

音乐与物理

叶云秀

物理属于科学范畴。科学 (Science) 起源于拉丁字的 Scire, 意思是“要去知道”, 它是人类研究和分析自然的一个领域。音乐是一种艺术形式, 是一种产生和接收优美声音的安排。看来它们似乎离得很远, 但实际上, 两者在许多方面有着有趣的联系。

对自然与音乐-声学之间的关系的研究可追溯到古代中世纪。在公元前十六世纪, 毕达哥拉斯和他的同事们相信数学和音乐都是自然界中一种和谐的表现。毕达哥拉斯发现半根弦的振动比一根弦的振动有高八度的音, 三分之二根弦的振动比一根弦的振动有高五度的音, ……。表示为简单的数学关系为: $2:1 =$ 八度音阶, $3:2 =$ 五度音阶, $4:3 =$ 四度音阶, ……。可以看到, 完美和谐的音乐与数有着简单的关系。

古希腊人曾强烈地致力于自然界中的和谐的研究。他们认为, 音乐仅是自然界和谐中的一种。毕达哥拉斯等还把自然界的音乐和谐概念带到远超过数学的范围。他们相信, 自然界的所有规律都是和谐的。特别是他们还相信行星在空间运行时产生和谐的声音, 即“天体音乐”。毕达哥拉斯学派一直影响着人们对自然和音乐的理解, 直到中世纪。像开普勒这样的物理学家, 即使在他确定了行星运动的三定律后, 他还是被天上的“合唱”所迷惑。他考虑, 什么行星扮演女高音, 什么行星扮演男高音角色等等。

当科学和音乐从十七世纪开始发展后, 科学家和音乐家不断地对对方的活动感兴趣。科学家经常是业余音乐家, 音乐家经常是业余科学家。随着科学上声学的发展, 人们不断地把声学的原理用于音乐和乐器。最近这些年, 声学科学的发展更为明显地影响着人们对音乐的理解。当然, 也有些人对于用科学来分析音乐持怀疑态度, 惧怕用了分析的手段会毁坏音乐优美的奥妙性。但是, 许多音乐家和物理学家都有一个共同的愿望, 希望两者之间进行合作以及增进了解, 同时他们也认为, 音乐可能是加强个人智力和审美经验的有效手段。

以下, 作为物理学家或物理爱好者, 来与我一起欣赏音乐与物理关系中的几个有趣片断。

主观和客观的描述

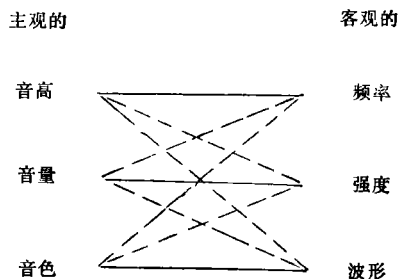
不容置疑, 音乐家和科学家有许多共同的特点, 例如, 他们两者都富有创造性, 他们感情丰富, 易于激动, 喜欢与他人交流他们的工作活动信息, 等等。但是, 他

们之间的一个基本差别是: 科学家总是力图用客观的词眼描述事物, 他们用仪器定量地测出相关的量, 其测量结果可以毫不含糊地, 始终如一地(在误差范围之内)表示出来, 通常可以用数学形式表示出来, 如声强表示为每平方米上多少微瓦, 或分贝。

音乐家通常是用主观的或感性的描述。比如, 一个声音可以描述为欢快的, 洪

亮的, 颤抖的, 低沉的, 嘹亮的, 细弱无力的, 粗声的, 尖声的, 圆润的, 隐晦的, 沉重的, 鼻音重的, 刺耳的, 清亮的, 模糊的, 等等。对音乐家来说, 整个过程就是一种感觉, 所以主观的描述看来是合适的。但是, 如想逐字地解释主观词的意义, 那是很困难的。比如说清楚“欢快的声音”是什么意思, 就得制造出几种这样声音的例子来说明。

科学家们尽量把客观的描述与主观感觉的词眼联系起来, 如(插图)



音高与频率, 音量与强度, 音色与波形有直接的关系。除此之外, 还有交叉关系, 如虽然音量与强度相关, 但如果它的频率非常高, 高到压根儿人的耳朵听不到, 因此音量也与频率有关。

音乐是如何产生的?

