



# 听见大脑的声音

文/卢竞

下肢瘫痪的前海军战士杰克·萨利，钻进一台太空舱式的大脑转换器；而在遥远的潘多拉星球，他的化身阿凡达，被杰克·萨利的意念操控，在外星球展开了一段庄周梦蝶般的奇幻之旅。

这是著名的好莱坞电影《阿凡达》中描绘的场景——生命体之间可以借由“意念”进行交流，而无需肢体或语言。“意念控制”不仅是科幻电影里经常出现的题材，也是神经工程领域的科学家致力实现的一项技术。这便是我们通常称之为“脑机接口”的技术。

脑机接口，是在人或动物的脑与外部设备之间创建的直接连接通路。从这个概念不难看出，要做到与外部设备沟通，首要任务是测量及解析脑的信号。对脑的信号解析方法有很多，而其中之一即为用音乐的形式“聆听”来自大脑的信号，这样的音乐我们称之为“脑波音乐”。

## 搭起大脑与音乐之间的桥梁

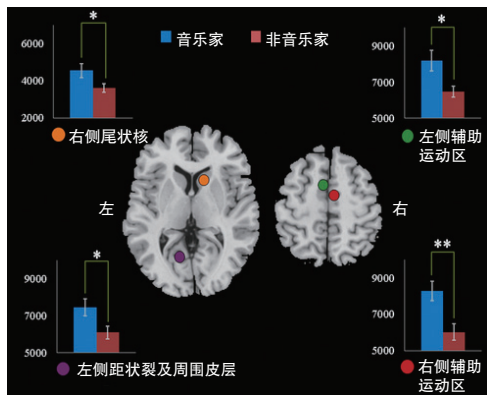
早在1993年，美国加利福尼亚大学的弗朗西丝·劳舍尔就发现了音乐对大脑功能的正面影响。他在实验中把听众分成三组，前两组分别聆听10分钟的莫扎特《D大调双钢琴奏鸣曲》和10分钟的轻音乐，第三组为空白对照组，不聆听任何音乐。10分钟后测试他们的空间推理能力，发现第一组听众的得分最高。这说明莫扎特的音乐可以提升大脑的空间推理能力。这一研究成果发表在著名的《自然》杂志上，也就是后来广为人知的“莫扎特效应”。

而大脑与音乐之间似乎还有其他关联。对比音乐家和非音乐家的磁共振影像，发现音乐家的左侧海马区域具有更高的脑灰质密度。海马是深埋在大脑褶皱和沟回中的一个区域，它是短时记忆的存储站，也是空间定位的认知地图。另外有研究表明，音乐家在运动、视觉以及语言表达等功

能脑区具有更显著的网络连接，且运动相关脑区的中心节点重要性也显著增大，说明音乐家大脑中与音乐训练有关的局部白质网络具有更高的信息传输效率。这意味着长时间的系统的音乐训练可以在某种程度上增强大脑功能，尤其是记忆能力和空间推理能力。

大脑与音乐之间这些千丝万缕的联系，使我们不禁产生疑问：大脑发出的神经信息（如脑电）是否与音乐信号存在共性？而利用这些共性是否可以将神经信息转换为音乐？

答案是肯定的。脑电信号与音乐共同遵循的非线性动力学规律，我们称之为无标度



利用弥散加权磁共振成像技术对音乐家和非音乐家大脑的白质结构网络强度的对比图



## 脑电信号的音乐现场秀



自德国科学家汉斯·伯杰于1929年发现人类脑电波以来，人们便开始了脑波可听化与脑波音乐的研究，1934年有科学家首先报道了人类脑波的发声。早期，这方面的研究主要是依靠电子器件来实现信号采集和音乐合成，由于信号处理手段比较单一，且制作思路上缺乏明确的学术支撑，由这种途径制作的脑波音乐在20世纪70年代后期转入了低潮。尽管如此，这种新颖的试验性音乐仍然红极一时，在流行乐坛上占据了一席之地。

