

## 《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：音乐和语言神经基础的重合与分离——基于脑成像研究元分析的比较。

作者：赖寒、徐苗、宋宜颖、刘嘉。

### 第一轮

#### 审稿人 1 意见：

**意见 1：**本文选取了两个已发表的元分析研究，一个是关于语言加工的，一个是关于音乐加工，然后在这两个分析所得的脑激活结果上再比较语言加工与音乐加工脑区的重叠与分离。数据可靠，方法合理，主要的问题在于过度解释了。希望能对讨论部分进行大幅度的删减。简化比如图 3 相关的对文献的大段引用。讨论最好能比较集中在本文相关的结果，简明扼要。根据两个激活脑区集合的重叠和不重叠来判定各个脑区的功能，带有比较大的猜测性，很多结论是不能从数据中得出的，这样得出的结论新意不多，对研究者的启发也不会很大。讨论比较希望看到从本文的结果，得出哪些从现有文献不能得出的结果，希望作者能够提炼一些最有新意、比较有说服力的结果，集中讨论，一点讲好了，可能胜似面面俱到。否则，讨论类似于漫谈，读者很难从中吸收有价值的新信息。本身音乐和语言都涉及听觉知觉，两者出现相当重叠都不奇怪，而语言有丰富、明确的语义，音乐更为模糊，高层次加工分离明显，也不令人惊奇。所以，如何找到一些有新意的地方重点陈述，其余的做一个背景介绍较好。作者目前的讨论，更像一个大的 review 的讨论。如果真是要做比较全面的 review，进利用元分析之上的区域重叠结果，比较单薄。

**回应：**感谢审稿人的评审意见，我们已根据意见对本文元分析结果进行了总结提炼，对讨论部分进行了组织、删减和修改，简化了图 3，强调了本文结果的重点。具体而言，本研究结果表明，语音分析与音乐加工的重合发生在听觉—运动环路，与音程分析的重合节点在左侧中央前回，与结构分析的在左侧额盖区；语义分析与音乐加工的重合发生在核心环路，重合节点分别是左侧颞上回和左侧额下回（音程分析），以及右侧额下回（结构分析）；句子分析和音乐知觉的重合发生在认知—情绪环路中的右侧脑岛。此结果暗示了音乐旋律分析与语音、句子分子的重合发生在外围的环路，而与词义加工的关系可能是音乐语言共享神经基础的核心部分。具体修改如下（如正文黄色高亮部分所示）：

讨论部分：

#### “4. 讨论

本研究根据音乐和语言的层级结构，从各个加工阶段出发，探讨音乐和语言的关系。具体而言，我们对二者已有的元分析结果进行对比，进而探讨了音乐和语言在神经基础上的异同。结果表明，音乐的两个层级，音程分析和结构分析，与语言的三个层级，语音分析、词义分析和句子分析，两两间均存在加工重合的区域。音程分析和语言加工重合更多，在大脑左侧有较多重合（50%），而结构分析与语言加工重合较少，在大脑左侧（7%）和右侧（14%）均只有少量重合，暗示了在较为低层级的加工阶段，音乐和语言更可能存在共享的神经基础，而在更为高层级的加工阶段，音乐和语言的加工更多地表现出各自独特的特点。

具体而言，音程分析与语言三个层级的重合区域主要分布在左侧颞叶（颞上回）、左侧前运动区（中央前回）、左侧前额叶（额下回的三角部）和右侧脑岛；结构分析与语言三个

层级的重合区域主要分布在左侧前运动区（额盖区）、右侧前额叶（额下回的岛盖部）和右侧脑岛（图3）。这些区域可能为音乐知觉与语言知觉各层级加工的神经环路的共有节点，暗示了二者在听觉—运动环路、核心环路和认知—情绪环路上可能存在的联系。下面，我们将在音乐和语言知觉的神经环路的基础上，详细探讨音乐和语言的关系。

