆涉及了信息编码、信息维持和信息检索提取三个阶段(客体信息在视觉工作记忆中的维持与提取研究, 杨平), 随着疲劳程度的加深, 自上而下注意控制能力的削弱, 工作记忆也会随之受到影响(Liao, 2018)。”(见引言第 6 段)

意见 5: 方法部分: G*Power 里面使用的效应是 (r) 指的是什么统计检验的效应量, 不应该是 f 么? 后面的数据分析部分有讲使用的效应量为偏 eta 方, 跟 power analysis 里面用的 r 统计量有什么关系? 20 个被试在 ERP 研究里面很难达到统计效力充足, 这是常识。

回应: 感谢您的指正, 确实应为 f, 已进行修改。G*Power 中可将效应量偏 eta 方与 f 值进行计算转化, 如下图所示。



由于当时的疫情原因, 仅召集了 20 名被试。20 个被试的样本量确实为小样本, 但我们对于实际统计效力进行了检验。文献 Lakens D, Caldwell A R. Simulation-Based Power Analysis for Factorial Analysis of Variance Designs[J]. Advances in Methods and Practices in Psychological Science, 2021, 4(1): 2515245920951503.提出了应用于多因素被试内实验的方差分析 power 分析(https://shiny.ieis.tue.nl/anova_power/)。基于此, 我们对各因变量结果进行了检验, 检验结果如表 1 所示。可以看出, 对于统计结果显著的效应(包括主效应和交互效应), 其 Power 值均大于 0.8 (表中显示 power 值为百分数形式)。

因此, 我们认为本研究虽然为小样本量, 但统计效力是足够的。另外在讨论部分最后的不足之处撰写时, 加入了样本量较小这一不足之处。

表 1 统计效力分析

	Power Analysis Output																												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Power for ANOVA Effects</th> </tr> <tr> <th></th> <th>power</th> <th>effect_size</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>anova_FATIGUE</td><td>11.00</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>anova_TASK</td><td>6.55</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>anova_TRIAL</td><td>92.65</td><td>0.42</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK</td><td>26.45</td><td>0.12</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TRIAL</td><td>31.65</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>anova_TASK:TRIAL</td><td>11.45</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK:TRIAL</td><td>7.15</td><td>0.06</td></tr> </tbody> </table>	Power for ANOVA Effects				power	effect_size	anova_FATIGUE	11.00	0.07	anova_TASK	6.55	0.05	anova_TRIAL	92.65	0.42	anova_FATIGUE:TASK	26.45	0.12	anova_FATIGUE:TRIAL	31.65	0.14	anova_TASK:TRIAL	11.45	0.07	anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	7.15	0.06	
Power for ANOVA Effects																													
	power	effect_size																											
anova_FATIGUE	11.00	0.07																											
anova_TASK	6.55	0.05																											
anova_TRIAL	92.65	0.42																											
anova_FATIGUE:TASK	26.45	0.12																											
anova_FATIGUE:TRIAL	31.65	0.14																											
anova_TASK:TRIAL	11.45	0.07																											
anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	7.15	0.06																											
P200 平均振幅-额区	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Power for ANOVA Effects</th> </tr> <tr> <th></th> <th>power</th> <th>effect_size</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>anova_FATIGUE</td><td>5.65</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>anova_TASK</td><td>4.50</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>anova_TRIAL</td><td>88.00</td><td>0.36</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK</td><td>16.35</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TRIAL</td><td>8.80</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>anova_TASK:TRIAL</td><td>4.85</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK:TRIAL</td><td>5.40</td><td>0.05</td></tr> </tbody> </table>	Power for ANOVA Effects				power	effect_size	anova_FATIGUE	5.65	0.05	anova_TASK	4.50	0.05	anova_TRIAL	88.00	0.36	anova_FATIGUE:TASK	16.35	0.09	anova_FATIGUE:TRIAL	8.80	0.07	anova_TASK:TRIAL	4.85	0.05	anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	5.40	0.05	P200 平均振幅-中央区
Power for ANOVA Effects																													
	power	effect_size																											
anova_FATIGUE	5.65	0.05																											
anova_TASK	4.50	0.05																											
anova_TRIAL	88.00	0.36																											
anova_FATIGUE:TASK	16.35	0.09																											
anova_FATIGUE:TRIAL	8.80	0.07																											
anova_TASK:TRIAL	4.85	0.05																											
anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	5.40	0.05																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Power for ANOVA Effects</th> </tr> <tr> <th></th> <th>power</th> <th>effect_size</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>anova_FATIGUE</td><td>23.75</td><td>0.12</td></tr> <tr><td>anova_TASK</td><td>7.75</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>anova_TRIAL</td><td>19.85</td><td>0.11</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK</td><td>12.90</td><td>0.08</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TRIAL</td><td>4.90</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>anova_TASK:TRIAL</td><td>15.50</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK:TRIAL</td><td>4.70</td><td>0.05</td></tr> </tbody> </table>	Power for ANOVA Effects				power	effect_size	anova_FATIGUE	23.75	0.12	anova_TASK	7.75	0.06	anova_TRIAL	19.85	0.11	anova_FATIGUE:TASK	12.90	0.08	anova_FATIGUE:TRIAL	4.90	0.05	anova_TASK:TRIAL	15.50	0.09	anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	4.70	0.05	P200 平均振幅-顶区
Power for ANOVA Effects																													
	power	effect_size																											
anova_FATIGUE	23.75	0.12																											
anova_TASK	7.75	0.06																											
anova_TRIAL	19.85	0.11																											
anova_FATIGUE:TASK	12.90	0.08																											
anova_FATIGUE:TRIAL	4.90	0.05																											
anova_TASK:TRIAL	15.50	0.09																											
anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	4.70	0.05																											

