

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：特质焦虑在面部表情前注意加工阶段的影响：来自 ERP 的证据

作者：李婉悦 刘燊 韩尚锋 张林 徐强

第一轮

审稿人 1 意见：目前来看，文章行文清晰流畅自然，但仍存在待改进之处。

意见 1：引言部分提供了条理分明的相关综述，但没有强调出该研究的意义，描述为考察机制与偏向，建议组织行文及补充一些前注意加工意义相关文献，前注意加工与注意聚焦的表情加工有什么区别，前注意加工研究能完善什么方面或者说前注意加工的偏向性在特质人格和表情方面会产生怎样的影响结果，若缺少相关文献，至少要展示出本研究假设的发展脉络与选择前注意加工阶段的具体意义。

回应：非常感谢审稿专家的意见！

(1) 关于注意聚焦与前注意加工的区别，我们在**第 24 页第 18 行**的引言部分进行了补充，具体如下：

“不同于有意识的注意，前注意加工是在注意聚焦之前，对刺激物是否需要进入注意加工阶段的一个自动化评估过程。在此过程中，大量的无用信息被过滤，从而节省认知资源，提高加工效率(Näätänen, Gaillard, & Mäntysalo, 1978)。”

(2) 关于探讨前注意加工的意义以及研究假设的发展脉络，我们在**第 24 页第 22 行引言部分**进行了补充，具体如下：

“结合 MMN 成分探讨特质性焦虑者在前注意阶段的面部表情加工，有助于了解高特质焦虑者对积极和消极情绪的过滤和评估模式，以明确其是否在注意聚焦之前已存在对情绪性刺激的加工偏向。基于此，本研究将采用 ERPs 技术，探讨特质焦虑在面部表情前注意加工阶段中的作用，考察特质焦虑者在前注意阶段对面部表情的加工机制。”

在第 25 页第 16 行引言部分进行了补充，具体如下：

“总之，以往研究表明，高特质焦虑者不仅存在负性情绪偏向，而且对包括快乐面孔在内的情绪信息存在普遍的过度敏感。因此，探讨特质焦虑在情绪信息加工中的作用机制，对于明确高特质焦虑者对于情绪信息的加工偏向具有重要意义。另外，上述研究都针对面部表情的注意加工阶段，而在面部表情的前注意加工阶段，特质焦虑的作用及其对情绪信息的偏向性表现目前尚不清楚。高特质焦虑者可能在注意聚焦之前对情绪刺激存在更加复杂的认知加工过程，故而在更为敏感的脑电和神经影像上表现出了与以往普遍的行为学研究不同的情

绪偏向。因此，探讨特质性焦虑在面部表情前注意加工阶段的影响，有助于了解个体在此阶段对情绪刺激进行了怎样的过滤和评估，进而有助于回答部分研究中关于注意聚焦阶段的情绪偏向性争议。”

在第 27 页第 2 行引言部分段落进行了补充，具体如下：

“总之，以往的研究为 EMMN 成分反映特定的情绪序列预测偏差提供了实验证据。因此，如果特质性焦虑者在前注意阶段对情绪信息表现出特殊的加工偏向，那么当出现与情绪序列预期违背时，高特质焦虑者可能与普通被试在 EMMN 的波幅上表现出显著差异。”

意见 2：另外，引言部分第二段后半部分仿佛就是第一段“还有研究者发现，高特质焦虑者不仅仅对负性刺激，而是对蕴含情绪信息的刺激存在普遍的注意偏向”的扩写。引言第一段的叙述顺序是面部表情、特质焦虑、前注意加工，与后文段落呈现稍有不符，整个引言部分对于听觉刺激的相关文献罗列篇幅过大。

回应：非常感谢审稿专家的意见！

(1)针对引言叙述的问题：

在行文上，引言部分第一段主要为阐明整体研究逻辑并提出研究问题。在该段落中我们论述了特质焦虑者在注意聚焦状态下的面部表情加工特点以及争议，并进一步提出，本研究关注了特质焦虑者在前注意状态下的面部表情加工，以探讨其是否在前注意之前已存在对情绪性刺激的特殊加工偏向。

引言部分的后续段落则分别从特质焦虑者在注意阶段的面部表情加工、前注意加工及其指标、面部表情的前注意加工、焦虑者的面部表情前注意加工等几个方面分别论述并提出问题。结合审稿专家的意见，为了与后文的叙述更加匹配，我们对**引言部分第一段**进行了调整。具体如下：

“尽管面部表情的加工具有快速、自动化、无意识的特性(Näätänen et al., 2011; Xu et al., 2018), 然而, 研究者发现性别、年龄以及人格特质等个体因素均能影响面部表情的知觉(Kato & Takeda, 2017; Xu et al., 2013; Young et al., 2013)。其中, 特质焦虑作为一种重要的人格特质, 在面部表情的加工过程中存在一定的影响。已有研究发现, 高特质焦虑者长期处于弥散的消极情绪中, 可能导致注意和记忆方面的偏差, 从而出现对负性情绪面孔的注意偏向(Park, et al., 2016)。然而, 还有研究者发现, 高特质焦虑者不仅仅对负性刺激, 而是对蕴含情绪信息的刺激存在普遍的注意偏向(e.g., Morel et al., 2014; Holmes et al., 2009; Donges et al. 2012)。不同于有意识的注意, 前注意加工是在注意聚焦之前, 对刺激物是否需要进入注意加工阶段的一个自动化评估过程。在此过程中, 大量的无用信息被过滤, 从而节省认知资源, 提高加工效率(Näätänen, Gaillard, & Mäntysalo, 1978)。失匹配负波(MMN, Mismatch Negativity)是探讨大脑对刺激信息的前注意加工的重要指标(Näätänen et al., 2007)。因此, 结合 MMN 成分探讨特质性焦虑者在前注意阶段的面部表情加工, 有助于了解高特质焦虑者对

积极和消极情绪的过滤和评估模式,以明确其是否在注意聚焦之前已存在对情绪性刺激的加工偏向。基于此,本研究将采用 ERPs 技术,探讨特质焦虑在面部表情前注意加工阶段中的作用,考察特质焦虑者在前注意阶段对面部表情的加工机制。”

(2)针对引言中听觉刺激相关文献罗列过多的问题:

MMN 成分最早来源于 Näätänen 等人(1978)针对听觉通道的实验研究中,由于 MMN 成分的诱发不需要有意识的注意,因此以往对其的探讨大多采用双通道实验:被试需要完成视觉通道上的实验任务而不必关注听觉通道信息,研究者的目的则是对听觉通道的标准刺激和偏差刺激进行比较,以得到 MMN 成分。为阐明 MMN 成分的发展,我们在引言部分罗列了一些来自听觉刺激的研究证据。近年来,对于 MMN 的研究不再局限于听觉刺激,研究者发现,简单的视觉刺激,如光栅、颜色、线条等同样可以诱发 MMN 成分(e.g., Astikainen et al., 2008; Czigler et al., 2002)。进而开始关注复杂的视觉刺激,如面部表情所诱发的 MMN (Astikainen et al., 2013; Stefanics, Astikainen, & Czigler, 2014)。

结合审稿专家的意见,我们对引言部分中过多的听觉刺激文献进行了删减,并增加了有关面部表情 MMN 的研究。具体如下:

在第 26 页第 10 行引言部分进行了修改:

“近年来,对于 MMN 的研究不再局限于听觉刺激,研究者发现,简单的视觉刺激,如光栅、颜色、线条等同样可以诱发 MMN 成分(e.g., Astikainen et al., 2008; Czigler et al., 2002)。进而开始关注复杂的视觉刺激,如面部表情所诱发的 MMN (Astikainen et al., 2013; Stefanics, Astikainen, & Czigler, 2014)。以往研究显示,面部表情诱发的 MMN 的时间窗口大约都在刺激呈现后的 70~360ms 之内(e.g., Astikainen & Hietanen, 2009; Kimura et al., 2012; Li et al., 2012; Stefanics et al., 2012)。在电极点的选择上,研究者们分别在额叶、顶叶和左右枕叶区域选取电极点进行比较后发现,与面孔情绪序列变化相关的 MMN 成分能够在左右枕叶区域被有效监测到(e.g., Astikainen et al., 2008; Kreegipuu et al., 2013)。进一步的,Zhao 和 Li (2006)发现,标准与偏差面孔刺激在情绪序列上的变化能够被自动化的探测,并诱发一种特殊的与表情相关的 MMN 成分。他们将由标准刺激(中性面孔)与偏差刺激(情绪面孔)相减得到的 ERP 成分命名为 EMMN (expressional MMN)。”

在引言部分删除了:

“Cornwell 等人(2007)使用脑磁图技术(MEG)测量了状态焦虑条件下个体对偏差声音刺激的特异性表现。实验中,被试随机处于预期焦虑状态(即将遭遇电击)或安全状态(没有电击)。结果发现预期焦虑中的被试在偏差声音刺激中表现出了右侧听觉皮层和顶叶活动的增强,并且随着被试焦虑水平的增加,皮层活动也在增强。”

本部分涉及的新增参考文献:

Astikainen, P., Lillstrang, E., & Ruusuvirta, T. (2008). Visual mismatch negativity for changes in orientation – a sensory memory-dependent response. *European Journal of Neuroscience*, 28(11), 2319-2324.