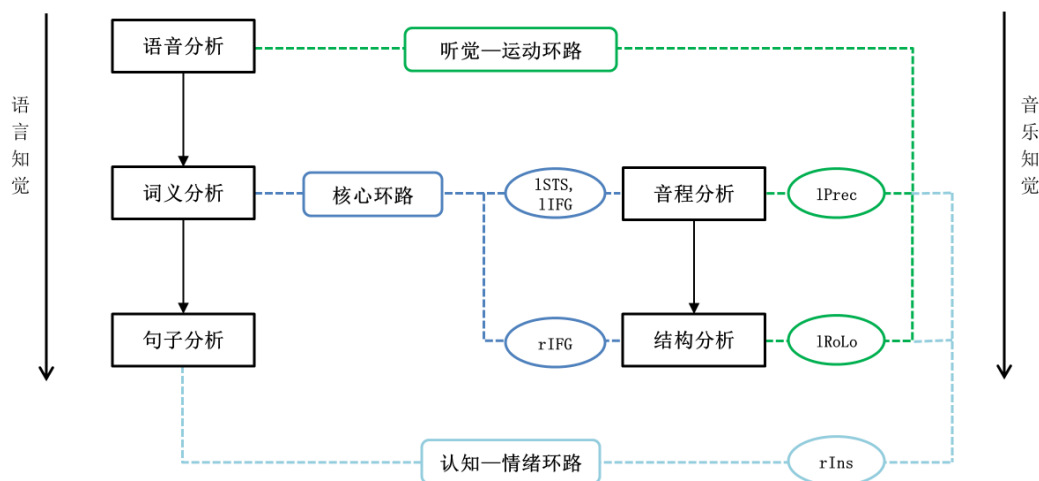


图3：音乐和语言知觉示意图。虚线表示联系。Prec: precentral gyrus, 中央前回; STG: superior temporal gyrus, 颞上回; IFGt: pars triangularis of the inferior frontal gyrus, 额下回的三角部; RoLo: Rolandic operculum, 额盖区; IFGo: pars opercularis of the inferior frontal gyrus, 额下回的岛盖部; Ins: insular, 脑岛; l: left, 左; r: right, 右

#### 4.1 音乐和语言在神经环路上的重合

##### 4.1.1 音乐与语音分析在“听觉—运动环路”存在重合节点

已有研究表明，音程分析和结构分析均需要听觉—运动环路的参与，而此在语音分析中也有涉及（Vigneau et al., 2006; Vigneau et al., 2011; 赖寒 et al., 2013）。本结果表明，音程分析和结构分析均可能与语音分析在听觉—运动环路存在重合节点。不同的是，音程分析与语音加工的重合节点主要分布在左侧中央前回，而结构分析与语音加工的重合节点则主要分布在左侧额盖区（图4）。

具体而言，对于音程分析，其与语音分析在左侧中央前回存在重合，表明二者可能存在听觉—运动整合上的联系。已有研究表明，位于前运动皮层的中央前回与音乐和语言的听觉—运动整合有关（Bangert et al., 2006; Hyde et al., 2009; Pulvermüller & Fadiga, 2010; Vigneau et al., 2006），主要负责口舌和鄂的运动（Mohammadi et al., 2009; Pulvermüller et al., 2006; Schubotz, Anwander, Knösche, Von Cramon, & Tittgemeyer, 2010; Wong, Dziedzic, Talavage, Romito, & Byrd, 2011），参与音程分析和语音分析听觉—运动环路的加工（Vigneau et al., 2006; 赖寒 等, 2013）。因此，我们认为，左侧中央前回可能为音程分析和语音分析在听觉—运动环路的共有节点。在音程分析阶段，左侧中央前回主要担任音程—运动联合区的角色，整合音程—运动的加工，以帮助重复和记忆旋律信息，反映了旋律加工中所存在的默唱的加工过程（赖寒 等, 2013）；而在语音分析阶段，左侧中央前回则主要担任语音—运动联合区的角色，整合语音—运动的加工，帮助重复和记忆语音信息，反映了语音加工中所存在的默读的加工过程（Szenkovits et al., 2012; Vigneau et al., 2006）。

同样，结构分析与语音分析在左侧额盖区存在重合，也表面二者可能存在听觉—运动整合上的联系。位于前运动区的额盖区也与音乐和语言的听觉—运动整合有关（Kell et al., 2009;