这大家都知道, 拨弄乐器, 振动嗓子, 声音就出来了。振动是发声的源泉, 确是如此。是否有兴趣稍为详细地看看音乐是如何产生的呢? 我们知道, 乐器一般分为弦乐器和管乐器, 还有打击乐器及电子乐器。以弦乐器为例。弦乐器上弦振动产生的波为横波, 即波在弦上传播时, 弦上质点的振动垂直于波的传播方向。传播到空气后, 由空气传播的波为纵波, 即空气介质的振动方向平行于波的传播方向。在弦上由简谐运动产生的波为正弦波。

所有弦乐器的弦两端都是固定住的(即无自由端), 当你弹琴时, 就发出一系列的波, 这些波在端点之间来回反射, 将形成驻波。事实上, 弦乐器发出声音的来源是横波驻波。我们可以等效地用两列波在弦上朝弦的相反方向传播来解释琴弦上形成的驻波。

设一个波列在琴弦上朝右边运动, 它的反射波朝左边运动, 如图1的上面两列波。如果琴弦两端之间的距离为半波长的整数倍, 则两个波在每一个端点互相

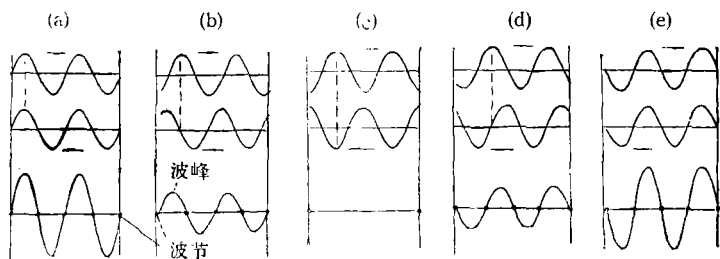


图1. 在琴弦上形成驻波

反射。在端点的幅度相加得到的幅度为零。沿着弦的其他点上：也是两列行波的幅度矢量相加，在某些位置，幅度相加结果永远得零幅度，如图1的最下图所示的黑点，称之为波节。在这些点上，弦没有上下运动。在另一些点上，振幅具有最大值，等于两个波的振幅的数值和，称为波峰，如图中(a)和(e)所示。其他各点的振幅在零与最大值之间，如(b)和(d)所示。在邻近的两个节点之间的整段波形称为波腹。整根弦作分段振动，各个分段各自上、下地作独立振动。

当大提琴，吉它或钢琴琴弦振动时，它的周期性运动使整个乐器振动。振动弦和乐器的表面撞击附近的空气分子，这些空气分子又撞击其他分子，向外传播周期性运动。周期性振动组成的压缩声波和能流向各个方向传播。

音乐声波的特点

就音乐也是一种声音，也是由物质振动产生声波直至被人的耳朵接收这一点来说，它与其他声波无异。但是，就人们的感受来说，却大不一样。有的声音很平常，是一般用作通讯、交流信息的工具；有的声音很刺耳、很强烈，如汽笛、警报等；也有的声音使人心烦，它们是环境污染源，如各种交通工具运行时发出的噪音，这些声音都令人不愉快。而乐器则是人们为娱乐所用，为丰富人们的感情、欣赏美好的声音所用，这些声音听起来往往很悦耳，是一种享受。

那么音乐声波的特点是什么呢？

我们知道，一个任意波形可以分析成为许多不同频率的正弦波的迭加。对于音乐，如果它是由一个简谐振动产生的，也即产生了一个某一频率的正弦波，由此所产生的声音称为一个“纯音”。但是，事实上，要从乐器得到一个纯音几乎是不可能的，而往往是由一些不同频率，叫做“陪音”的纯音混合而成的。换句话说，从乐器上发出的一个简单音调往往可分析出不同频率的纯音成分。这些频率中最低频率的成分叫做基音，所有高于基音频率的纯音称为上陪音或泛音。在特殊情况下，这些泛音的频率正好是基音频率的整数倍，它们就叫做谐音。如我们选择基音效率200Hz，并称它为第一谐音，它本身及较高的谐音即为。