Czigler, I., Balázs, L., & Winkler, I. (2002). Memory-based detection of task-irrelevant visual changes.

Psychophysiology, 39(6), 869-873.

Park, G., Vasey, M. W., Kim, G., Hu, D. D., & Thayer, J. F. (2016). Trait anxiety is associated with negative interpretations when resolving valence ambiguity of surprised faces. *Frontiers in Psychology*, 7, Article Number: 1164.

Zhao, L., & Li, J. (2006). Visual mismatch negativity elicited by facial expressions under non-attentional condition. *Neuroscience Letters*, 410, 126-131.

意见 3: 方法部分 2.3 “目标刺激 “+” 的增大或减小总是发生在没有面孔图片呈现的间隔之中”，这个间隔具体是指什么，可详细说明。另外可先阐述刺激类型，什么是标准刺激和偏差刺激，再阐述刺激序列类型。“且偏差刺激之间至少间隔两个标准刺激，以建立情绪的感觉记忆模式并区分标准和偏差刺激。”可呈现更具体且概括的图。总的来说 2.3 部分讲解得不甚清晰。

回应: 非常感谢审稿专家的意见!

针对目标刺激 “+” 的变化发生在面孔间间隔的问题，具体来说：实验过程中被试需要将注意力放在屏幕中央的 “+” 的变化上，而不必关注 “+” 两旁快速呈现的大量面孔图片，以此实现对面部表情前注意加工的操作。由于我们需要在面孔呈现时记录脑电数据，为了避免 “+” 的变化以及被试的按键反应可能在脑电活动中产生的干扰，在面孔呈现的过程中 “+” 不会发生变化。只有在当前面孔消失、下一组面孔还未呈现的两组面孔的间隔中，“+” 的大小才会发生变化，而被试需要在此刻做出按键反应。下图呈现的即为 “+” 发生变化的一段实验序列。

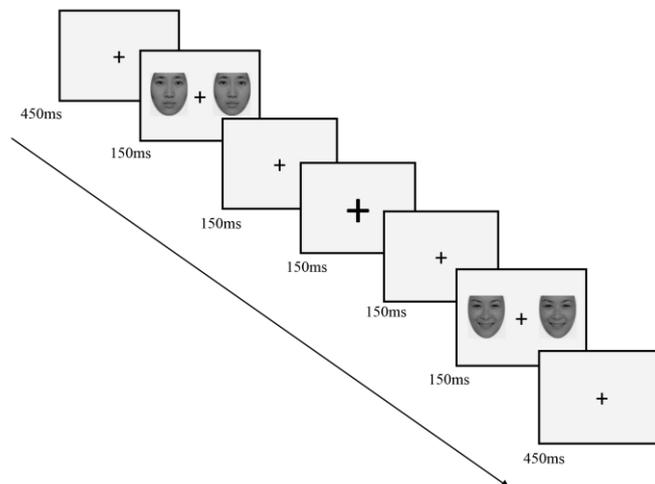


图 1 按键反应阶段示意图

针对标准刺激、偏差刺激的概念的阐述，我们已在第 25 页第 26 行的引言部分进行了补充，具体如下：

“失匹配负波(MMN)是 ERP 研究中通过将标准刺激反应(一般为 oddball 实验中大概率呈现的刺激)与偏差刺激反应(一般为 oddball 实验中小概率呈现的刺激)相减得到的差异波成分，反映了刺激序列中重复模式发生改变而导致个体产生的预期违背，是探讨大脑对刺激信

息的前注意加工的重要指标(Näätänen et al., 2007)。”

在**第 29 页第 8 行的 2.3 实验程序部分**进行了补充，具体如下：

“实验中的偏差刺激为小概率呈现的面孔图片，标准刺激为大概率呈现的面孔图片。偏差-标准的反转体现为：某些 block 中作为偏差刺激的面孔图片在另一些 block 中将作为标准刺激呈现，而作为标准刺激呈现的面孔图片则将反转为偏差刺激。因此，实验包括 4 种面部表情序列类型，分别为：中性标准刺激/快乐偏差刺激；快乐标准刺激/中性偏差刺激；中性标准刺激/悲伤偏差刺激；悲伤标准刺激/中性偏差刺激。”

另外，根据审稿专家的意见，我们对**第 29 页第 3 行的 2.3 实验程序部分**进行了修改，并**更改了实验流程示意图**，以期更好的体现实验过程。具体如下：

“采用偏差-标准反转 oddball 范式，在该范式中，屏幕中央出现“+”，两个相同的情绪面孔(快乐或悲伤或中性)同时出现在“+”两侧，被试需要关注视野中心的“+”大小变化，并根据变化迅速做出按键反应(在增大或减小时按 J 或 F 键，按键在被试间平衡)，而忽略“+”左右两侧呈现的面部表情图片。面孔图片刺激呈现 150ms，每组面孔图片之间间隔 450ms。目标刺激“+”的增大或减小总是发生在没有图片呈现的两组面孔间隔之中，以避免实验数据采集受到与任务相关活动的干扰。实验中的偏差刺激为小概率呈现的面孔图片，标准刺激为大概率呈现的面孔图片。偏差-标准的反转体现为：某些 block 中作为偏差刺激的面孔图片在另一些 block 中将作为标准刺激呈现，而作为标准刺激呈现的面孔图片则将反转为偏差刺激。因此，实验包括 4 种面部表情序列类型，分别为：中性标准刺激/快乐偏差刺激；快乐标准刺激/中性偏差刺激；中性标准刺激/悲伤偏差刺激；悲伤标准刺激/中性偏差刺激。每种类型 3 个 block，共 12 个 block，每个 block 包括 412 个面孔刺激，由 312 个标准刺激，90 个偏差刺激以及 10 个作为建立感觉记忆模式的标准刺激组成。每个 block 的顺序在被试间平衡。在刺激序列中，面部表情图片通过程序设定为伪随机呈现。例如在中性标准刺激/快乐偏差刺激的 block 中，实验序列将首先呈现 10 次中性面部表情图片作为标准刺激，然后呈现作为偏差刺激的快乐面部表情图片，且偏差刺激之间至少间隔两个标准刺激，以建立情绪的感觉记忆模式并区分标准和偏差刺激。具体实验流程如图 1。”

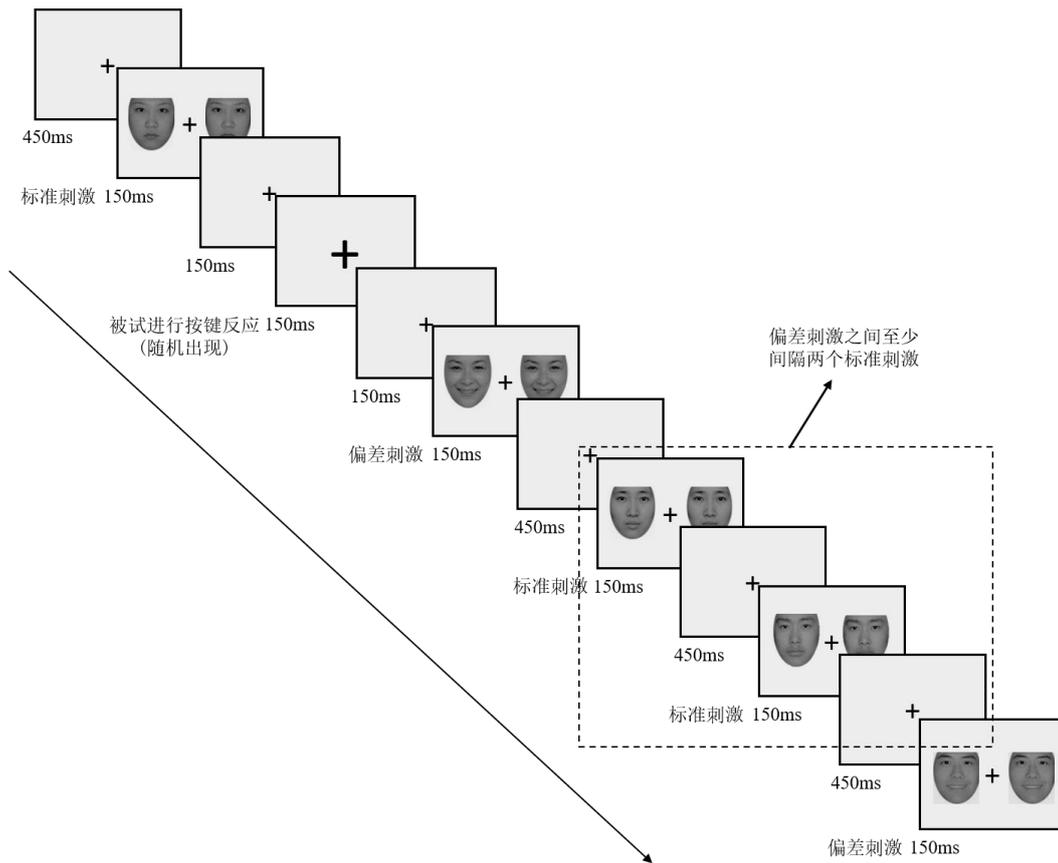


图 3 部分实验序列示意图

意见 4: 讨论部分可以增加研究的现实意义。该研究是否可以引出一些新问题，又如何解决，研究发现对于积极刺激有普遍偏向，但文章里没有看到关于这方面有哪些待改进之处；对于特质焦虑者在前注意这个特定阶段的情绪加工偏向的发现结果可以如何延伸与应用？既然是研究这个阶段，那么这个阶段的意义和价值应该着重体现出来。而对于结果的探讨可以增加“情绪类型和被试类型之间的交互作用显著”的证据支撑，比如特质焦虑与情绪刺激的相互作用方式。