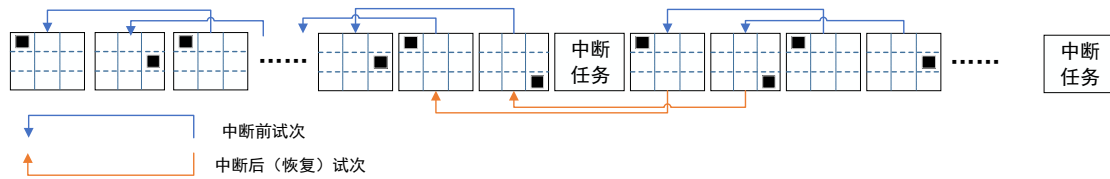
<p>Power Analysis Output</p> <p>Power for ANOVA Effects</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>power</th> <th>effect_size</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>anova_FATIGUE</td><td>16.25</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>anova_TASK</td><td>7.60</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>anova_TRIAL</td><td>85.30</td><td>0.36</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK</td><td>27.15</td><td>0.13</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TRIAL</td><td>72.00</td><td>0.29</td></tr> <tr><td>anova_TASK:TRIAL</td><td>66.75</td><td>0.26</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK:TRIAL</td><td>8.40</td><td>0.06</td></tr> </tbody> </table>		power	effect_size	anova_FATIGUE	16.25	0.09	anova_TASK	7.60	0.06	anova_TRIAL	85.30	0.36	anova_FATIGUE:TASK	27.15	0.13	anova_FATIGUE:TRIAL	72.00	0.29	anova_TASK:TRIAL	66.75	0.26	anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	8.40	0.06	<p>Power Analysis Output</p> <p>Power for ANOVA Effects</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>power</th> <th>effect_size</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>anova_FATIGUE</td><td>18.55</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>anova_TASK</td><td>6.45</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>anova_TRIAL</td><td>28.45</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK</td><td>26.30</td><td>0.13</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TRIAL</td><td>24.60</td><td>0.12</td></tr> <tr><td>anova_TASK:TRIAL</td><td>5.25</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK:TRIAL</td><td>14.20</td><td>0.08</td></tr> </tbody> </table>		power	effect_size	anova_FATIGUE	18.55	0.10	anova_TASK	6.45	0.06	anova_TRIAL	28.45	0.14	anova_FATIGUE:TASK	26.30	0.13	anova_FATIGUE:TRIAL	24.60	0.12	anova_TASK:TRIAL	5.25	0.05	anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	14.20	0.08	<p>Power Analysis Output</p> <p>Power for ANOVA Effects</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>power</th> <th>effect_size</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>anova_FATIGUE</td><td>83.95</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>anova_TASK</td><td>9.35</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>anova_TRIAL</td><td>49.30</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK</td><td>6.30</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TRIAL</td><td>5.35</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>anova_TASK:TRIAL</td><td>50.15</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK:TRIAL</td><td>5.45</td><td>0.05</td></tr> </tbody> </table>		power	effect_size	anova_FATIGUE	83.95	0.35	anova_TASK	9.35	0.07	anova_TRIAL	49.30	0.20	anova_FATIGUE:TASK	6.30	0.06	anova_FATIGUE:TRIAL	5.35	0.05	anova_TASK:TRIAL	50.15	0.20	anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	5.45	0.05
	power	effect_size																																																																								
anova_FATIGUE	16.25	0.09																																																																								
anova_TASK	7.60	0.06																																																																								
anova_TRIAL	85.30	0.36																																																																								
anova_FATIGUE:TASK	27.15	0.13																																																																								
anova_FATIGUE:TRIAL	72.00	0.29																																																																								
anova_TASK:TRIAL	66.75	0.26																																																																								
anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	8.40	0.06																																																																								
	power	effect_size																																																																								
anova_FATIGUE	18.55	0.10																																																																								
anova_TASK	6.45	0.06																																																																								
anova_TRIAL	28.45	0.14																																																																								
anova_FATIGUE:TASK	26.30	0.13																																																																								
anova_FATIGUE:TRIAL	24.60	0.12																																																																								
anova_TASK:TRIAL	5.25	0.05																																																																								
anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	14.20	0.08																																																																								
	power	effect_size																																																																								
anova_FATIGUE	83.95	0.35																																																																								
anova_TASK	9.35	0.07																																																																								
anova_TRIAL	49.30	0.20																																																																								
anova_FATIGUE:TASK	6.30	0.06																																																																								
anova_FATIGUE:TRIAL	5.35	0.05																																																																								
anova_TASK:TRIAL	50.15	0.20																																																																								
anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	5.45	0.05																																																																								
P200 峰值潜伏期-额区	P200 峰值潜伏期-中央区	P200 峰值潜伏期-顶区																																																																								
<p>Power for ANOVA Effects</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>power</th> <th>effect_size</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>anova_FATIGUE</td><td>84.90</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>anova_TASK</td><td>84.85</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>anova_TRIAL</td><td>100.00</td><td>0.65</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK</td><td>6.95</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TRIAL</td><td>9.70</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>anova_TASK:TRIAL</td><td>99.95</td><td>0.59</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK:TRIAL</td><td>8.30</td><td>0.06</td></tr> </tbody> </table>		power	effect_size	anova_FATIGUE	84.90	0.35	anova_TASK	84.85	0.35	anova_TRIAL	100.00	0.65	anova_FATIGUE:TASK	6.95	0.06	anova_FATIGUE:TRIAL	9.70	0.07	anova_TASK:TRIAL	99.95	0.59	anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	8.30	0.06	<p>Power for ANOVA Effects</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>power</th> <th>effect_size</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>anova_FATIGUE</td><td>79.00</td><td>0.31</td></tr> <tr><td>anova_TASK</td><td>88.30</td><td>0.37</td></tr> <tr><td>anova_TRIAL</td><td>89.35</td><td>0.38</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK</td><td>14.75</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TRIAL</td><td>7.50</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>anova_TASK:TRIAL</td><td>97.65</td><td>0.48</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK:TRIAL</td><td>6.25</td><td>0.06</td></tr> </tbody> </table> <p>Power for Pairwise Comparisons with t-tests</p>		power	effect_size	anova_FATIGUE	79.00	0.31	anova_TASK	88.30	0.37	anova_TRIAL	89.35	0.38	anova_FATIGUE:TASK	14.75	0.09	anova_FATIGUE:TRIAL	7.50	0.06	anova_TASK:TRIAL	97.65	0.48	anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	6.25	0.06	<p>Power Analysis Output</p> <p>Power for ANOVA Effects</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>power</th> <th>effect_size</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>anova_FATIGUE</td><td>72.55</td><td>0.29</td></tr> <tr><td>anova_TASK</td><td>90.40</td><td>0.38</td></tr> <tr><td>anova_TRIAL</td><td>88.90</td><td>0.38</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK</td><td>31.10</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TRIAL</td><td>5.45</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>anova_TASK:TRIAL</td><td>83.00</td><td>0.34</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK:TRIAL</td><td>9.95</td><td>0.07</td></tr> </tbody> </table>		power	effect_size	anova_FATIGUE	72.55	0.29	anova_TASK	90.40	0.38	anova_TRIAL	88.90	0.38	anova_FATIGUE:TASK	31.10	0.14	anova_FATIGUE:TRIAL	5.45	0.05	anova_TASK:TRIAL	83.00	0.34	anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	9.95	0.07
	power	effect_size																																																																								
anova_FATIGUE	84.90	0.35																																																																								
anova_TASK	84.85	0.35																																																																								
anova_TRIAL	100.00	0.65																																																																								
anova_FATIGUE:TASK	6.95	0.06																																																																								
anova_FATIGUE:TRIAL	9.70	0.07																																																																								
anova_TASK:TRIAL	99.95	0.59																																																																								
anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	8.30	0.06																																																																								
	power	effect_size																																																																								
anova_FATIGUE	79.00	0.31																																																																								
anova_TASK	88.30	0.37																																																																								
anova_TRIAL	89.35	0.38																																																																								
anova_FATIGUE:TASK	14.75	0.09																																																																								
anova_FATIGUE:TRIAL	7.50	0.06																																																																								
anova_TASK:TRIAL	97.65	0.48																																																																								
anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	6.25	0.06																																																																								