●1965年，阿尔文·卢西尔使用脑电波作为音乐创作的素材，成功举办了名为“独奏者音乐”的现场音乐会。

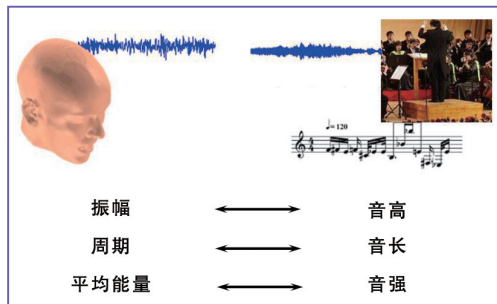
●1967年，理查德·泰特鲍姆在名为“太空船”的现场表演中，使用了包括脑电信号在内的多种生理信号作为控制源来进行电子音乐的合成。

●1970年，罗杰·拉弗塞和皮埃尔·亨利在法国举办了名为“来自大脑皮层的艺术”的现场表演。表演中，亨利的脑电波除了用来生成音乐以外，还可以改变相应图片的颜色。

●1970—1971年间，作曲家戴维·罗森博姆创作了名为“皮肤生态”的作品。该作品中，参与者通过特制的电路，以自己的脑电信号来控制电子器件的发声。

性；而利用标度特性的脑波音乐发声假说，就可以建立直接的编码策略，将脑电波转换为音乐。

所谓无标度性，也叫标度性质，它可以体现复杂系统中的分形特征。而谈到分形特征，简单地讲便是系统在不同的时间或空间尺度



基于标度特性的脑波音乐发声假说原理

下具有不变结构的特性。具体到脑电信号方面，它的振幅、相位、频率和功率谱等均具有标度性质。而乐音的基本属性——音高、音长、音强，也具有分形标度性质。根据这一规律，可以把脑电信号的“振幅”翻译成音乐的“音高”，把脑电信号的“周期”翻译成音乐的“音长”，把脑电信号的“功率”翻译成音乐的“音强”。这样，一组脑电信号就可以翻译成一段音乐旋律播放出来。

### 脑波音乐的神奇应用：亦真亦幻

脑电信号是人脑神经元群活动的表现，以此为来源得到的脑波音乐中必然包含着丰富的生理状态信息，这为它在生物反馈和治疗中的应用提供了理论依据。科学家发现，脑波音乐可应用于大脑状态监测。大多数情况

下，对脑电信号的分析是基于视觉的，常见的各种形式的脑电显示方法，都是将脑电信号以波形或拓扑图的形式来表达。而采用脑波音乐技术，可以使这一过程由“看”转变为“听”，为相关疾病的临床诊治提供了一种新的视角。例如癫痫患者在大脑异常放电时，原本舒缓的脑波音乐会突然变得紧张，并伴随有突如其来的简短高音出现，使整段音乐显得杂乱无章。而老年痴呆患者的脑波音乐，犹如一条静静流淌的河流，平静安详，当音色选择为古筝时，听上去愈发荡气回肠。

每个人在不同的精神状态下，脑波音乐也会有较大差异，因此脑波音乐还可以用来反映大脑的活动状态。在静息态时，脑波音乐表现得平静如水；而在集中精力看书时，脑波音乐会显得比较急促。即使同样是睡眠状态下的脑波音乐，不同程度的睡眠也对应着不同形式的脑波音乐。当处于快速眼动睡眠状态时，由于此时的大脑活动仍较为活跃，因此脑波音乐呈现出明快、灵动的节奏；而慢波睡眠时期的脑波音乐，节奏明显缓慢了许多；当人沉浸在深深的睡眠中时，相应的脑波音乐宛如爵士乐一般低缓沉郁……

然而脑波音乐的功效并未如传闻那般神乎其神。尽管有研究发现，聆听自己的脑波音乐可以有效缓解疼痛，帮助睡眠，但事实上，大部分脑波音乐的医疗应用仍停留在研究阶段。至于改善记忆力，开发大脑潜能，很遗憾，以脑波音乐目前的发展程度，恐怕还未能实现如此“玄妙”的功效。

关于脑波音乐的技术发展和应用，科学家正在进行不断地尝试，会不会有朝一日通过聆听脑波音乐便可知你此时此刻的喜怒哀乐，甚至像“阿凡达”一样用脑波音乐来沟通交流呢？让我们拭目以待。👁️



(本文作者卢竞为电子科技大学生命科学与技术学院博士，研究领域为脑波音乐及音乐认知的脑机制)