回应: 非常感谢审稿专家的意见！

(1) 针对研究可以引出的新问题，我们在**第 36 页第 23 行的讨论部分**增加了相关内容，具体如下：

“高特质焦虑者在前注意阶段对情绪信息的过度敏感是否会影响其他更加复杂的认知功能，仍有待进一步探讨。另外，除了来自视觉通道的面孔图片之外，对于来自不同通道的其他情绪载体，例如情绪语音、身体语言和以及皮肤感觉等的加工是否同样存在这种普遍的情绪偏向？这些不同感觉通道的 MMN 成分表现是否存在差异？同样值得未来研究的进一步关注。”

(2) 针对本研究发现的意义和价值，本研究发现，特质焦虑影响面部表情的前注意加工，

高特质焦虑者在前注意阶段对普遍的情绪信息存在加工偏向,具体表现为高特质焦虑者在快乐和悲伤面孔条件下均诱发了更大波幅的 EMMN 成分,且高特质焦虑者在快乐面孔条件下的 EMMN 成分的波幅同样大于低特质焦虑者。

我们在**第 36 页第 16 行的讨论部分**增加了研究意义与价值相关的内容,具体如下:

“本研究强调了特质焦虑作为一种人格特质因素在情绪面孔前注意加工中的作用。研究发现高特质焦虑者对环境中与任务无关的情绪变化更为敏感,在前注意加工中表现出对情绪信息的普遍偏向。本研究有助于了解高特质焦虑者对情绪信息的过滤和评估模式,为高特质焦虑者存在的普遍的情绪偏向提供了实验证据。高、低特质焦虑组在 EMMN 振幅上的差异同样体现了特质焦虑在前注意阶段自动化加工的偏差,这些结果进一步为 MMN 成分的临床价值提供了实验证据。未来研究中,MMN 成分可能作为一种新的定量指标,用于对焦虑症等更多神经症的诊断、干预和治疗。”

(3) 根据审稿专家的意见,我们在**第 34 页第 19 行的讨论部分**补充了被试类型与情绪类型交互作用的证据支持。具体如下:

“Robinson 等人(2013)认为,焦虑影响了个体的感觉皮层系统的加工,使他们对环境中的微小变化更加敏感。本研究中,高特质焦虑者对快乐和悲伤情绪面孔表现出相似的 EMMN 成分,并且,高特质焦虑组的快乐 EMMN 振幅高于低特质焦虑组。这表明他们的过度警觉可能不仅限于消极情绪刺激,同样也包括了积极情绪。进而本研究提出,高特质焦虑者可能在前注意阶段中发生了对情绪信息普遍的加工偏向,导致其对面孔情绪序列的变化更加敏感。高特质焦虑者在前注意阶段对快乐和悲伤面孔存在类似的加工偏向,这种偏向在注意阶段也得到了验证。李婉悦等人(2019)发现,特质性焦虑在个体对面孔情绪的探测中存在调节作用,普通个体在面孔情绪识别过程中更易受到面孔所处环境的影响,表现出显著的场景效应;而高特质焦虑者在积极和消极面孔的识别中都更关注面孔情绪信息,较少受到环境的影响。研究者认为,高特质焦虑者更多关注面孔本身的情绪信息,并且可能存在面孔与场景的情绪整合困难。本研究结果也在一定程度上为注意聚焦状态下,高特质焦虑者在脑电和神经影像结果上表现出的普遍情绪偏向(e.g., Morel et al. 2014; Donges et al., 2012; Holmes et al. 2009)提供了证据支持,即高特质焦虑者在前注意阶段中仍然对快乐情绪进行加工,故而快乐情绪仍然有可能进入注意阶段。”

本部分涉及的新增参考文献:

李婉悦,韩尚锋,刘燊,杨亚平,张林,徐强. (2019). 场景对面孔情绪探测的影响:特质性焦虑的调节作用. *心理学报*, 51(8), 869-878.

[Li, W.Y., Han, S. F., Liu, S., Yang, Y. P., Zhang, L., Xu, Q. (2019). Scene effects on facial expression detection: The moderating effects of trait anxiety. *Acta Psychologica Sinica*, 51(8), 869-878.]

.....

审稿人 2 意见: 本文用偏差一标准反转 oddball 范式考察了高低特质性焦虑者表情自动加工

的差异，结果发现低焦虑组悲伤面孔相较快乐面孔诱发更大波幅的早期 EMMN，而高焦虑组两种面孔诱发的早期 EMMN 差异不显著，作者认为该结果说明高特质焦虑者在前注意阶段的情绪信息加工偏向是跨效价而存在的。论文选题有价值，设计合理，数据分析中规中矩，结果推论基本得当，有如下问题供作者参考。

意见 1: 问题提出时，主要强调“在前注意阶段，高特质焦虑者的对情绪面孔的加工偏向是否存在及其表现如何目前尚不清楚”。这样的问题提出方式比较苍白，也未触及本文的核心问题——高兴和悲伤两种偏差刺激加工在高低焦虑者中是否出现差异。建议深入整理研究问题，更为明晰地提出研究问题。假设也需要有更具针对性，而不是“在快乐和悲伤面孔诱发的 EMMN 成分上存在不同表现”这样泛化的表述。

回应: 非常感谢审稿专家的意见!

我们重新梳理了研究问题，将研究问题明确为：探讨高特质焦虑个体在前注意阶段对情绪刺激的加工模式，以探索其存在负性情绪偏向还是普遍的情绪偏向。

摘要部分修改为:

“为探讨高特质焦虑者在前注意阶段是否存在对情绪面孔存在普遍的加工偏向，本研究采用偏差—标准反转 oddball 范式探讨了特质性焦虑对面部表情前注意阶段的影响。”

第 24 页第 22 行的引言部分修改为:

“因此，结合 MMN 成分探讨特质性焦虑者在前注意阶段的面部表情加工，有助于了解高特质焦虑者对积极和消极情绪的过滤和评估模式，以明确其是否在注意聚焦之前就已存在对情绪性刺激的加工偏向。基于此，本研究将采用 ERPs 技术，探讨特质焦虑在面部表情前注意加工阶段中的作用，考察特质焦虑者在前注意阶段对面部表情的加工机制。”

第 28 页第 9 行的研究假设部分修改为:

“为探讨高特质焦虑个体在前注意阶段对情绪刺激的加工模式，明确其存在负性情绪偏向还是普遍的情绪偏向，本研究使用偏差—标准反转 oddball 范式(deviant-standard-reverse oddball)，采用 ERPs 技术考察高、低特质焦虑者对不同效价情绪面孔的前注意加工特性及其差异。我们提出如下假设：(1)如果个体可以对面部表情进行自动化的前注意加工，标准和偏差面部表情图片在情绪序列上的差异将导致 N170 波幅的变化并诱发 EMMN 成分；(2)高特质焦虑组在前注意阶段如果存在负性情绪偏向，那么将在悲伤面孔诱发的 EMMN 波幅上与低特质焦虑组存在差异。如果存在普遍的情绪偏向，那么在快乐和悲伤面孔诱发的 EMMN 波幅上可能与低特质焦虑组均存在差异。”

意见 2: 实验流程图，或者说实验流程有些奇怪，文章报告两个面孔间间隔 450 毫秒，如果仅以图的中间部分为主，这 450 毫秒包含了 3 个 150 毫秒，而中间这个“+”事实上是目标刺激的核心部分，显然 150 毫秒，即便加上后续 150 毫秒，被试的反应时间都是不够的。如果

被试在下一个 trial 的面孔呈现时仍在按键，那么 EMMN 就有按键反应的干扰了，那实验结果的可靠性就大受影响了。更要命的是，作者并没有报告反应时数据，连正确率数据也没有详细数据。

回应：非常感谢审稿专家的意见！

在实验方法上，本研究采用的是经过修改的 oddball 范式，主要操纵了情绪面孔和中性面孔图片作为刺激材料，并通过控制两类图片呈现频率的高低进行标准和偏差刺激的反转。为了将面部表情的加工限制在前注意阶段，实验中被试需要将注意集中在屏幕中间“+”的大小变化上，并在“+”变化时快速进行按键反应。由于行为数据仅为考察被试是否专注于实验任务，与研究问题无关，因此在原文中我们没有详细报告行为学结果。