	power	effect_size																																																																								
anova_FATIGUE	72.55	0.29																																																																								
anova_TASK	90.40	0.38																																																																								
anova_TRIAL	88.90	0.38																																																																								
anova_FATIGUE:TASK	31.10	0.14																																																																								
anova_FATIGUE:TRIAL	5.45	0.05																																																																								
anova_TASK:TRIAL	83.00	0.34																																																																								
anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	9.95	0.07																																																																								
P300 平均振幅-额区	P300 平均振幅-中央区	P300 平均振幅-顶区																																																																								
<p>Power Analysis Output</p> <p>Power for ANOVA Effects</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>power</th> <th>effect_size</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>anova_FATIGUE</td><td>47.15</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>anova_TASK</td><td>9.90</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>anova_TRIAL</td><td>82.90</td><td>0.34</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK</td><td>7.00</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TRIAL</td><td>6.60</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>anova_TASK:TRIAL</td><td>11.00</td><td>0.08</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK:TRIAL</td><td>13.15</td><td>0.08</td></tr> </tbody> </table>		power	effect_size	anova_FATIGUE	47.15	0.20	anova_TASK	9.90	0.07	anova_TRIAL	82.90	0.34	anova_FATIGUE:TASK	7.00	0.06	anova_FATIGUE:TRIAL	6.60	0.06	anova_TASK:TRIAL	11.00	0.08	anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	13.15	0.08	<p>Power Analysis Output</p> <p>Power for ANOVA Effects</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>power</th> <th>effect_size</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>anova_FATIGUE</td><td>31.70</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>anova_TASK</td><td>39.05</td><td>0.17</td></tr> <tr><td>anova_TRIAL</td><td>5.55</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK</td><td>5.60</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TRIAL</td><td>4.55</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>anova_TASK:TRIAL</td><td>6.95</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK:TRIAL</td><td>8.85</td><td>0.07</td></tr> </tbody> </table>		power	effect_size	anova_FATIGUE	31.70	0.14	anova_TASK	39.05	0.17	anova_TRIAL	5.55	0.05	anova_FATIGUE:TASK	5.60	0.05	anova_FATIGUE:TRIAL	4.55	0.05	anova_TASK:TRIAL	6.95	0.06	anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	8.85	0.07	<p>Power Analysis Output</p> <p>Power for ANOVA Effects</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>power</th> <th>effect_size</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>anova_FATIGUE</td><td>7.30</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>anova_TASK</td><td>24.00</td><td>0.12</td></tr> <tr><td>anova_TRIAL</td><td>100.00</td><td>0.74</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK</td><td>9.75</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TRIAL</td><td>6.50</td><td>0.06</td></tr> <tr><td>anova_TASK:TRIAL</td><td>5.95</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK:TRIAL</td><td>22.95</td><td>0.12</td></tr> </tbody> </table>		power	effect_size	anova_FATIGUE	7.30	0.06	anova_TASK	24.00	0.12	anova_TRIAL	100.00	0.74	anova_FATIGUE:TASK	9.75	0.07	anova_FATIGUE:TRIAL	6.50	0.06	anova_TASK:TRIAL	5.95	0.05	anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	22.95	0.12
	power	effect_size																																																																								
anova_FATIGUE	47.15	0.20																																																																								
anova_TASK	9.90	0.07																																																																								
anova_TRIAL	82.90	0.34																																																																								
anova_FATIGUE:TASK	7.00	0.06																																																																								
anova_FATIGUE:TRIAL	6.60	0.06																																																																								
anova_TASK:TRIAL	11.00	0.08																																																																								
anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	13.15	0.08																																																																								
	power	effect_size																																																																								
anova_FATIGUE	31.70	0.14																																																																								
anova_TASK	39.05	0.17																																																																								
anova_TRIAL	5.55	0.05																																																																								
anova_FATIGUE:TASK	5.60	0.05																																																																								
anova_FATIGUE:TRIAL	4.55	0.05																																																																								
anova_TASK:TRIAL	6.95	0.06																																																																								
anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	8.85	0.07																																																																								
	power	effect_size																																																																								
anova_FATIGUE	7.30	0.06																																																																								
anova_TASK	24.00	0.12																																																																								
anova_TRIAL	100.00	0.74																																																																								
anova_FATIGUE:TASK	9.75	0.07																																																																								
anova_FATIGUE:TRIAL	6.50	0.06																																																																								
anova_TASK:TRIAL	5.95	0.05																																																																								
anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	22.95	0.12																																																																								
P300 峰值潜伏期-额区	P300 峰值潜伏期-中央区	P300 峰值潜伏期-顶区																																																																								
<p>Power Analysis Output</p> <p>Power for ANOVA Effects</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>power</th> <th>effect_size</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>anova_FATIGUE</td><td>98.05</td><td>0.50</td></tr> <tr><td>anova_TASK</td><td>90.10</td><td>0.39</td></tr> <tr><td>anova_TRIAL</td><td>99.90</td><td>0.58</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK</td><td>43.10</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TRIAL</td><td>99.45</td><td>0.54</td></tr> <tr><td>anova_TASK:TRIAL</td><td>15.55</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK:TRIAL</td><td>43.60</td><td>0.18</td></tr> </tbody> </table>		power	effect_size	anova_FATIGUE	98.05	0.50	anova_TASK	90.10	0.39	anova_TRIAL	99.90	0.58	anova_FATIGUE:TASK	43.10	0.18	anova_FATIGUE:TRIAL	99.45	0.54	anova_TASK:TRIAL	15.55	0.09	anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	43.60	0.18	<p>Power Analysis Output</p> <p>Power for ANOVA Effects</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>power</th> <th>effect_size</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>anova_FATIGUE</td><td>100.00</td><td>0.71</td></tr> <tr><td>anova_TASK</td><td>63.20</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>anova_TRIAL</td><td>100.00</td><td>0.77</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK</td><td>43.80</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TRIAL</td><td>17.35</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>anova_TASK:TRIAL</td><td>94.20</td><td>0.43</td></tr> <tr><td>anova_FATIGUE:TASK:TRIAL</td><td>63.50</td><td>0.25</td></tr> </tbody> </table>		power	effect_size	anova_FATIGUE	100.00	0.71	anova_TASK	63.20	0.25	anova_TRIAL	100.00	0.77	anova_FATIGUE:TASK	43.80	0.18	anova_FATIGUE:TRIAL	17.35	0.10	anova_TASK:TRIAL	94.20	0.43	anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	63.50	0.25																									
	power	effect_size																																																																								
anova_FATIGUE	98.05	0.50																																																																								
anova_TASK	90.10	0.39																																																																								
anova_TRIAL	99.90	0.58																																																																								
anova_FATIGUE:TASK	43.10	0.18																																																																								
anova_FATIGUE:TRIAL	99.45	0.54																																																																								
anova_TASK:TRIAL	15.55	0.09																																																																								
anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	43.60	0.18																																																																								
	power	effect_size																																																																								
anova_FATIGUE	100.00	0.71																																																																								
anova_TASK	63.20	0.25																																																																								
anova_TRIAL	100.00	0.77																																																																								
anova_FATIGUE:TASK	43.80	0.18																																																																								
anova_FATIGUE:TRIAL	17.35	0.10																																																																								
anova_TASK:TRIAL	94.20	0.43																																																																								
anova_FATIGUE:TASK:TRIAL	63.50	0.25																																																																								
正确率 ACC	反应时 RT																																																																									

