

琴弦衰减特性 对钢琴声学品质的影响

沈阳音乐学院乐器工艺系 李子晋

【摘要】 本文通过对钢琴琴弦衰减特性的剖析, 提出影响钢琴声学品质的几种因素, 解释由此产生的声学现象, 为研究琴弦其他物理特性对声音品质分析提供参考方法。

【关键词】 琴弦; 衰减特性; 泛音的非谐和性; 拍音

钢琴声音的产生是琴弦的振动能量通过音板的共鸣传播的过程, 钢琴的琴弦受到琴槌的激发, 从静止状态偏离原来的位置做往复运动, 直到能量完全消失, 回到平衡状态, 完成了弦的振动的全过程。

弦的振动是由一系列不同频率、不同振幅、不同相位的简谐振动叠加而成的。这些不同的频率包括基频、二倍频、三倍频, 以至更多的整数倍频。它是由弦的全段振动、分段振动组成的。全段振动指的是我们从这些频率中所听到的基频音, 即基音 (频率最低的音)。分段振动与基音最近的音称为第一泛音, 其次称为第二泛音, 依次类推。如果将泛音之间的频率关系用整数倍来表示, 那么, 称这些音为谐音, 基音为第一谐音, 第一泛音为第二谐音, 第二泛音为第三谐音, 以此类推。这些谐波都拥有属于自己的能量范围和特征, 所以才会对钢琴的音量、音色, 以及音的长短产生影响。

1 琴弦衰减特性

1.1 琴弦振动方式——阻尼振动

理想的弦是以一种较为简单的振动模式——简谐振动 (harmonic vibration) 来完成振动的。它是一种没有衰减的正弦曲线。但实际上, 由于受材料、边界条件、外部阻力等因素的影响, 并不存在简谐振动的琴弦, 一般的琴弦振动以阻尼振动 (damping vibration) 的方式进行。阻尼振动与简谐振动所不同的是, 它的振幅随时间的推移而变得越来越小 (见图 1)。

琴弦受迫振动后, 由于振幅的逐渐衰减, 能量逐渐消失, 声音也越来越弱。那么, 琴弦振动停止的越快, 声音

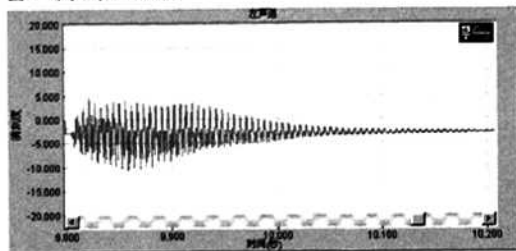
的衰减率越大。衰减率是指单位时间内琴弦振幅减小的值。这种振动方式决定了琴弦的衰减特性, 即随着时间的延续其振幅逐渐减小的过程。形象地说, 就像钟摆在摆动状态下所做的运动, 由于受到空气或者机械等其他阻力的影响而逐渐停止摆动的过程。

阻尼振动的一个重要概念就是其品质因数 Q , 它与振动物体衰减的速度有关。 Q 值越小, 振动衰减得越快; 反之, Q 值越大, 振动衰减得越慢。

$$Q = 2\pi \times \frac{\text{系统贮存的能量}}{\text{一个周期损耗的能量}}$$

在音乐声学中, 有时会要求衰减率 (即单位时间内振幅减小的速度) 高一些, 如钢琴琴弦的衰减率在一定范围内需要高一些, 但超出一定范围时, 声音的延续便会影响音乐进行的清晰感。如果乐器发音体的振动衰减过快, 能量输出得过少, 发音的持久性就相对较短。由于钢琴的中音区和低音区声音衰减得较慢, 而高音区则衰减较快, 所以在演奏时必须根据作品的需要来适当使用踏板, 以此来弥补琴弦衰减所带来的不足。反之, 有些乐器如果不具备