根据审稿专家的意见，我们进一步分析了行为学结果。在正确率上，高、低特质焦虑组之间差异不显著， $F(1, 38) = 0.37$, $p = 0.547$ (高组: $M = 0.91$, $SE = 0.028$; 低组: $M = 0.92$, $SE = 0.023$)。

针对 EMMN 成分可能受到按键干扰的问题，本研究共包括 12 个 block，每个 block 包括 412 个面孔刺激，由 312 个标准刺激，90 个偏差刺激以及 10 个作为建立感觉记忆模式的标准刺激组成。而每一个 block 中“+”的变化次数(即被试需要进行按键反应的次数)大约为 15 次。在大部分实验过程中，被试只需要高度关注“+”，但实际上“+”并没有发生变化，也不需要进行按键反应。实验过程中，在大多数脑电数据采集的前后，“+”并没有发生变化，被试也不需要进行按键反应。因此，按键反应对脑电成分的影响是比较有限的。

诚如审稿专家所言，被试在面孔呈现时如果仍进行按键反应，存在一定干扰脑电结果的可能性。这也是我们在后续实验设计以及对被试的控制上仍然需要关注的地方。再一次感谢审稿专家的意见。

意见 3: 数据分析中，时间窗和电极点的选择没有提供依据，事实上，N170 和 MMN 的有一定的重叠。

回应：非常感谢审稿专家的意见！

(1) 针对数据分析中时间窗口和电极点选择的问题：

在对于 N170 成分的时间窗口和电极点选择上，以往研究发现，N170 成分主要分布在颞枕区域，反映了早期知觉阶段的面孔结构编码，大约在面孔刺激呈现后 170ms 达到最大峰值(Hinojosa et al., 2015)。以往关注 N170 成分的研究大多选择了分布于左、右颞枕区域的 P5/6, P7/8, PO7/8 等电极点，分析的时间窗口大约在以 170ms 为中心的 120~220ms 之间(e.g., Righart & de Gelder., 2008; Xu et al., 2013; Song et al., 2017)。参照 N170 成分的特性，本研究选取的 N170 时间窗口为 150~190ms，电极点为：左侧 P7、PO7，左侧 P8、PO8。

在对于 MMN 成分的时间窗口和电极点选择上，我们主要参照了以往关于 vMMN (Visual Mismatch Negativity)的研究。vMMN 主要关注一些简单的视觉刺激，如光栅、颜色

等(e.g., Astikainen et al., 2008; Czigler et al., 2002)。对于面部表情之类的复杂刺激,研究者总体上选择的区间大约都在刺激呈现后的 70~360ms 之内(e.g., Astikainen & Hietanen, 2009; Kimura et al., 2012; Li et al., 2012; Stefanics et al., 2012)。在电极点的选择上,研究者们分别在额叶、顶叶和左右枕叶区域选取电极点进行比较后发现,与面孔情绪序列变化相关的 vMMN 成分能够在左右枕叶区域被有效监测到(e.g., Astikainen et al., 2008; Kreegipuu et al., 2013)。进一步的,Zhao 和 Li (2006)将由标准刺激(中性面孔)与偏差刺激(情绪面孔)相减得到的 ERP 成分命名为 EMMN (expressional MMN)。他们认为,标准与偏差面孔刺激在情绪序列上的变化能够被自动化的探测,并诱发一种特殊的与表情相关的 EMMN 成分。在电极点的选择上,他们结合地形图选取了分布于左、右颞枕区的 P7/8, PO7/8 和 CB1/2。类似的区域以及电极点的选择同样可见于 Li 等人(2012)、Xu 等人(2013)以及 Astikainen 等人(2013)的研究中。

总之,基于以往研究中对于 N170 和 EMMN 成分的探索,并结合本研究的实验设计以及总平均图和头皮分布,本研究选择了 EMMN 成分的时间窗口和电极点分别为:早期 100~220ms,晚期 220~380ms,左侧 P7、PO5、PO7,右侧 P8、PO6、PO8。N170 的时间窗口为 150-190ms,电极点为:左侧 P7、PO7,左侧 P8、PO8。

(2) 针对 N170 和 MMN 存在部分重叠的问题:

虽然 N170 和 MMN 在头皮分布以及主要活动的时间窗口上存在一定的相似性,但是对于 N170 是进行原始波的分析,而对于 MMN 则是差异波的分析,二者存在不同的计算方法,也反映了不同的认知功能。Astikainen 等(2013)通过实验设计以及独立成分分析(ICA)的方法将两种成分所体现的大脑功能进行了分离。研究发现存在两个独立成分,分别在刺激呈现后大约 130ms 和 170ms 潜伏期。170ms 的独立成分在地形图上表现出左右侧顶枕叶负性和额叶正性,与以往研究中 N170 的地形图相似,符合面孔敏感的 N170 成分的表现。并且,该成分表现出情绪敏感性,在中性面孔和情绪面孔之间存在差异,而在面孔情绪序列变化中没有差异。130ms 的独立成分在地形图上表现出左右侧顶枕叶负性和额叶正性,既在中性面孔和情绪面孔之间存在差异,还在面孔情绪序列变化中存在差异。这一成分在头皮分布以及功能上均符合 MMN 的表现。Astikainen 等人的研究表明,N170 和 MMN 虽然在头皮分布以及主要活动的时间窗口上存在一些重叠,但是二者反映的认知加工是不同的。并且,以往探讨前注意阶段面部表情加工的研究同样需要关注 N170 成分的变化,以明确面孔是否被纳入认知加工之中(e.g., Li et al., 2012; Xu et al., 2013; Kecskes-Kovacs et al., 2013)。因此,本研究选择了 N170 和 EMMN 相应的电极点和时间窗口作为主要分析指标。

我们在正文中补充了关于 N170 和 EMMN 成分的时间窗和电极点选择依据的论述,具体如下:

第 26 页第 10 行的引言部分修改为:

“近年来,对于 MMN 的研究不再局限于听觉刺激,研究者发现,简单的视觉刺激,如

光栅、颜色、线条等同样可以诱发 MMN 成分(e.g., Astikainen et al., 2008; Czigler et al., 2002)。进而开始关注复杂的视觉刺激,如面部表情所诱发的 MMN (Astikainen et al., 2013; Stefanics, Astikainen, & Czigler, 2014)。以往研究显示,面部表情诱发的 MMN 的时间窗口大约都在刺激呈现后的 70~360ms 之内(e.g., Astikainen & Hietanen, 2009; Kimura et al., 2012; Li et al., 2012; Stefanics et al., 2012)。在电极点的选择上,研究者们分别在额叶、顶叶和左右枕叶区域选取电极点进行比较后发现,与面孔情绪序列变化相关的 MMN 成分能够在左右枕叶区域被有效监测到(e.g., Astikainen et al., 2008; Kreegipuu et al., 2013)。进一步的,Zhao 和 Li (2006)发现,标准与偏差面孔刺激在情绪序列上的变化能够被自动化的探测,并诱发一种特殊的与表情相关的 MMN 成分。他们将由标准刺激(中性面孔)与偏差刺激(情绪面孔)相减得到的 ERP 成分命名为 EMMN (expressional MMN)。”

第 27 页第 19 行的引言部分修改为:

“此外,本研究同时关注了对面孔构型特征敏感的 N170 成分,以明确面孔是否被纳入认知加工之中。以往研究发现,N170 成分主要分布在颞枕区域,反映了早期知觉阶段的面孔结构编码,大约在面孔刺激呈现后 170ms 达到最大峰值(Hinojosa et al., 2015)。”

本部分涉及的新增参考文献:

- Astikainen, P., & Hietanen, J. K. (2009). Event-related potentials to task-irrelevant changes in facial expressions. *Behavioral and Brain Functions*, 5, Article Number: 30.
- Astikainen, P., Lillstrang, E., & Ruusuvirta, T. (2008). Visual mismatch negativity for changes in orientation – a sensory memory-dependent response. *European Journal of Neuroscience*, 28(11), 2319-2324.
- Hinojosa, J. A., Mercado, F., Carretie, L. (2015). N170 sensitivity to facial expression: a meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 55, 498-509.
- Kecskes-Kovacs, K., Sulykos, I., Czigler, I. (2013). Is it a face of a woman or a man? visual mismatch negativity is sensitive to gender category. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, Article Number: 532.
- Li, X., Lu, Y., Sun, G., Gao, L., & Zhao, L. (2012). Visual mismatch negativity elicited by facial expressions: new evidence from the equiprobable paradigm. *Behavioral and Brain Functions*, 8, Article Number: 7.
- Righart, R., & de Gelder, B. (2008). Rapid influence of emotional scenes on encoding of facial expressions: an ERP study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 3(3), 270-278.
- Song, J., Liu, M., Yao, S., Yan, Y., Ding, H., Yan, T., Zhao, L., & Xu, G. (2017). Classification of emotional expressions is affected by inversion: behavioral and electrophysiological evidence. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 11, Article Number: 21.
- Stefanics, G., Csukly, G., Komlósi, S., Czobor, P., and Czigler, I. (2012). Processing of unattended facial emotions: a visual mismatch negativity study. *Neuroimage*, 59, 3042–3049.
- Zhao, L., & Li, J.(2006). Visual mismatch negativity elicited by facial expressions under non-attentional condition. *Neuroscience Letters*, 410, 126-131.