意见 6：“中断结束后，立即返回 2-back 主任务，要求被试判断中断后 出现的前两个 2-back 试次是否与中断出现前最后两个 2-back 试次相匹配。将每次中断结束 后出现的前两个 2-back 试次视为中断后恢复试次 ”，也就是说“中断后的恢复试次”与中断前的试次在任务要求上有本质的不同。数据分析中是否剔除了“中断后恢复试次”？

回应：抱歉由于我们撰写不够清楚造成了您的误解。“中断前试次”与“中断后恢复试次”并无本质不同。如下图所示，不论是中断前试次还是中断后试次，均为判断当前 2-back 任

任务的试次是否与之前间隔一个的 2-back 任务试次相同。

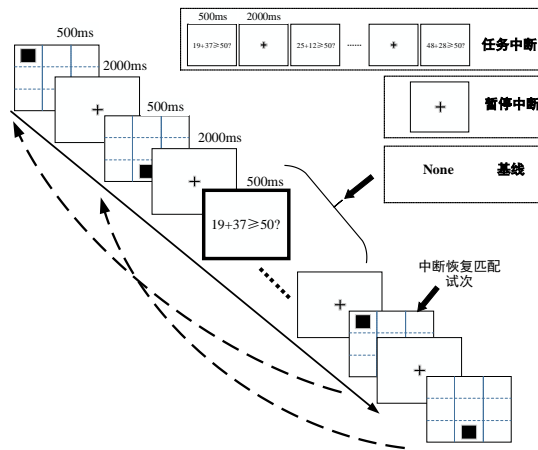
蓝色箭头代表判断当前试次相同与否时没有被中断打断，而橙色箭头代表了判断当前试次相同与否时经历了中断。二者唯一区别在于，中断后试次中间间隔时间较长。因此中断后恢复试次作为主要的研究对象并没有在数据分析中剔除。



意见 7: 数据分析:“采用 2(疲劳状态:疲劳, 不疲劳)*2(任务类型:任务中断, 暂停中断)*2(试次类型:中断前, 中断后)的三因素重复 测量方差分析”。这个分析是有问题的，见上面的 comment # 6。后面的反应时，主观评分和 ERP 数据的分析都有这个问题。

回应: 正如问题 6 回复时所述，我们认为中断前试次与中断后试次并无本质区别，因此没有修改分析方法。为了便您和其他读者更好的理解研究的实验设计与分析内容，我们修改了 2.2 节 实验刺激和实验任务的部分内容的撰写和对应的图示（文章稿件中为图 2）。

“中断结束后，立即返回 2-back 主任务，要求被试判断中断后出现的第一个 2-back 试次是否与中断倒数第二个试次相匹配；判断中断后第二个试次与中断前最后一个试次相匹配（如图 2 虚线箭头所示）；之后继续正常执行 2-back 任务。”



（文章稿件中）图 2 基于空间 2-back 范式的中断实验任务设计

意见 8: ERP 数据分析与哪些刺激锁时? 2-back 任务中序列出现的所有刺激，还是中断前的最后一个和中断后的第一个刺激？有没有区分正确和错误的反应？

回应: ERP 数据分析与空间 2-back 任务中所有刺激锁时。区分了正确和错误反应，并剔除了错误反应的 trial。

意见 9: NASA-TLX 量表, 只测量了其中的一个 项目，还是所有项目(mental demand, physical demand, temporal demand, performance, effort, & frustration)。

回应: 本研究使用 NASA-TLX 量表测量了所有项目，包括 mental demand, physical demand, temporal demand, performance, effort, frustration，并通过两两比较得到各项目权重从而计算总得分。已另外提供了研究所使用的量表。

.....