Koelsch, 2009; Szenkovits, Peelle, Norris, & Davis, 2012; Vigneau et al., 2006), 主要负责喉结的运动控制 (Brown, Ngan, & Liotti, 2008; Chang, Erickson, Ambrose, Hasegawa-Johnson, & Ludlow, 2008; Jäncke, Hänggi, & Steinmetz, 2004), 参与结构分析和语音分析听觉—运动环路的加工 (Vigneau et al., 2006; 赖寒 等, 2013)。因此, 我们认为, 左侧额盖区可能为结构分析和语音分析在听觉—运动环路的共有结点。在结构分析阶段, 左侧额盖区主要担任旋律—运动联合区的角色, 整合旋律—运动的加工; 而在语音分析阶段, 左侧额盖区则和左侧中央前回一起, 担任语音—运动联合区的角色, 整合语音—运动的加工。



图 4: 音程分析、结构分析与语音分析的的各神经环路关系图, 虚线表示联系。STG: superior temporal gyrus, 颞上回; Prec: precentral gyrus, 中央前回; pre-SMA: formerly supplementary motor cortex, 前辅助运动皮层; IFG: inferior frontal gyrus, 额下回; AG: angular gyrus, 角回; TG: temporal gyrus, 颞回; PT: planum temporal, 颞平面; HG: Heschl's gyrus, 颞横回; RoS: Rolandic sulcus, 中央沟; SMG: supramarginal gyrus, 缘上回; MFG: middle frontal gyrus, 额中回; RoLo: Rolandic operculum, 额盖区; Tpole: temporal pole, 颞极; PFC: prefrontal cortex, 前额叶; SPL: superior parietal lobule, 下顶叶; OFG: occipital fusiform gyrus, 枕叶梭状回; LG: lingual gyrus, 舌回; PCG: paracingulate gyrus, 旁扣带回; ACC: anterior cingulate gyrus, 扣带回; Ins: insular, 脑岛; t: pars triangularis, 三角部; o: pars opercularis, 岛盖部

#### 4.1.2 音乐与词义分析在“核心环路”存在重合节点

已有研究表明, 左侧颞上回与左侧额下回均参与音程分析核心环路的加工, 右侧额下回参与结构分析核心环路的加工 (赖寒 et al., 2013); 这些区域在词义加工的核心环路之一, 背侧语义环路中均有涉及 (Friederici, 2012; Hickok & Poeppel, 2004; Vigneau et al., 2006; Vigneau et al., 2011; 赖寒 et al., 2013)。本研究结果表明, 音程分析和结构分析均可能与词义分析在其核心环路存在重合节点。不同的是, 音程分析与词义分析的重合节点主要分布在左侧颞上回与左侧额下回, 而结构分析与词义分析的重合节点主要分布在右侧额下回 (图 5)。

具体而言, 对于音程分析, 其与词义分析在左侧颞上回存在重合, 表明二者可能存在听觉加工上的联系。左侧颞上回可能为连接音程分析核心环路和词义分析背侧语义环路的共有节点。在音程分析阶段, 左侧颞上回主要负责旋律轮廓、和弦与旋律音程变化的知觉以及相对音高关系的精细分析 (赖寒 等, 2013); 而在词义分析阶段, 左侧颞上回主要担任词语语音、词形和词义的中转站的角色, 负责整合词语的语音、词形和词义信息, 将所知觉的字母和字形转换成音节形式, 并将语音信息转换成相应的语义表征, 进而促进词语的概念加工和后续的句子加工 (Friederici, 2012; Houde, Rossi, Lubin, & Joliot, 2010; Pulvermüller & Fadiga, 2010; Vigneau et al., 2006)。此外, 音程分析还与词义分析在左侧额下回存在重合, 表明二者还存在工作记忆加工上的联系。左侧额下回可能与左侧颞上回一起, 共同作为连接音程分析核心环路和词义分析背侧语义环路的节点。在音程分析阶段, 左侧额下回负责对和弦及旋律信息进行保持与存储, 为颞上回完成音程分析奠定基础 (赖寒 等, 2013); 而在

词义分析阶段，左侧额下回则主要负责对词语的抽象词义进行判断、选择与提取，为后续的词义整合及句子分析奠定基础（Moss et al., 2005; Vigneau et al., 2006; Whitney et al., 2011）。