意见 4: 作者发现了 N170 也是偏差刺激大于标准刺激,从 N170 的机理来看,这是比较怪异的发现,作者未做详细解释。如果作者确信 MMN 包含 P7 点,那作者分析的 N170 也就是作者分析的 MMN。因此,作者有关“本研究发现偏差刺激诱发了更大的 N170 成分,这表明在前注意阶段,个体能够对面孔结构特征的变化进行加工”,显然是比较武断的。

回应：非常感谢审稿专家的意见！

根据审稿专家的意见，我们重新梳理了同时关注 N170 以及 MMN 成分的文献。结合以往研究，我们认为：

首先，依据 N170 和 MMN 成分的机理以及地形分布(具体见意见 3 的回应)，N170 和 EMMN 成分的电极点存在一定的重合，但对其电极点的选择是有依据的，在 EMMN 的分析中应当包括 P7/8、PO5/6、PO7/8 电极点。

其次，本研究中，N170 成分在标准刺激与偏差刺激之间存在差异，表现出偏差刺激条件下的波幅显著负于标准刺激。与本研究相类似的，在 Kecskes-Kovacs 等人(2013)和 Xu 等人(2013)的研究同样发现，N170 成分仅受到刺激类型的影响，在偏差刺激和标准刺激间表现出显著差异。Zhao 和 Li (2006)认为，N170 的差异并不是由面孔加工直接诱发的，而是反映了由情绪序列异常所诱发的 MMN 成分。由于本研究中偏差面孔和标准面孔实际上是在不同的情绪序列之中的同一类情绪面孔，二者在情绪类型以及面孔的物理特征上是相同的。因此，本研究中 N170 成分的表现更可能是 EMMN 的一种反映。

最后，根据审稿专家的意见并结合以往文献，我们对引言和讨论部分中关于 N170 成分的论述进行了修改，具体如下：

第 27 页第 19 行的引言部分修改为：

“此外，本研究同时关注了对面孔构型特征敏感的 N170 成分，以明确面孔是否被纳入认知加工之中。以往研究发现，N170 成分主要分布在颞枕区域，反映了早期知觉阶段的面孔结构编码，大约在面孔刺激呈现后 170ms 达到最大峰值(Hinojosa et al., 2015)。由于 N170 和 MMN 在头皮分布以及主要活动的时间窗口上的相似性，Astikainen 等(2013)通过实验设计以及独立成分分析(ICA)的方法将两种成分所表现的大脑功能进行了分离。研究发现在刺激呈现后大约 170ms 存在一个独立成分，在地形图上表现出左右侧顶枕叶负性和额叶正性。该成分表现出情绪敏感性，在中性面孔和情绪面孔之间存在差异，而在面孔情绪序列变化中没有差异，符合 N170 的表现。在刺激呈现后大约 130ms 的独立成分在地形图上表现出左右侧顶枕叶负性和额叶正性，在中性面孔和情绪面孔之间存在差异，还在面孔情绪序列变化中存在差异。这一成分在头皮分布以及功能上均符合 MMN 的表现。Astikainen 等人的研究表明，N170 和 MMN 虽然在头皮分布以及主要活动的时间窗口上存在一些重叠，但是二者反映了不同的认知加工。另外，N170 成分是否会受到人格特质的影响，目前的研究还存在争议：有研究表明，相比于非面孔刺激，N170 在面孔刺激条件下表现出更大的波幅，而不受被试人格特质的影响(Rossignol et al., 2012; Walentowska, & Wronka, 2012)；然而，另一些研究者发现，相比于普通被试，高特质焦虑者在加工恐惧面部表情时诱发的 N170 成分表现出更大波幅和更短潜伏期 (Williams et al., 2007; Kolassa & Miltner, 2006)。因此，特质焦虑者在前注意阶段对面部构型特征的加工同样值得关注。”

第 33 页第 7 行的讨论部分修改为：

“在 ERP 结果上, 本研究发现 N170 成分仅在刺激类型上存在差异, 表现为偏差刺激诱发了更大的 N170 波幅, 而在情绪类型上差异不显著。”

第 33 页第 14 行的讨论部分修改为:

“Astikainen 等(2013)发现, N170 和 MMN 成分在功能上是可以分离的, N170 在中性面孔和情绪面孔之间存在差异, 而不受到情绪序列变化的影响。研究者们同样发现, N170 成分具有情绪敏感性(Hinojosa et al., 2015), 即使在无意识条件下也会受到面部表情的影响(Eimer & Holmes, 2007)。而在本研究中, N170 成分在不同面部表情以及人格特质条件下没有表现出差异, 仅在标准刺激与偏差刺激之间存在差异, 表现出偏差刺激条件下的波幅显著负于标准刺激。与本研究相类似的, Kecskes-Kovacs 等人(2013)和 Xu 等人(2013)的研究同样发现, N170 成分仅受到刺激类型的影响, 在偏差刺激和标准刺激间表现出显著差异。Zhao 和 Li (2006)认为, N170 的差异并不是由面孔加工直接诱发的, 而是反映了由情绪序列异常所诱发的 MMN 成分。由于本研究中偏差面孔和标准面孔实际上是在不同的情绪序列之中的同一类情绪面孔, 二者在情绪类型以及面孔的物理特征上是相同的。因此, 本研究中 N170 成分的表现更可能是 EMMN 的一种反映。”

本部分涉及的新增参考文献:

Eimer, M., & Holmes, A. (2007). Event-related brain potential correlates of emotional face processing. *Neuropsychologia*, 45, 15-31.

Hinojosa, J. A., Mercado, F., Carretie, L. (2015). N170 sensitivity to facial expression: a meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 55, 498-509.

Kecskes-Kovacs, K., Sulykos, I., Czigler, I. (2013). Is it a face of a woman or a man? visual mismatch negativity is sensitive to gender category. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, Article Number: 532.

Zhao, L., & Li, J.(2006). Visual mismatch negativity elicited by facial expressions under non-attentional condition. *Neuroscience Letters*, 410, 126-131.

意见 5: 作者未呈现 MMN 的原始波形图, 因而难以准确评估基线等问题, 而从差异波上看, 基线明显不平, 这关注早期成分研究中, 是不正常的, 这或就反应了按键的干扰。而从地形图上看, 前额区在两种被试中的差异或许更为明显, 这或能为解析两种被试表情加工差异提供更为深入的证据。

回应: 非常感谢审稿专家的意见!

对于原始波形的问题, 实际上, N170 成分的波形图即为 MMN 成分的原始波表现。EMMN 代表表情的失匹配加工, 其差异波的大小则代表着对失匹配程度的监控。研究者认为, EMMN 的早期活动表现反映了刺激序列变化对 N170 成分的影响(e.g., Stefanics et al., 2012; Chang et al., 2010; Zhao & Li, 2006)。由于 N170 成分对标准刺激和偏差刺激的反应存在差异, 因而可以通过将偏差刺激与标准刺激条件下的原始波相减, 得到由于刺激序列改变而产生的失匹配负波。为避免赘述, 我们没有再次呈现 EMMN 的原始波形。根据审稿专家的意见, 我们绘制了 EMMN 的原始波形图(见下图 1)。从原始波形上来看, 基线整体上较为

稳定。而在正文中，由于进行差异波相减后的波形幅值较小，我们将坐标轴纵轴设置了更小的区间以更清楚的呈现条件间的差异，故而在差异波上表现出一定程度的基线不平。这也是我们在后续的实验和数据处理中需要进一步关注的问题，再一次感谢审稿人提出的意见。

对于地形图的问题，由于以往研究者已经对 EMMN 成分的主要分布范围和时间窗口有了普遍共识并取得了一些研究成果，为方便进行实验结果的对比分析，本研究选取了与以往研究相类似的区域。诚如审稿专家所言，不同类型被试在前额区域的激活程度上表现出了比较明显的差异。在后续研究中我们会进一步关注更广泛的头皮分布，以期探讨高、低特质性焦虑者在面部表情前注意加工中的差异提供更多的研究证据。