审稿人 2 意见:

意见 1: 引言部分, 第 2 段提到了目标记忆模型, 引出中断与工作记忆的关系。然而这一部分并未详细描述该模型是如何基于工作记忆机制构建的, 在引言其余部分也没有就中断对工作记忆的影响做出相应的前人研究表述。

回应: 请允许我首先说明: 结合您与另一位审稿人的意见, 我们对文章题目和引言部分都进行了修改。文章题目由“疲劳对作业中断过程中工作记忆的影响”改为“作业中断对任务绩效的影响及心理疲劳的调节作用”。本研究主要探究了作业中断对任务绩效的影响以及疲劳在其中的调节作用, 通过分析事件相关电位(ERP)揭示作业中断认知过程及疲劳对其影响机理。工作记忆在其中为关键认知机制但并非文章所讨论的全部内容, 注意机制在其中也具有影响作用。为了严谨性考虑, 更换了题目。因此, 引言部分可能并非仅围绕工作记忆的内容展开。

针对您提出的此问题:

目标记忆模型是在 ACT*(Anderson, 1983)和 Soar (Newell, 1990)认知结构的基础上所提出的“目标”记忆。在 ACT*和 Soar 中, 目标记忆是工作记忆的一部分, 并被认为是工作记忆中唯一不需要排练来维持激活的元素。我们在引言中补充说明了这一内容: “基于 ACT*认知结构(Anderson, 1983)所提出的目标记忆模型(Memory for Goals, MFG)是目前接受度最广的中断认知模型。”、“MFG 模型的“目标”作为工作记忆的元素之一指的是一种意图的心理表征, 即完成一项任务、达到某个特定的状态或采取某种心理、物理行动(Heath et al., 1999)。”(见引言, 第二段)

关于中断对工作记忆的影响相应的前人研究表述: “一些基于典型心理学范式的研究表明, 中断对工作记忆具有破坏性, 被中断的工作记忆没有保留而是在中断后重新激活(Clapp et al., 2010)。Hakim 等人(2019)研究了任务无关中断对工作记忆的神经表征的影响, 发现在中断后注意力发生转移, 在任务恢复后工作记忆从离线存储中检索信息。有学者应用延迟识别范式证实了最佳工作记忆依赖于通过神经抑制有效过滤无关信息, 从而防止有限的记忆容量过载, 并验证了中断练习对工作记忆有积极影响(Berry et al., 2009)。”(见引言, 第三段)

意见 2: 引言部分, 第 5 段“因此选择空间 2-back 作为中断实验的主任务, 试图诱发被试疲劳状态”但又在 2.2 实验刺激和实验任务部分的第 2 段提出“使用图 4 所示的持续性操作任务 (AX-CPT) 诱发被试的脑力疲劳状态”, 关于本文中疲劳概念存在两种操作性定义, 实验中疲劳产生的效应该从哪个角度进行解释?

回应: 抱歉此处撰写有歧义造成了您的误解。本研究仅采用持续性操作任务 (AX-CPT) 诱发被试的心理疲劳 (mental fatigue) 状态。已将引言部分第 5 段该句话修改为“因此选择空间 2-back 作为中断实验的主任务, 并通过 AX-CPT 任务诱发被试心理疲劳状态”。本文所探讨的疲劳均指由任务诱发的心理疲劳。

意见 3: 方法部分, 2.2 设计了任务中断和暂停中断, 提到了注意力的意外中止情况。但是这两种任务的区分以及注意是如何在中断与工作记忆之间起作用, 基于此提出注意力的机制问题显得有些突兀, 支撑证据不足。此外, 作者并未提供文献支撑, 说明这两种中断的差异, 以及为何使用这两种中断任务。

回应: 我们对引言部分进行了修改, 与工作记忆一样, 分析了注意力机制的相关研究和问题, 以避免突兀。

“Hakim 等人(2019)研究了任务无关中断对工作记忆的神经表征的影响, 发现在中断后注意力发生转移, 在任务恢复后工作记忆从离线存储中检索信息。”(见引言, 第三段)

“且通过既有的研究发现，中断对人员的注意力和工作记忆均产生影响，但如何区别这两种认知机制对于作业绩效的影响以及各自的影响效应是怎样的，目前还尚未有相关研究工作开展。”（见引言，第三段）

“同时 P300 作为评价工作记忆任务下心理疲劳模型的有效指标，研究表明随着心理疲劳的加深，P300 振幅出现明显下降(Fan et al., 2018)，能够在一定程度上说明心理疲劳的产生对人员的注意力和记忆力了造成损害。心理疲劳会导致脑额叶执行功能减弱，从而造成目标定向注意力减少，使人员更容易出现刺激驱动注意方式(Boksem et al., 2005)，选择注意能力的下降(Zhang, 2009)，可能表现为对不相关信息的抑制能力减弱 (Faber et al., 2012)。由于工作记忆涉及了信息编码、信息维持和信息检索提取三个阶段（客体信息在视觉工作记忆中的维持与提取研究，杨平），随着疲劳程度的加深，自上而下注意控制能力的削弱，工作记忆也会随之受到影响(Liao, 2018)。”（见引言，第六段）

此外，在提出本研究内容时，说明了为何使用这两种中断任务。“因此选择空间 2-back 作为中断实验的主任务，设计简单数学题为任务中断，为了区分和比较注意力转移和工作记忆激活程度降低对工作绩效各自的影响效应，设计了无注意转移和操作的暂停中断。”（见引言，第五段）