第一谐音 $1f = 200\text{Hz}$

第二谐音 $2f = 400\text{Hz}$

第三谐音 $3f = 600\text{Hz}$

等等。大多数音乐曲调是由谐音组成的。事实上，整个音乐音阶是基于谐音音阶基础上的。这就是为什么音乐曲调听起来悦耳的基本原因。打击乐器的情况，它们的泛音频率基本上不正好是基音频率的整数倍。这种泛音叫做不谐和泛音，它们的音调听起来往往不那么悦耳。

一个音乐曲调音质的好坏还取决于其他方面，如音色(波形)，音高(频率)，音量(强度)以及不同频率的陪音的成分，幅度及相位等，甚至还有回声。其中复杂的音调波形起重要的作用。复杂的波形由各种频率的正弦波迭加而来。图2中(a)表示出两同频率的纯音(正弦波)迭加成的波形之一。假设两波有不同的某个初相位，有幅度 a_1 和 a_2 。合成后的波形曲线为 R ，幅度为 A ，仍为同样频率的纯音，但它的幅度取决于两纯音的相对幅度及初相角之差，它的音质或音色也随之有所不同。

如一个乐器发出第一和第二谐音，或两个乐器分别发出第一和第二谐音，即频率比为1:2(如833Hz和1666Hz)，如图2(b)所示。合成后的曲线为 R ，波形曲线的形状取决于两谐音的相对幅度和初相角之差。

假定我们听到一个任意给定频率的纯音，然后我们一个接一个地加上第二、第三和第四谐音，每一次合

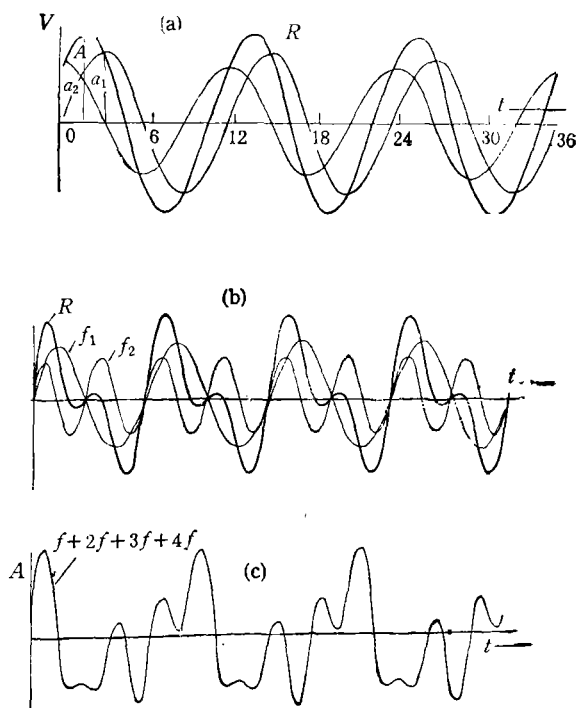


图2. 正弦波迭加成复杂波形

成音的音质取决于它们的相对幅度和初相角之差。所形成的波形图变得越来越复杂,如图 2(c)所示。一般情况下,音色变得更丰富,听起来也就更悦耳。两个、三个谐音音调一起发音分别叫做二重唱(奏),三重唱(奏),……。

经过对声谱的研究表明,决定音高的基频往往不是谱音中最响的部分,而往往是相当弱的。高强度的上陪音经常决定音色。通常在音高、音量或音色方面以 4—8 Hz 的频率周期性地变化产生颤音,可以使一个乐调变得更丰满。颤音为音高和震音响度调节;音色调节称为音色颤音。

我们还可以顺便看出电子乐器的设计思想。弦乐器、管乐器、打击乐器以至人的歌唱,都是振动某个部位,如弦、空气柱、鼓面、嗓子以及相应的空气,产生优美的音乐。我们已经知道,这些音乐曲调对应的振动波形曲线可以分析成为由许多不同频率的纯音(正弦波)迭加而成的。反之,我们可以设想,我们设法产生各种不同频率的正弦波,使之按人们的意志按一定方式迭加,不也就产生优美的音乐了吗?这就是电子乐器最原始的,也是最基本的设计思想。

细声细气的弦乐器

你可注意到了?弦振动发出的声音往往很小,而在弦乐器上往往配有大的木质鼓面,并且还有一个称作“琴马”的小东西。你可能会说,木质鼓面是为了加大声音。你说对了。但是,为什么?