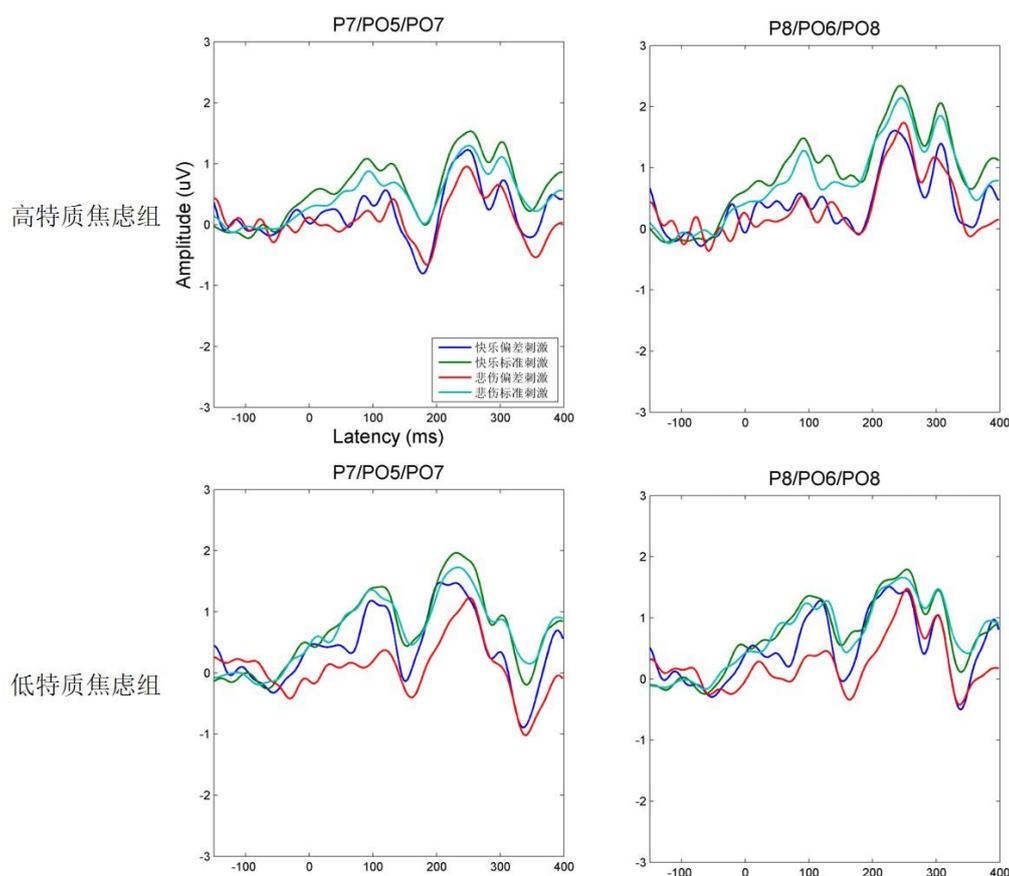


图 1 不同条件下原始波形图

本部分涉及的新增参考文献：

Chang, Y., Xu, J., Shi, N., Zhang, B., & Zhao, L. (2010). Dysfunction of processing task-irrelevant emotional faces in major depressive disorder patients revealed by expression-related visual MMN. *Neuroscience Letters*, 472(1), 33-37.

Stefanics, G., Csukly, G., Komlósi, S., Czobor, P., and Czigler, I. (2012). Processing of unattended facial emotions: a visual mismatch negativity study. *Neuroimage*, 59, 3042–3049.

Zhao, L., & Li, J.(2006). Visual mismatch negativity elicited by facial expressions under non-attentional condition. *Neuroscience Letters*, 410, 126-131.

意见 6：尽管作者列举了许多焦虑者的情绪偏向是跨情绪效价的文献，但焦虑等情绪障碍者

存在更强的负性情绪加工偏向仍是广为研究者接受的共识。本文仅依照高兴和被试面孔诱发的 EMMN 没有显著差异这一阴性结果做推论，显然是有风险的。如果要确证高焦虑者的泛效价情绪偏向假设，我觉得仍需要更为强硬的证据。

回应：感谢审稿专家的宝贵意见。

以往关注特质焦虑者的情绪偏向的研究大多集中在注意聚焦状态下。研究者发现，高特质焦虑个体在记忆、注意和理解等认知过程中对负性情绪刺激存在加工偏向(e.g., Kato & Takeda, 2017; Xu et al., 2013; Young et al., 2013)。如审稿专家所言，在注意聚焦条件下的负性偏向得到了较为广泛的认同。但是，仍然有一些研究发现，高特质焦虑者对情绪信息存在普遍的过度敏感。重要的是，这种普遍敏感的成果主要来自于脑电和神经影像学研究(e.g., Morel et al. 2014; Donges et al., 2012; Holmes et al. 2009)。因此，本研究认为，高特质焦虑者可能在注意聚焦之前对情绪刺激存在更加复杂的认知加工过程，故而在更为敏感的脑电和神经影像上表现出了与以往普遍的行为学研究不同的情绪偏向。前注意加工是发生在注意聚焦之前的，对刺激物是否需要进入注意加工阶段的一个自动化评估过程。特质焦虑者在前注意阶段对面部表情的加工偏向目前尚不清楚。因此探讨特质性焦虑在面部表情前注意加工阶段的影响，有助于我们了解个体在此阶段对情绪刺激进行了怎样的过滤和评估，进而有助于回答部分研究中关于注意聚焦阶段情绪偏向性的争议。

基于以往研究中存在的负性偏向与普遍偏向的争议，本研究提出假设：高特质焦虑组在前注意阶段如果存在负性情绪偏向，那么将在悲伤面孔诱发的 EMMN 波幅上与低特质焦虑组存在差异；如果存在普遍的情绪偏向，那么在快乐和悲伤面孔诱发的 EMMN 波幅上可能与低特质焦虑组均存在差异。在研究结果和结论上，一方面，本研究发现，高、低特质性焦虑组之间存在差异，高特质焦虑组在快乐条件下的波幅大于低特质焦虑组。这表明相比于普通个体，高特质焦虑者对情绪刺激存在特殊的加工，其在前注意阶段表现出了对快乐情绪刺激的偏向性。另一方面，本研究中，高特质焦虑组在快乐和悲伤情绪类型之间 EMMN 波幅差异不显著，即存在阴性结果。同时，低特质焦虑组在悲伤条件下的 EMMN 波幅显著大于快乐条件。这进一步为本研究中没有表现出高、低特质焦虑组在悲伤面孔诱发的 EMMN 波幅差异提供了一种可能的解释，即普通个体和高特质焦虑个体在前注意阶段可能均存在对负性情绪刺激的加工偏向，因而没有表现出组间差异。

总之，结果表明，高特质焦虑者在前注意加工中不仅仅存在负性偏向，还存在对快乐情绪刺激的偏向，进而本研究提出高特质焦虑者可能存在普遍情绪偏向的可能性。这也在一定程度上为注意聚焦状态下，高特质焦虑者在脑电和神经影像结果上表现出的普遍情绪偏向提供了证据支持，即高特质焦虑者在前注意阶段中仍然对快乐情绪进行加工，故而快乐情绪仍然有可能进入注意阶段。由于对于特质性焦虑在前注意阶段的情绪偏向性的研究较少，本研究结果仍然有待进一步检验。

结合审稿专家的意见，我们对正文中的引言、讨论和结论部分进行了修改，以期进一步

阐明实验逻辑并对实验结果进行合理的分析。具体如下：

第 25 页第 16 行的引言部分修改为：

“总之，以往研究表明，高特质焦虑者不仅存在负性情绪偏向，而且对包括快乐面孔在内的情绪信息存在普遍的过度敏感。因此，探讨特质焦虑在情绪信息加工中的作用机制，对于明确高特质焦虑者对于情绪信息的加工偏向具有重要意义。另外，上述研究都针对面部表情的注意加工阶段，而在面部表情的前注意加工阶段，特质焦虑的作用及其对情绪信息的偏向性表现目前尚不清楚。高特质焦虑者可能在注意聚焦之前对情绪刺激存在更加复杂的认知加工过程，故而在更为敏感的脑电和神经影像上表现出了与以往普遍的行为学研究不同的情绪偏向。因此，探讨特质性焦虑在面部表情前注意加工阶段的影响，有助于了解个体在此阶段对情绪刺激进行了怎样的过滤和评估，进而有助于回答部分研究中关于注意聚焦阶段的情绪偏向性争议。”

第 34 页第 7 行的讨论部分修改为：

“在本研究中，高、低特质焦虑组均出现了由于面部表情序列变化引起的 EMMN 成分，这种偏差面部表情和标准面部表情之间的差异为个体对面部表情的前注意加工提供了证据。一方面，本研究发现高、低特质性焦虑组之间存在差异，高特质焦虑组在快乐条件下的波幅大于低特质焦虑组。这表明相比于普通个体，高特质焦虑者对情绪刺激存在特殊的加工，其在前注意阶段表现出了对快乐情绪刺激的偏向性。另一方面，本研究中，高特质焦虑组在快乐和悲伤情绪类型之间 EMMN 波幅差异不显著，即存在阴性结果。而低特质焦虑组，即普通被试，在悲伤面部表情条件下的早期 EMMN 波幅大于快乐面部表情。以往研究已多次证明，出于生存需要，负性信息更易吸引注意，负性面部表情在注意加工过程中往往被优先处理和识别 (Adolphs, 2002; 张丹丹, 罗文波, 罗跃嘉, 2013)。本研究表明，对负性情绪信息的偏向在前注意阶段已经发生，当面孔情绪序列中出现负性偏差刺激时，即使情绪信息与任务无关，个体仍对其进行了前注意加工。这进一步为本研究中没有表现出高、低特质焦虑组在悲伤面孔诱发的 EMMN 波幅差异提供了一种可能的解释，即普通个体和高特质焦虑个体在前注意阶段可能均存在对负性情绪刺激的加工偏向，因而没有表现出组间差异。Robinson 等人(2013)认为，焦虑影响了个体的感觉皮层系统的加工，使他们对环境中的微小变化更加敏感。本研究中，高特质焦虑者对快乐和悲伤情绪面孔表现出相似的 EMMN 成分，并且，高特质焦虑组的快乐 EMMN 振幅高于低特质焦虑组。这表明他们的过度警觉可能不仅限于消极情绪刺激，同样也包括了积极情绪。进而本研究提出，高特质焦虑者可能在前注意阶段中发生了对情绪信息普遍的加工偏向，导致其对面孔情绪序列的变化更加敏感。这也在一定程度上为注意聚焦状态下，高特质焦虑者在脑电和神经影像结果上表现出的普遍情绪偏向(e.g., Morel et al. 2014; Donges et al., 2012; Holmes et al. 2009)提供了证据支持，即高特质焦虑者在前注意阶段中仍然对快乐情绪进行加工，故而快乐情绪仍然有可能进入注意阶段。”