图 1 琴弦的阻尼振动



良好的发音持久性，则没有足够的表现力。

在钢琴中，发音持久性的问题一般是由琴弦的衰减率及音板的机械阻力所决定的。另一方面，琴弦本身材料的波阻抗，即弦振动时激起的机械反作用，对声音的衰减也有一定的影响。

琴弦的波阻抗决定于琴弦的质量及音在琴弦材料中的传播速度，其从属关系可以表示为：

$$\omega = \rho a S$$

ρ ——弦材料密度

a ——音传播的速度

S ——琴弦的横断面积

如果上述从属关系中的音速通过弦长及其频率 ($a = 2lf$) 来表示，那么波阻抗还可以表达为：

$$\omega = 2lf\rho S = 2mf$$

即琴弦的波阻抗等于它整个质量的2倍乘以频率。

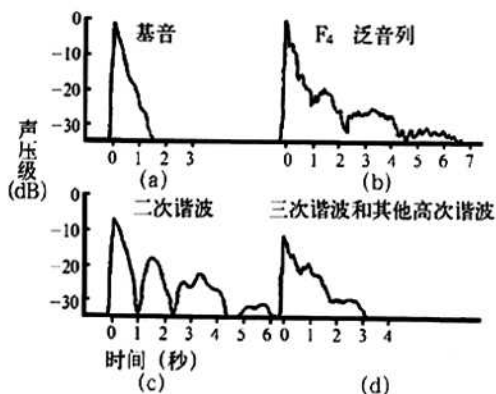
如果以琴弦的材料来确定波阻抗，那么也可以用以下公式来表示：

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\sigma \rho}$$

波阻抗以力欧姆 (兆欧姆) 测量。

如果琴弦的波阻抗很大，即琴弦难于受振动，那么它由小槌敲击而引起的位移是极小的，并且很快就停止，因而音短。但如果琴弦的波阻抗太小，那么当小槌敲击时就会强烈地把琴弦弯曲，这时在琴弦内所激发的附加张力，也同样会影响到音的清晰度。

图2 钢琴琴弦各次谐波的衰减率比较



1.2 提高琴弦衰减率的三种方法

钢琴声音的传播是由琴弦振动，通过弦马到达音板，由音板传向空气，再传入人耳的过程。琴弦振动是声能产生的环节，它的能量是决定声音振动能量大小的关键，因此，在声音传播的第一个环节中的衰减问题是至关重要的，如何提高琴弦衰减率就成了亟待解决的关键问题。

衰减率的提高需要外力作用、重力作用或者能量的转移来完成。

(1) 外力的作用。就像钟摆在摆动状态下，如果不给它任何外力的作用，它就会因为空气或其他阻力的作用逐渐停止。反之，如果给予它外力的作用，它就会克服空气或其他阻力，继续运动。琴弦的振动亦如此，但却很难直接给琴弦这种克服阻力而继续振动的外力。

(2) 重力的作用。从物理学上讲，在一定范围内，给予物体的重力越大，其运动的能量就越大，衰减率就会降低。这一点正好与高音弦通常会比低音弦衰减得快的现象相吻合。但是在同一频率的琴弦上，不同质量的材料也会造成音色的不同，因此，这一方法并不可行。

(3) 琴弦在完全衰减前，把能量转移给音板，音板就像一个放大器，将从琴弦那里所获得的能量放大，并通过音板的衰减来完成声音的延续。只有这种办法可以提高琴弦的衰减率，因此，音板的输入阻抗等诸多特性在这个过程中起到很重要的作用。

1.3 钢琴琴弦各次谐波的衰减率比较

基音、二次谐波、三次谐波和所有谐波的衰减曲线，通过测量可以看出 (见图2)，基音与二次谐波在整个泛音系列中，是处于优势地位的，从听觉上感觉比较突出。而三次谐波和其余的多项谐波都不很突出。

泛音非谐和性是钢琴琴弦所特有的性质，由于钢琴的结构复杂，受到琴弦材质、锈蚀程度、塑性变形程度以及弦列设计、琴马质量、铁骨尺寸精度等诸多因素的影响，其泛音列并不像理想中的琴弦，可以呈现出严格的整数倍的泛音列，而是具有非常明显的非谐和性和不规则性。这种特性使得钢琴在音色及钢琴调律的音高检验、拍音听辨过程中发生了一定的变化。