同样，结构分析与词义分析在右侧额下回存在重合，表明二者也可能存在工作记忆加工上的联系。已有研究表明，右侧额下回的岛盖部与执行功能有关（Boehler, Appelbaum, Krebs, Hopf, & Woldorff, 2010; Brown et al., 2012; Hampshire, Chamberlain, Monti, Duncan, & Owen, 2010; Vigneau et al., 2011），在旋律结构和词语加工等工作记忆有关的任务中均有激活，既参与结构工作记忆环路的加工（Janata, Tillmann, et al., 2002; 赖寒 等, 2013），又辅助语言各层级工作记忆环路的加工（Vigneau et al., 2011）。因此，我们认为，右侧额下回的岛盖部可能为连接结构分析核心环路和词义分析背侧语义环路的共有节点。在结构分析阶段，右侧额下回的岛盖部与前额叶其他区域一起，负责对颞上回整合而来的声音序列信息进行注意、保持与存储，以助于旋律句法结构的建构及实验任务的完成（赖寒 等, 2013）；而在词义分析阶段，右侧额下回的岛盖部则主要负责对词义信息的注意、保持及存储过程，以助于词义提取及实验任务的完成（Vigneau et al., 2011）。”

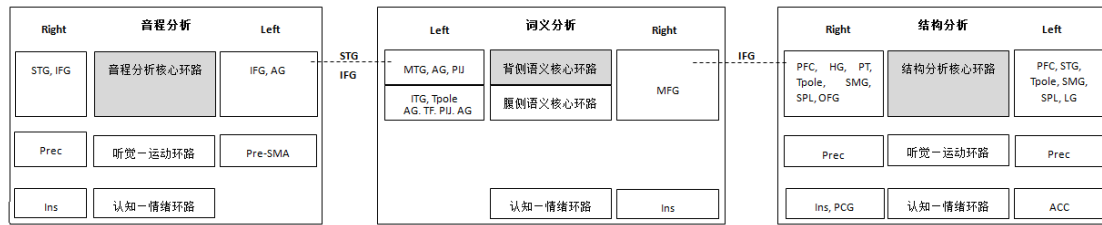


图 5：音程分析、结构分析与词义分析的的各神经环路关系图，虚线表示联系。STG: superior temporal gyrus, 颞上回; Prec: precentral gyrus, 中央前回; pre-SMA: formerly supplementary motor cortex, 前辅助运动皮层; IFG: inferior frontal gyrus, 额上回; AG: angular gyrus, 角回; MTG: middle temporal gyrus, 颞中回; ITG: inferior temporal gyrus, 颞下回; Tpole: temporal pole, 颞极; TF: temporal fusiform, 颞叶梭状回; PIJ: precentral gyrus/ IFGo junction, 中央前回和额下回岛盖部连接点; MFG: middle frontal gyrus, 额中回; HG: Heschl's gyrus, 颞横回; PT: planum temporal, 颞平面; PFC: prefrontal cortex, 前额叶; SMG: supramarginal gyrus, 缘上回; SPL: superior parietal lobule, 下顶叶; OFG: occipital fusiform gyrus, 枕叶梭状回; LG: lingual gyrus, 舌回; PCG: paracingulate gyrus, 旁扣带回; ACC: anterior cingulate gyrus, 扣带回; Ins: insular, 脑岛; t: pars triangularis, 三角部; o: pars opercularis, 岛盖部

#### 4.1.3 音乐与句子分析在“认知—情绪环路”存在重合节点

以往研究表明，音程分析和结构分析均需要认知—情绪环路的参与，而此在句子分析中也有涉及（Vigneau et al., 2006; Vigneau et al., 2011; 赖寒 et al., 2013）。本研究结构表明，音程分析和结构分析均可能与句子分析在认知—情绪环路存在重合节点，且重合节点均分布于右侧脑岛（图 6）。