第 37 页最后一行的结论部分修改为：

“本研究得出如下结论：特质焦虑影响面部表情的前注意加工，高特质焦虑者在前注意阶段对普遍的情绪信息存在加工偏向，具体表现为高特质焦虑者在快乐和悲伤面孔条件下均诱发了更大波幅的 EMMN 成分，且高特质焦虑者在快乐面孔条件下的 EMMN 成分的波幅同样大于低特质焦虑者。”

意见 7：作者以 27% 为标准在 432 人中挑选被试，那从 116 人中选出 20 人是以何标准选出的呢？

回应：非常感谢审稿专家的意见！

在被试的选择上，我们主要根据问卷分数进行筛选，在得分位于前 27% 的被试中随机选取 20 人作为高特质性焦虑组，在得分位于后 27% 的被试中随机选取 20 人作为低特质性焦虑组。如果被选取的被试不愿意参加实验，则在其余被试中再次随机抽取，直到满足高、低组的人数要求。

意见 8：论文在行文中，有多处推理显得武断，例如“总之，以往的研究为 EMMN 成分反映特定的情绪序列预测偏差提供了实验证据。因此，EMMN 成分可能反映出特质焦虑者在前注意加工阶段对情绪信息的偏向性表现”，我就很难看出的因果连接。

回应：非常感谢审稿专家的意见！

我们已经对相应的内容进行了修改，**第 26 页第 29 行的讨论部分**修改为：

“Vogel, Shen 和 Neuhaus (2015)进一步验证了 EMMN 成分在情绪预测方面的特异性。他们发现，在面孔情绪类型序列发生变化的条件下，情绪偏差刺激能够诱发更大的波幅和更短的潜伏期；而面孔结构特征的序列变化则没有出现同样的表现。总之，以往的研究为 EMMN 成分反映特定的情绪序列预测偏差提供了实验证据。因此，如果特质性焦虑者在前注意阶段对情绪信息表现出特殊的加工偏向，那么当出现与情绪序列预期违背时，高特质焦虑者可能与普通被试在 EMMN 的波幅上表现出显著差异。”

我们进一步检查了全文，对文中可能存在过度推断的内容进行了修改。因内容比较分散，在此不再一一列举，具体修改内容可见正文中蓝色字体。

第二轮

审稿人 1 意见：作者针对一审意见进行了修改，文章有一定大概改观，但还有几个问题没有解决好。

意见 1：作者在从实验证据“低特质焦虑组，悲伤面孔所诱发的早期 EMMN 显著大于快乐

面孔，而对于高特质焦虑组，快乐和悲伤面孔所诱发的早期 EMMN 差异不显著”到研究结论——“负性加工偏向”和“普遍加工偏向”——的逻辑推演仍存在争议。基于实验结果，只做出高焦虑者分不开快乐和悲伤比较扎实，要谈偏向，需要相较基准的偏离，而不是没有差异就行了。

回应：非常感谢审稿专家的意见！

根据审稿专家的意见，我们重新梳理了该部分内容，并在讨论部分删除了关于“高特质焦虑者存在普遍加工偏向”的内容，将其修改为“高特质焦虑者难以有效区分快乐和悲伤面孔”。具体如下：

在第 39 页第 10 行讨论部分：

“并且，高特质焦虑组在快乐条件的波幅大于低特质焦虑组。这表明，在面部表情前注意加工过程中，高、低特质焦虑之间存在差异，高特质焦虑者对快乐面部表情同样存在加工偏向。综上，人格特质是影响面部表情加工的重要因素，高特质焦虑者在前注意加工阶段并不仅仅存在负性情绪偏向，而是对快乐和悲伤面孔存在着类似的加工模式，即对快乐和悲伤面部表情区分困难。”

在第 40 页第 18 行讨论部分：

“本研究发现，普通被试对负性情绪的偏向在前注意阶段已经发生，更重要的是，高特质焦虑者在此阶段对快乐和悲伤面孔表现出类似的加工模式，即可能存在对快乐和悲伤面部表情的区分困难，从而对二者出现了类似的偏向性表现。Robinson 等人(2013)认为，焦虑影响了个体的感觉皮层系统的加工，使他们对环境中的微小变化更加敏感。本研究中，高特质焦虑组的快乐 EMMN 振幅大于低特质焦虑组，并且，高特质焦虑者对快乐和悲伤情绪面孔表现出相似的 EMMN 成分。这表明他们对情绪序列变化中积极情绪所导致的预期违背同样敏感，高特质焦虑者可能并不是只存在负性情绪偏向，而是对快乐和悲伤面孔存在类似的加工模式。

本研究这一现象在注意加工阶段也得到了验证。李婉悦等人(2019)发现，特质性焦虑在个体对面孔情绪的探测中存在调节作用，普通个体在面孔情绪识别过程中更易受到面孔所处环境的影响，表现出显著的场景效应；而高特质焦虑者在积极和消极面孔的识别中都更关注面孔情绪信息，较少受到环境的影响。研究者认为，高特质焦虑者更多关注面孔本身的情绪信息，并且可能存在面孔与场景的情绪整合困难。这也为注意聚焦状态下，高特质焦虑者在脑电和神经影像结果上表现出的普遍情绪偏向(e.g., Morel et al. 2014; Donges et al., 2012; Holmes et al. 2009)提供了证据支持，即高特质焦虑者在前注意阶段中可能存在对快乐和悲伤面部表情的区分困难，仍然对快乐情绪进行加工并对快乐和悲伤情绪序列变化产生相似的脑电活动，故而快乐情绪仍然有可能进入注意阶段。”

意见 2：关于时间窗、电极点选择、按键干扰、行为数据等问题上，作者在意见回复中说的

比较清楚，但是文稿中依然语焉不详，不看审稿人意见的读者仍会有质疑。

回应：非常感谢审稿专家的意见！

我们在正文中补充了审稿人提到的内容。

关于时间窗、电极点选择的内容补充在**第 32 页第 16 行引言部分**，具体如下：

“进一步的，Zhao 和 Li (2006)发现，标准与偏差面孔刺激在情绪序列上的变化能够被自动化探测，并诱发与表情相关的 MMN 成分。研究者将由标准刺激(中性面孔)与偏差刺激(情绪面孔)相减得到的 ERP 成分命名为 EMMN (expressional MMN)。在电极点的选择上，研究者结合地形图选取了分布于左、右颞枕区的 P7/8, PO7/8 和 CB1/2。类似的区域以及电极点的选择同样可见于 Li 等人(2012)、Xu 等人(2013)以及 Astikainen 等人(2013)的研究中。”

第 33 页第 21 行引言部分，具体如下：

“以往研究发现，N170 成分主要分布在颞枕区域，反映了早期知觉阶段的面孔结构编码，大约在面孔刺激呈现后 170ms 达到最大峰值(Hinojosa et al., 2015)。因此，关注 N170 成分的研究大多选择了分布于左、右颞枕区域的 P5/6, P7/8, PO7/8 等电极点，分析的时间窗口大约在以 170ms 为中心的 120~220ms 之间(e.g., Righart & de Gelder., 2008; Xu et al., 2013; Song et al., 2017)。”

关于按键干扰的内容补充在**第 42 页第 4 行讨论部分**，具体如下：

“本研究仍然存在一些不足之处：在实验设计上，被试对于目标刺激“+”的按键反应仅发生在没有面孔刺激呈现的两组面孔间隔之中，而 ERP 数据的锁时则发生在面孔刺激呈现时。通过这样的实验设计，我们希望能够尽量避免 ERP 数据受到按键活动的干扰。然而，在少数情况下，如果被试在面孔呈现时仍进行按键反应，则可能在一定程度上影响 ERP 数据结果，导致基线不够平稳。这也是我们在后续研究中需要注意的地方。”

关于行为数据的内容补充在**第 37 页第 9 行结果部分**，具体如下：

“在正确率上，高、低特质焦虑组之间差异不显著， $F(1, 38) = 0.37$, $p = 0.547$ (高组： $M = 0.91$, $SE = 0.028$; 低组： $M = 0.92$, $SE = 0.023$)。因为被试按键反应的正确率均超过 90% 且没有表现出显著的差异，由此可见被试的注意力保持在判断“+”大小变化的任务上，从而保证了面部表情前注意加工的有效性。”