在 2.2 实验刺激和实验任务章节，也再次说明了设计暂停中断的目的。“同时还设计了暂停中断，即无需任何操作的长时间注视，以分析中断期间不相关信息的注意转移对绩效和 ERP 成分的影响。暂停时长与数学题任务中断总时长保持一致。”（见 2.2，第一段）

意见 4: 方法部分，2.2 中，2-back 任务采用了多少 trail，2-back 任务中插入了多少次中断，ERP 叠加的是中断后的 1 个还是 2 个 trial 或者是以其他方法进行叠加，叠加的次数是否足够？同时，持续性操作任务（AX-CPT）每一次刺激呈现的时间以及详细任务规则不清楚。
回应: 两次中断之前包括 2 个中断后和 12 个中断前试次，任务中断和暂停中断情况下均包含 312 个中断前试次和 48 个中断后试次。实验设置对照的不中断基线任务，即 2-back 任务，包含 320 个 2-back 试次，以用于比较有无中断情况下主任务绩效的差别。（此部分添加至 2.2 节第一段）

对同一实验条件下（任务中断组、暂停中断组和基线组）的所有同类型试次进行叠加。去伪迹后，用于叠加的试次平均接受率为 89.79%。（此部分添加至 2.3 节第二段）

对于持续性操作任务（AX-CPT），修改了文章手稿中的图 4，标记了每一次刺激呈现的时间（200ms）以及每组之间的间隔时间（1000ms），并对该任务进行了细致的阐述。

“线索、测和干扰刺激呈现时长均为 200 ms，每组之间留有 1000 ms 间隔用于被试响应。要求被试对目标试次按下空格键响应，其他非目标试次均不作任何响应。”（此部分添加至 2.2 节第三段）

且在疲劳过程中，“每间隔 20min 检查 AX-CPT 任务的正确率，当正确率高于 85%时，此时段才被计数有效诱发时间。”（此部分添加至 2.2 节第一段）

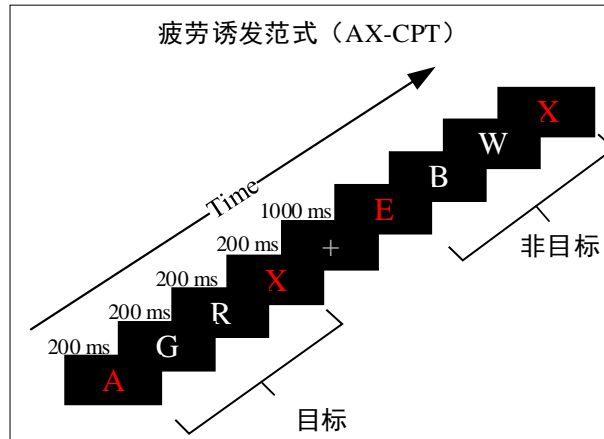


图 4 疲劳诱发范式 AX-CPT

意见 5: 方法部分，在 2.4 与 3.1 均提到了对主任务绩效的分析。但根据全文和引言来看，作者想要研究的是中断对中断后任务绩效的影响，那么在这个地方分析主任务绩效是否有意义？换句话说，如果作者的目标之一是探讨中断对后续对主任务的影响，那使用 n-back 任务是否合适？2-back 任务中被试由于任务中断导致任务后两个 trail 的绩效降低，然而过了这两个 trail 进入任务前试次时，被试的任务则不会再受到中断的影响。因此任务前试次如果足够多，这种简单的任务很明显不会导致主任务绩效降低。

回应: 感谢您的指正。相比之前的单因素分析的主任务总绩效（中断前+中断后）。我们关注的是不同类型的中断与基线情况相比，分别对中断前主任务绩效和中断后主任务绩效的影响（主任务指的是 2-back 任务，主任务这一说法是相对中断任务而言的）。我们认同您提出的单因素分析这一部分的分析结果可能会因为 2-back 试次的比例导致失去意义。因此已经修改为“通过 2（疲劳状态：疲劳，不疲劳）*3 任务类型（任务中断、暂停中断、基线不中断）的两因素重复测量方差分析，分别分析不同中断类型对于中断前、后主任务绩效影响的差异”，即将任务中断和暂停中断组的中断前试次比基线比较，中断后试次与基线比较。相应的因变量分析结果均已进行修改（见 3.1 第一段）。

意见 6: 结果部分，表与图不够规范，如表 1 缺少正确率的单位，表 2 每一列数字代表了什么？图 5 的误差线确定是置信区间吗？3.3.2 中第二段，应该详细说明在顶区中断任务类型和试次类型的交互作用与简单效应。

回应: 感谢您的指正，已对不规范图标进行了修改。已补充表 1 和图 5 中的正确率单位(%)；表 2 每一列数据都表示了均值和标准差，已在表头中说明；经核查，图 5 的误差线确为置信区间。

为便于比较各条件下的绩效情况，已将原来的任务中断和暂停中断的折线图，修改为包含任务中断、暂停中断和基线三种情况的条形图。

补充说明了顶区中断任务类型和试次类型的交互作用与简单效应，添加至 3.3.2 节第二段。

意见 7: 讨论部分，第 2 段提出“但这种加速效应是以付出更多的努力为代价的，从被试的主观脑力负荷评估结果也能够看出，任务中断引发了最高的主观脑力负荷，暂停中断次之，执行不中断的基础 2-back 任务时的负荷最低”，在三种任务类型所需的认知负荷存在差异的情况下，作者为何可以推断出三种任务类型间的主观脑力负荷差异是因为“加速效应”产生的？而不是由于任务间本身存在的认知负荷差异？

回应: 原本的撰写存在不恰当之处，我们已经修改了此部分并提供了文献支撑。“但这种加

速效应是以付出更多的努力为代价的，即补偿成本。这种补偿效应说明了补偿控制机制在绩效保护中的作用，补偿控制可视为对主任务绩效的保护与需投入的精神努力水平之间的权衡(Hockey, 1997)，在应对本研究中相对简单的 2-back 任务时，额外的努力很可能使被试主观脑力负荷增高。”（见讨论，第二段）