我们知道,电传导中会遇到电阻,同样,声传播中会遇到声阻。特别是在传播过程中遇到两种不同介质的交界处,还有声阻匹配的问题。如果声阻不匹配,则声波就传不过去,或传出去很少,反射得很多。不管是弦乐器,管乐器还是打击乐器,它们的振动,必须通过它们自身及空气传播才能到达人的耳朵。弦与空气、管内空气柱与管外空气,鼓膜与鼓外空气都是两种不同的介质(除第二种外)。如我们把乐器振动部分,如弦、空气柱、鼓膜的声阻称为 A,把传递部分(空气)的声阻称作 B。则在 B 大于 A,或小于 A 时,在 A 上的声波遇到 B 时都会绝大部分被反射回 A;只有当 B 等于 A 时, A 上的声波才会全部通过 AB 交界面传到 B。图 3 的(a)、(b)、(c)和(d)分别表示 $B \gg A$ 、 $B = A$ 、 $B < A$ 和 $B = 0$ 时入射波通过两种介质交界处时传播的情况。

为了把声能最大限度地从一种介质传送到另一种介质,两种介质应该连接起来,理想的情况是它们有相同的阻抗。如果两种介质的阻抗很不一样,则应该提供一些中间系统使得能量从一种介质到另一种介质的传递处在连结处只有很小的反射。这样一个过程称之为阻抗匹配。起这种作用的系统叫阻抗匹配耦合器。声源的阻抗与周围空气的阻抗极不相同的情况是经常有的,所以阻抗匹配问题在多数乐器中都会遇到。

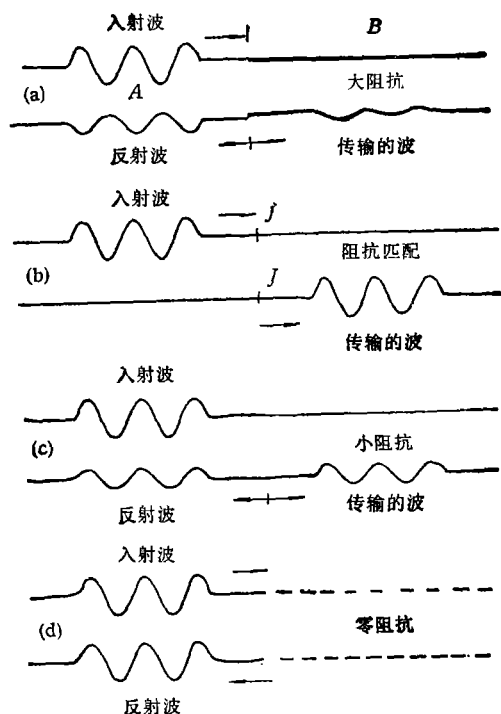


图 3. 两介质交界处波的传输情况

鼓膜的阻抗与周围空气的阻抗相当匹配,因此,击鼓产生的声音能很好地传到空气介质,人的耳朵听到很大的声音。弦的两头被牢固地拴住,当它被击振动时,只能听到很小的声音,这是由于弦与空气之间的阻抗匹配不好。大部分情况是由于两者之间只有很小的接触区域的缘故。因此在用弦作乐器时,如班卓琴、小提琴、大提琴及吉它等,要设法改善它们的阻抗。通常是通过一个“琴马”把弦的振动变换到鼓面或一个大的木质表面。这些面与空气的阻抗匹配较好,因而有较多的声能传送到空气中。同样,麦克风也是这样,麦克风的圆锥形壁口慢慢地、均匀地张大,直到一个大的出口,这样,它与空气之间就有一个较好的阻抗匹配,因而声音就能很好地传出去。(待续)

泡利成功说

一 静

泡利 21 岁撰写有关相对论的长篇综述文章,为创立量子力学作出重要贡献。他特别重视物理规律的对称性和不变性,还提出中微子概念。1945 年因发现“不相容原理”而荣获诺贝尔物理学奖。他获得成功的原因,除了智力异于常人外,他没有常人的具有的自卑感。他自信而不迷信,甚至面对权威也能在精神上与之平起平坐。正因如此,他才成为了了不起的物理学家。