意见 3：原始波形图基线不平，虽然作者认为按键概率小，对波形图干扰不大，但是仍未排除，建议将有按键干扰的试次删除后再分析试试。

回应：非常感谢审稿专家的意见！

审稿专家提出的意见可能是前注意加工领域研究中目前普遍存在的问题，这也为我们后续的实验设计提供了更多的思考以及改进空间，非常感谢！针对波形图可能受到按键干扰的问题，我们的回复如下：

在本实验中，被试对于目标刺激“+”的按键反应仅发生在没有面孔刺激呈现的两组面

面孔间隔之中，而 ERP 数据的锁时则发生在面孔刺激呈现时。通过这样的实验设计，我们希望能够尽量避免 ERP 数据受到按键活动的干扰。另外，与本研究类似的，以往探讨前注意加工的研究大多使用了任务无关的实验设计，在采集脑电数据的同时，被试需要关注其他视觉刺激或听觉刺激并完成按键反应。研究者认为，该实验任务中，被试少量的按键反应所产生的影响有限，因此并为针对这些数据进行处理(e.g., Maekawa et al., 2005; Kimura et al., 2012; Li et al., 2012; Xu et al., 2013)。此外，在数据采集方面，正式实验共包括 12 个 block，每个 block 需要采集 312 个标准刺激的 epoch 和 90 个偏差刺激的 epoch。经过删除坏段后，每个被试保留的有效 epoch 数量大约在 4500 个左右，其中包括约 3500 个标准刺激 epoch 和大约 1000 个偏差刺激 epoch。在整个实验过程中，被试共需要进行 180 次按键反应。在大部分时间，被试只需要高度关注“+”，但实际上“+”并没有发生变化，也不需要进行按键反应。如果被试没有做到在目标刺激变化时按键，而是在面孔呈现时发生按键反应，其错误按键的次数也应当远小于 180 次。因此，在实验设计上，我们尽量控制了按键反应对脑电成分的影响，并且从总体的数据体量来看，按键反应的干扰可能是比较有限的。

由于本研究是任务无关实验，并不需要对被试的按键任务进行 ERP 成分分析，所以我们在编写实验程序时没有设置针对按键反应的 mark，故而难以从大量的 epoch 中筛选出可能受到按键影响的试次。审稿专家提出的意见可能是前注意加工领域研究中目前普遍存在的问题，这也为我们后续的实验设计提供了更多的思考以及改进空间，再一次感谢审稿专家的宝贵意见。

我们在**第 42 页第 4 行讨论部分**末尾的不足与局限方面补充了关于按键干扰的内容，具体如下：

“本研究仍然存在一些不足之处：在实验设计上，被试对于目标刺激“+”的按键反应仅发生在没有面孔刺激呈现的两组面孔间隔之中，而 ERP 数据的锁时则发生在面孔刺激呈现时。通过这样的实验设计，我们希望能够尽量避免 ERP 数据受到按键活动的干扰。然而，在少数情况下，如果被试在面孔呈现时仍进行按键反应，则可能在一定程度上影响 ERP 数据基线的平稳性。这也是我们在后续研究中需要注意的地方。”

本部分涉及的新增参考文献：

Maekawa, T., Goto, Y., Kinukawa, N., Taniwaki, T., Kanba, S. & Tobimatsu, S. (2005) Functional characterization of mismatch negativity to a visual stimulus. *Clinical Neurophysiology*, 116(10), 2392-2402.

意见 4: EMMN 和 N170 的重叠仍未解决好，同样的电极点，N170 包含于 EMMN 的时程内，很难让人理解这两成分就反应不同的认知成分，逻辑还是不够通畅。

回应: 非常感谢审稿专家的意见！

根据审稿专家的意见，我们重新思考了 EMMN 和 N170 的关系问题。

前人研究已经充分证明，N170 成分具有面孔敏感性，意味着面孔信息进入了认知加工，

并会受到面孔结构以及面孔情绪的影响，在不同实验条件中表现出差异(e.g., Hinojosa et al., 2015; Righart & de Gelder., 2008; Xu et al., 2013; Song et al., 2017)。因此，探讨前注意阶段面部表情加工的研究同样需要关注 N170 成分的变化，以明确面孔的结构化编码是否被纳入认知加工之中。

本研究中，我们发现了明显的 N170 成分，并且刺激类型的主效应显著，即在标准刺激和偏差刺激之间存在差异。但是，在本研究所使用的偏差—标准反转 oddball 范式中，偏差刺激和标准刺激实际上是同一种情绪类型，也具有相同的面孔结构特征。所以，表现在 N170 上的差异实际上并不是源于对不同的面孔结构或是对不同情绪的加工，而是反映了由实验操纵产生的更复杂的认知成分。而这也是我们进一步分析 EMMN 成分的基础：这种表现在 N170 成分上的差异可能并不是由面孔加工直接诱发的，而是反映了由情绪序列变化所诱发的 MMN (Zhao & Li, 2006)。

而在 N170 成分和 EMMN 所反映的认知功能上，Astikainen 等人(2013)通过实验设计以及独立成分分析的方法对二者所反映的大脑功能进行了分离。他们发现，N170 成分存在情绪敏感性，在中性面孔和情绪面孔之间存在差异，而在面孔情绪序列变化中没有差异；MMN 成分作为偏差刺激减去标准刺激的差异波，该成分不仅在中性面孔和情绪面孔之间存在差异，还在面孔情绪序列的偏差和标准变化中存在差异，由于偏差刺激在序列中的小概率呈现属性，使得该差异体现了个体对刺激序列中偏差刺激的探测。依据前人研究并结合本研究结果，我们认为，本研究中发现的 N170 成分反映了面孔结构性编码；偏差刺激和标准刺激所诱发的原始波的差异实际反映了对面孔情绪序列变化的探测，这种差异也表明本研究的实验操纵激活了用于刺激变化特征监测的失匹配负波，故而可以进一步对偏差刺激和标准刺激的差异波——MMN 成分进行分析。另外，对于 N170 是进行原始波的分析，而对于 EMMN 则是差异波的分析，二者存在不同的计算方法，也从不同角度反映了个体对于情绪序列重复模式变化的监测。

结合审稿专家的意见，我们对正文中的引言和讨论部分进行了修改，具体如下：

第 33 页第 25 行引言部分：

“由于 N170 和 MMN 在头皮分布以及主要活动的时间窗口上的相似性，Astikainen 等(2013)通过实验设计以及独立成分分析的方法对二者所反映的大脑功能进行了分离。他们发现，N170 成分存在情绪敏感性，在中性面孔和情绪面孔之间存在差异，而在面孔情绪序列变化中没有差异；MMN 成分不仅在中性面孔和情绪面孔之间存在差异，还在面孔情绪序列变化中存在差异。”

第 39 页第 15 行讨论部分：

“前人研究已经充分证明，N170 成分具有面孔敏感性，并会受到面孔结构的影响，在不同实验条件中表现出差异(e.g., Hinojosa et al., 2015; Righart & de Gelder., 2008; Xu et al., 2013; Song et al., 2017)。Astikainen 等(2013)发现，N170 和 MMN 成分在功能上是可以分离

的：N170 在中性面孔和情绪面孔之间存在差异，而不受到情绪序列变化的影响；MMN 成分则在面孔情绪序列变化中存在差异。本研究出现了明显的 N170 波峰，这意味着面孔信息进入了认知加工。进一步地，N170 成分上存在显著的刺激类型主效应，表现出偏差刺激条件下的波幅显著负于标准刺激。然而，在本研究所使用的的偏差—标准反转 oddball 范式中，偏差刺激和标准刺激实际上是同一种情绪类型，也具有相同的面孔结构特征。所以，表现在 N170 上的差异实际上并不是源于对不同的面孔结构或是对不同情绪的加工，而是反映了由实验操纵产生的更复杂的认知成分。与本研究相类似的，在 Kecskes-Kovacs 等人(2013)和 Xu 等人(2013)的研究同样发现，N170 成分仅受到刺激类型的影响，在偏差刺激和标准刺激间表现出显著差异。因此，本研究中偏差刺激和标准刺激的差异波——MMN 成分反映了个体对面孔情绪序列变化的探测。”

审稿人 2 意见：没有进一步意见了。

回应：非常感谢您的肯定！

第三轮

审稿人 1 意见：作者已较好地处理我的质疑，没有进一步意见。

编委意见：建议发表。

主编终审意见：

意见 1：该文章经过修改后基本达到发表水准，但是存在一些细节问题需要在发表前修改，例如，参考文献格式有误，建议采用 APA 格式全文修改，补充参考文献列表中缺失的论文页码。

回应：非常感谢主编的意见！我们已进行了全文检查，对文中的格式错误进行了修改，并对参考文献中的缺失进行了补充。

意见 2：另外，英文摘要需要进一步润色。

回应：非常感谢主编的意见！我们已重新撰写了英文摘要，并送期刊指定论文编辑公司修改润色。