意见 8：讨论部分，第 3 段中提到，“暂停中断后试次的 P200 振幅相较任务中断后试次更高”。首先，引言中作者并未介绍两种中断的区别，也没有对暂停中断的相关研究进行介绍；其次，作者对这一结果的解释是认为暂停任务释放了更多注意资源，这一解释是否符合经验上的认知，暂停中断与任务中断相比从经验角度来说难道不是保留了更多注意资源？作者对这一解释也并未援引相关文献支撑。

回应：感谢您的指正。关于这一问题，我们原本的撰写确实存在一些不恰当之处，我们已对本部分的讨论进行了修改，并提供了文献支撑(Vil àBalló et al., 2018)。

“虽然没有发现统计学上的显著性差异，但从描述统计分析来看，暂停中断后试次的 P200 振幅相较任务中断后试次更高，一个可能的原因与工作记忆的主动维持有关，大部分的被试表明在暂停期间会反复回忆暂停前的试次以保证恢复后的正确执行，从而导致了 P2 波幅的升高。”

意见 9：讨论部分，第 6 段中提到‘非疲劳中断后出现的 Speedup 加速效应，体现在任务中断和暂停中断的中断前试次 P300 振幅的小幅度增高’。首先这一结果在结果部分作者并未报告；其次作者再次提到了这种补偿对主任务绩效的影响。作者需要明确是否需要讨论主任务绩效进行讨论。此外，如果主要关注的是中断对中断后试次的影响，那么对中断前试次在不同因素间比较是否有必要？

回应：“体现在任务中断和暂停中断的中断前试次 P300 振幅的小幅度增高”这一结果可从表 2 的描述性统计结果中可以看出，已在讨论中该句后面进行了标注（表 2）。

此研究确实主要关注对中断后试次的影响，但就实际意义来说，总体的工作绩效是大多情况下，实际问题中关注的重点。因此，我们认为讨论中对主任务总计总绩效进行一些分析是有必要和有意义的。

我们研究主要证实了中断对中断后绩效的负面影响，正是因为中断后绩效的下降才可能会导致总体绩效的下降，而从研究结果来看总体绩效没有表现出统计学上的显著性下降，因此才对中断前试次绩效的提高进行讨论。总体绩效没有下降的原因，一方面是加速效应产生的是被试在中断前试次绩效中出现了补偿结果；另一方面可能是由于中断前和中断后试次的比例问题（正如您在问题 5 中所提到的），也可以考虑为中断频率问题。因此我们在讨论中添加了这一部分的分析。

“此外，主任务总绩效没有出现显著性下降的另一个原因可能是中断频率并不高。中断主要导致了中断后绩效的下降而对中断前试次绩效并没有产生负面效应，中断频率高会导致中断后试次更多，从而使总绩效更明显。这与以往关于中断频率的研究结果是一致的，即越高的中断频率对任务总绩效的负面效应也就越大(Basoglu et al., 2000)。”（见 4 讨论，第二段）

意见 10：讨论部分，第 8 段作者提到“相比以往关注中断时长、中断频率等因素的研究更加关注记忆的时间衰退机制”。然而在引言部分并未提及时间衰退机制，也没有说明如何在前人基础上做出时间衰退机制的创新；在方法中使用的两种中断都是等时长的，并没有体现对时间衰退机制的更加关注。另外，作者的逻辑是“中断→注意→工作记忆”，然而在引言部分并未就这三者的关系进行较好地梳理，并且没有基于注意理论提出证据充足的假设。

回应：抱歉，此部分是由于引言和讨论部分撰写用词不一致造成了您的误解。原本想表达的

是：前人的研究更（仅）关注时间衰退机制，我们的研究在此基础上通过对比同等时长的任务中断和暂停中断进一步探究了任务中断无关信息的干扰机制。

“相比以往研究结合 MFG 模型讨论了中断过程中记忆激活程度随时间的衰退机制，即暂停的原主任务记忆逐渐被遗忘从而较难恢复，本研究通过对比同等时长的任务中断和暂停中断进一步证实了中断任务对于记忆的干扰机制。”（见讨论，第八段）

在引言第二段，我们进行了修改说明了工作记忆激活程度随时间的衰退的内容：“原目标 1 的记忆激活水平降低，且随着中断时长增加激活水平越低(Monk et al., 2008)”

另外，在引言部分，我们对中断对绩效影响效应的注意力和工作记忆相关内容进行了修改，对于原本缺少的关于注意理论的相关研究进行了补充，希望修改后的逻辑思路能够是您和读者更加清晰易懂。

“目前关于中断认知理论的探究大多采用实验法通过行为绩效数据来反映各因素与中断之间的相关性，较少从生理层面探究中断是如何影响工作绩效的。Rejer 和 Jankowski (2017) 研究了广告弹窗对于阅读任务的影响，通过分析广告出现前、展示时与消失后的 EEG 变化，发现广告中断降低了被试注意力，引发大脑前额叶区域 Beta 波活动整体下降，导致了前额叶不对称指数的显著变化，且不同个体间的差异较大。Kalgotra 等人(2019)探究了音频中断对阅读任务的影响，结果显示任务中断会引发多个脑区的变化，其中额叶、颞叶和岛叶的活动与中断关系最为密切。一些基于典型心理学范式的研究表明，中断对工作记忆具有破坏性，被中断的工作记忆没有保留而是在中断后重新激活(Clapp et al., 2010)。Hakim 等人(2019)研究了任务无关中断对工作记忆的神经表征的影响，发现在中断后注意力发生转移，在任务恢复后工作记忆从离线存储中检索信息。有学者应用延迟识别范式证实了最佳工作记忆依赖于通过神经抑制有效过滤无关信息，从而防止有限的记忆容量过载，并验证了中断练习对工作记忆有积极影响(Berry et al., 2009)。Zickerick 等人(2020, 2021)研究了连续数字记忆任务中断前后的 ERP 成分变化，表明中断后 P300 平均波幅显著高于中断前。但正如 Kalgotra 等人(2019)所述，目前关于任务中断时大脑活动的整体认知非常有限，因而还需要在这一领域开展更多新的研究。且通过既有的研究发现，中断对人员的注意力和工作记忆均产生影响，但如何区别这两种认知机制对于作业绩效的影响以及各自的影响效应是怎样的，目前还尚未有相关研究工作开展。”（见引言，第三段）