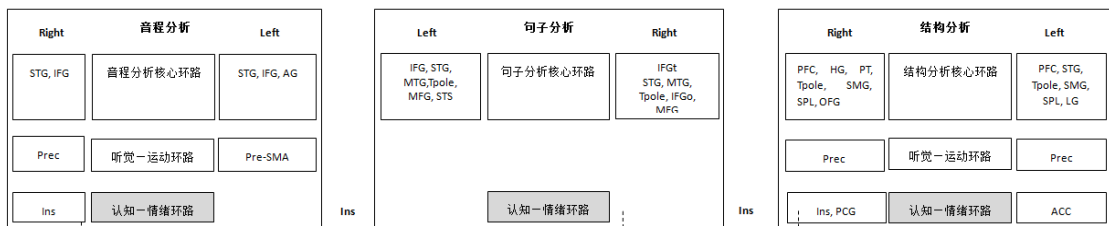


图 6：音程分析、结构分析与句子分析的各神经环路关系图，虚线表示联系。STG: superior temporal gyrus, 颞上回; Prec: precentral gyrus, 中央前回; pre-SMA: formerly supplementary motor cortex, 前辅助运动皮层; IFG: inferior frontal gyrus, 额上

回; AG: angular gyrus, 角回; MTG: middle temporal gyrus, 颞中回; Tpole: temporal pole, 颞极; MFG: middle frontal gyrus, 额中回; STS: superior temporal sulcus, 颞上沟; HG: Heschl's gyrus, 颞横回; PT: planum temporal, 颞平面; PFC: prefrontal cortex, 前额叶; SMG: supramarginal gyrus, 缘上回; SPL: superior parietal lobule, 下顶叶; OFG: occipital fusiform gyrus, 枕叶梭状回; LG: lingual gyrus, 舌回; PCG: paracingulate gyrus, 旁扣带回; ACC: anterior cingulate gyrus, 扣带前回; Ins: insular, 脑岛; t: pars triangularis, 三角部; o: pars opercularis, 岛盖部

已有研究表明, 无论是音乐知觉 (Han, Rho, Jun, & Hwang, 2010; Huq, Bello, & Rowe, 2010; Kim et al., 2010; Omar et al., 2011; Yang, Lin, Su, & Chen, 2008), 还是语言知觉 (Jones, Ward, & Critchley, 2010; Mutschler et al., 2009), 均会引发个体情绪体验的产生, 并且这种情绪体验的加工大多需要脑岛的参与 (Boso, Politi, Barale, & Emanuele, 2006; Jones et al., 2010; Koelsch, 2010; Koelsch & Siebel, 2005)。对音乐和语言知觉的元分析发现, 右侧脑岛不仅参与音程分析和结构分析的认知—情绪环路的加工 (赖寒 等, 2013), 也参与句子分析认知—情绪环路的加工 (Kurth et al., 2010)。

因此, 我们认为, 右侧脑岛可能为音程分析和结构分析分别与句子分析在认知—情绪环路的共有节点。在音程分析和结构分析阶段, 脑岛参与旋律音程分析和旋律结构分析的情绪唤起过程, 而在句子分析阶段, 脑岛参与句子分析的情绪唤起过程。”

此外, 我们对讨论部分“4.2 音乐和语言知觉在神经环路上的分离”做了增补。

a 在该部分第 2 段, 增加“音乐与语言均包含各自独特的核心环路”。

b 在该部分第 3 段, 增加“例如, 结构分析与句子分析均包含认知—情绪环路, 但结构分析的认知—情绪环路主要依靠脑岛、扣带前回、旁扣带回完成, 而句子分析主要依靠脑岛完成。又如音程分析和语音分析的听觉—运动环路均包含右侧中央前回, 然而二者在右侧中央前回却并未发生重合”。

c 在该部分第 4 段, 增加“结构分析在听觉—运动环路、核心环路和认知—情绪环路内, 均与语言加工存在更多不重合节点”。

最后, 我们对摘要部分也做了相应的修改。“结果表明, 语音分析与音乐加工的重合发生在听觉—运动环路, 与音程分析的重合节点在左侧中央前回, 与结构分析的在左侧额盖区; 语义分析与音乐加工的重合发生在核心环路, 重合节点分别是左侧颞上回和左侧额下回 (音程分析), 以及右侧额下回 (结构分析); 句子分析和音乐知觉的重合发生在认知—情绪环路中的右侧脑岛。此结果暗示了音乐旋律分析与词义加工的关系可能是音乐语言共享神经基础的核心部分。”

**意见 2:** 另外, 赖寒 等(2013)中采用“music”和“fMRI”为关键词, 最后录取了 16 篇文献, 共计 34 个实验对比条件。本文表一中显示音乐为 18 篇文献, 共计 34 个实验对比条件。这两者不一致, 是个无意的错误吗?