2 由于钢琴琴弦衰减特性而产生的现象

2.1 泛音的非谐和性与音色

泛音之间的频率不谐和——泛音的非谐和性，在钢



琴音色中起到很重要的作用(尤其第一、二、三次谐波,因其谐波相对衰减得较快),它会导致音色上的不柔和,但是绝对谐和的音色并不一定会给人以悦耳动听的感觉。

美国著名钢琴调律师 James F. Ellis 研究结果表明,就钢琴的声音而言,泛音的非谐和性存在于声音中会使音色更加丰满,但超出一定范围,其效果适得其反,这一现象在低音区尤为突出。这也是电子钢琴和声学钢琴在音色纯净度上的差异所在。由于钢琴声音中泛音的不谐和关系是由琴弦的刚性因素所决定的,那么它与琴弦的长度、直径、张力的关系如下式。

$$f = n f_0 \sqrt{1 + K \frac{n^2 d^2}{TL^2}}$$

f_0 ——琴弦振动的基频

K ——琴弦的刚性系数

d ——琴弦的直径

T ——琴弦的张力

L ——琴弦的有效弦长

所以,在长度、直径不变的情况下而增加琴弦的张力,会降低泛音的不谐和因素,在直径和张力不变的情况下而增加琴弦的长度,同样会降低泛音的非谐和因素。

2.2 假拍

(1) 拍音与声音的衰减

琴弦振动时,产生的一种复合音是由基音和一系列的谐波组成,这些谐波不会改变原来声音的音高,反而会使声音更加丰富。

假拍是由于琴弦的构造或张弦的方法等因素,而致使一根琴弦振动时谐波间以差别极小的频率相互干涉,所产生的拍音现象。假拍的产生使琴弦振动产生的谐波不符合正常谐波合成后的波形,使琴弦在一个斜向的椭圆形状态中振动,它产生的能量则以一个恒定的速度消失,不利于声音的延续,也就是衰减率的减小。

正常状态下琴弦振动产生的拍音现象不同于假拍。正常的拍音是在两根琴弦同时振动时,不同频率的同度音产生的波所合成的,有拍音的现象能使刚发出的声音产生变化,从而导致声音的快速衰减。一般比较优秀的调律师能把拍音控制在上下 1.5 音分的范围,而超出这个范围,拍音偏离 2 音分以上,则无法充分地体现音乐。

(2) 有拍音和无拍音现象在音色上的区别

有拍音(指拍音速度较慢)和无拍音现象在音色上有细微的差别,无拍音现象在听觉上给人的感觉是声音纯净。两者即使是在基音无区别、持续一段时间后的余音上,音色也会产生变化。无拍音的精确的调音状态,使音色始终保持最初的声音状态,基音先趋于衰减,余音则持续发音。不稳定的(即有拍音的)基音会更快、更早的发生衰减现象,而余音则正常发出,两者在能量损失上无差别,发生衰减的时间不同则导致了音色的不同变化。

以诺的斯卡三角钢琴和立式钢琴为例,在不使用踏瓣的情况下,将钢琴中 C1~C8 键在 60 dB 下对基音和谐音进行声音衰减的测试。我们发现在 0.2 s~50 s 时间段内,尤其在第三、四两个八度范围内,声音衰减变化最大,低音区比高音区在声音上更具持久性。由此可看出,声音衰减发生在不同时间以及不同频率的区域,从而产生不同的音色。

2.3 声音衰减在音乐上的重要性

合适的声音衰减在钢琴演奏中尤为重要,要听到优美如歌的旋律需要持续的音调,声音的衰减就必须要在一定范围内进行。如果持续时间过长,声音将失去清晰感,反之,如果持续时间过短,声音将缺乏饱满度。我们可以想象用管风琴演奏肖邦的《降 A 大调波兰舞曲》或用钢琴演奏巴赫的《F 大调托卡塔》时所发出的声音效果。因此,在钢琴调律中应考虑到音乐作品及演奏风格等因素。

3 结语

钢琴琴弦的衰减特性对钢琴的声音品质、调律、音乐表现等方面产生了诸多的影响。对钢琴结构的分析需理论联系实际,结合实践中出现的具体问题做出判断,才能透彻地了解钢琴琴弦的物理特性。

参考文献

1. 姜镇雄. 音乐声学. 北京: 电子工业出版社, 1995
2. 韩宝强. 音的历程——现代音乐声学导论. 北京: 中国文联出版社, 2003
3. 关肇元, 金菊生. 钢琴制造. 北京: 轻工业出版社, 1960
4. 陈喜棠. 钢琴制造. 台北: 徐氏基金会出版, 1984
5. Klaus Wogram. The strings and soundboard. Five lectures of The Acoustic of Piano