“同时 P300 作为评价工作记忆任务下心理疲劳模型的有效指标，研究表明随着心理疲劳的加深，P300 振幅出现明显下降(Fan et al., 2018)，能够在一定程度上说明心理疲劳的产生对人员的注意力和记忆力了造成损害。心理疲劳会导致脑额叶执行功能减弱，从而造成目标定向注意力减少，使人员更容易出现刺激驱动注意方式(Boksem et al., 2005)，选择注意能力的下降(Zhang, 2009)，可能表现为对不相关信息的抑制能力减弱 (Faber et al., 2012)。由于工作记忆涉及了信息编码、信息维持和信息检索提取三个阶段（客体信息在视觉工作记忆中的维持与提取研究，杨平），随着疲劳程度的加深，自上而下注意控制能力的削弱，工作记忆也会随之受到影响(Liao, 2018)。”（见引言，第六段）

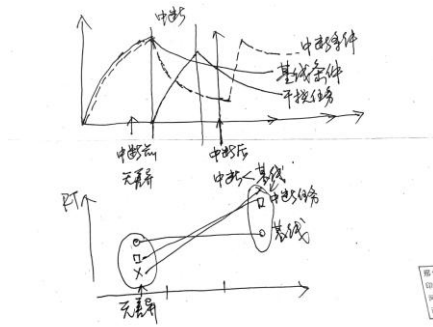
第三轮

审稿人 1 意见：

作者基本上比较满意地回复了我上一轮审稿提出的所有主要意见。我最后还有两个建议供作者参考。

意见 1： 论文缺少一个对结果的清晰的概括。最重要的是，本研究的结果如何支持了“中断

的目标记忆模型的中断信息干扰机制”？作者对结果有大段的理论阐释，但是我希望看到一张图来告诉读者本研究的结果与前述模型的预测是一致的(见附件中我手画的一个示例)。



回应：非常感谢您的建议与手绘。我们绘制了图 10 来汇总说明本研究的三种条件的分析结果，并在对应的讨论段落增加了相应的文字描述说明。

“如图 10 所示，和无中断的基线条件相比，中断期间被试对主任务的注意力资源减少，主任务记忆随着时间快速衰退，需要在返回主任务后激活，疲劳损害了大脑的认知记忆功能，使得激活数据减慢从而出现了中断恢复的延迟，因此不论是任务中断还是暂停中断，中断后试次的绩效都出现了下降。相比以往研究结合 MFG 模型讨论了中断过程中记忆激活程度随时间的衰退机制(Altmann et al., 2017)，即暂停的原主任务记忆逐渐被遗忘从而较难恢复，本研究通过对比同等时长的任务中断和暂停中断进一步证实了中断任务对于记忆的干扰机制。相比暂停中断，任务中断干扰的出现需要被试激活新的次要任务相关目标，对主任务的工作记忆造成了更多损害。主任务的工作记忆激活程度随时间逐步衰退的同时，干扰也造成记忆激活程度也相比无干扰的暂停中断降低的更多（图 10 中的黑色实线比蓝色实线在中断时降低更多）。在中断后结束后，任务中断需要抑制来自次要任务不相关信息的干扰，将注意力重新集中到主要任务上，因而出现更长的恢复延迟，这就导致任务中断相比暂停中断绩效降低更多，也进一步增加了被试的主观脑力负荷。”（见讨论倒数第三段）

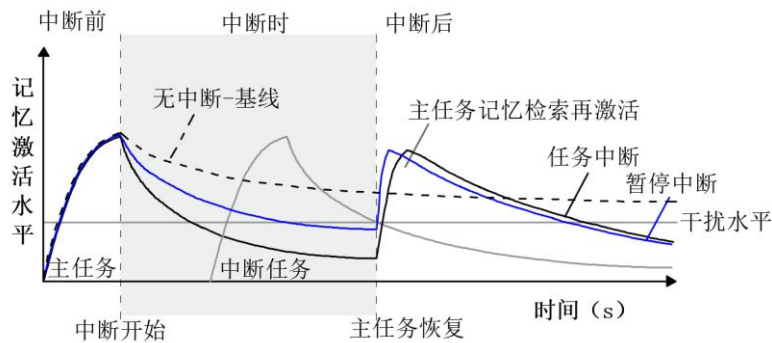


图 10 不同条件下的 P300 地形图

意见 2：方法和引言部分没有清楚地交待为何要设计两种不同的“中断”条件。

回应：在第一次大修后，对为何要设计两种不同的“中断”条件进行了简要阐述，此次修改又在此基础上进行了更详细的阐述。具体的相关阐述内容如下：

“且通过既有的研究发现，中断对人员的注意力和工作记忆均产生影响，但如何区别这两种认知机制对于作业绩效的影响以及各自的影响效应是怎样的，目前还尚未有相关研究工作开展。”（引言第三段最后部分）

“以往的研究仅探究了次要任务中断对后续绩效的影响，而忽视了暂停的中断的影响效应。根据中断的定义，作业中断不仅指被突然出现的次要任务所打断的现象，也包括在工作完成

前工作流的暂停所导致的注意力的意外中止。因此，为了区分和比较注意力转移和工作记忆激活程度降低对工作绩效各自的影响效应，设计了无注意转移和操作的暂停中断。通过分析中断前后大脑活动变化，比较不同类型中断的影响差异，探究中断对工作绩效的影响机制。”（引言第五段）

“实验设计了任务中断和暂停中断 2 种任务类型，一方面能够对暂停中断对中断后绩效的影响效应和机制进行探究，另一方面通过设定相同时长的暂停中断和任务中断，并比较二者的差异，进一步分析次要不相关任务的干扰对后续工作记忆和相关行为绩效的影响作用。”（方法 2.2 节第一段）

审稿人 2 意见：作者根据上次审稿意见进行了细致修改，对研究中不足地方进行修改，使研究质量得到了很大提升。同意发表。

编委意见：同意发表

主编意见：同意接受