**回应:** 感谢审稿人细致的修改意见。非常抱歉我们在表 1 中的注释缺失导致表达不清。音程分析和结构分析所涉及的文献中, 有 2 篇文献有重叠, 也就是说, 有 2 篇文章既涉及音程分析, 也涉及结构分析 (赖寒 等, 2013)。为了避免误解, 我们在文章表 1 下添加了如下注释“有 2 篇文献既涉及音程分析, 也涉及结构分析”。

**意见 3:** 还有，作者需要说明一下有关“语言”的文献是如何选取的，比如说关键词、录入标准等。

**回应:** 感谢审稿人细致的修改意见。我们已经根据审稿人的意见，在方法部分做了如下修改（正文黄色高亮部分）：

a 在正文第 1 段加入“文献搜索策略及所纳入文献的标准”。

b 在表 1 增加注释：“音乐元分析的检索时间为 1986-2011 年，语言元分析的检索时间为 1992-2004，二者筛选文献的标准类似，均以“研究被试为正常人、选用特异于加工层级的实验对比条件，报告激活峰值的三维坐标，不包含落在大脑外部或白质部位的激活峰值”为标准，且语言元分析还限定于选择激活峰值落在脑岛、颞回和额回等区域的峰值。”

**审稿人 2 意见:**

**意见 1:** 建议在音乐与语言之间比较层次选择上还可以做调整，因为音乐也存在乐音、音程、动机和乐句等不同层次表达，与语言的语音、词语、语义和句子基本上具有对应关系。而从该论文的研究结果看，音程与三个语言层次都有涉及，这样实际上不利于更好地聚类分析的。

**回应:** 感谢审稿人具有启发意义的修改意见。我们完全肯定审稿人提到的层级分类是一个很好的方向。然而，由于目前音乐方面的 fMRI 研究较少，研究范式也主要集中在音程分析和结构分析这两个较为粗略的层级上，因而目前还难以操作。因此本研究采用在音乐知觉研究中域被广泛引用的 Koelsch 等人（2005, 2011）提出的音乐知觉模型，着重探讨其中特异与音乐的两个加工层级（音程分析和结构分析）与语言的关系。根据审稿人的意见，我们在正文展望部分第 2 段增加如下内容（如正文黄色高亮部分所示）：“同时，由于音程分析和结构分析是一个相对粗略的加工过程，音程分析包含了旋律轮廓和音程两类信息的加工，结构分析包含了和旋和谐、旋律和旋和音调结构等信息的加工。因此，随着相关 fMRI 研究量的增加，在未来的元分析中，有必要对二者的加工层级进行进一步细分，并在其与语言知觉所对应的层级上，更为精细的比较音乐知觉和语言知觉的关系。”

诚如审稿人所言，依照本文目前的音乐语言的层级选择，本研究结果发现发现音程分析、结构分析与语言的三个层次都有交集。但是，通过对结果的讨论分析（见审稿人 1 意见回复 R1），我们发现音乐层级与语言各层级重合的具体环路有所不同。音乐各层级与语音分析在听觉—运动环路上有重合，与语义分析在核心环路上有重合，而与句子分析在认知—情绪环路上有重合。但听觉—运动环路和认知—情绪环路均只是音程分析和结构分析的外围环路（赖寒等，2013），核心环路只与词义分析的背侧语义环路存在重合节点，暗示了词义分析与音乐特有旋律分析间更为紧密的联系。并且，虽然音程分析和结构分析都与语言在这 3 条环路存在重合节点，但其重合节点却并不相同，且相较于音程分析，其与语言知觉不重合的节点更多，暗示了在更为高层级的加工阶段，音乐和语言的加工更可能表现出各自独特的特点。因此，我们认为，虽然本研究并没有得到音乐与语言各层级对应的结果，但是仍然具有一定的合理性，也在一定程度上揭示了音乐语言共享的加工机制。