

声乐的颤音与调幅波

钟育乔 杨 蕾

(海南医学院物理教研室 海口 570102)

当歌星放声歌唱,发出某一音阶的较长乐声时,常常能听到一种音量上有缓慢节律变化的、富有弹性的声音。在声乐中称为颤音(Vibrato)或“揉弦效应”。初学者模拟这种声音时,刻意去调控音量的起伏,却往往发出生硬的抖音,有人戏称为“打摆子”。其实,歌唱家并没有刻意去做作,而是通过科学的发声训练而获得的发音效果。为什么他们能发出如此自然而动听的颤音?

唱歌除了要运用好人体中各个部位的共鸣器——如胸腔、腹腔、口腔、鼻腔、鼻窦、额窦等等以获得浑厚、嘹亮的声音外,最重要的发声器官就是一对声带。声带由声襞以及由其覆盖的声韧带和声带肌三者组成,处于气管上方,喉腔内左右侧;乃人类唱歌或语言的重要声源——振动源。适当调控通过声门裂的气流及声带的松紧度,可发出不同频率的声音,加上正确地运用共鸣,就可发出动听的歌声;这是一个复杂的生理——物理过程。本文仅就声乐颤音的生物物理机制作简要分析。

唱歌除了要运用好人体中各个部位的共鸣器——如胸腔、腹腔、口腔、鼻腔、鼻窦、额窦等等以获得浑厚、嘹亮的声音外,最重要的发声器官就是一对声带。声带由声襞以及由其覆盖的声韧带和声带肌三者组成,处于气管上方,喉腔内左右侧;乃人类唱歌或语言的重要声源——振动源。适当调控通过声门裂的气流及声带的松紧度,可发出不同频率的声音,加上正确地运用共鸣,就可发出动听的歌声;这是一个复杂的生理——物理过程。本文仅就声乐颤音的生物物理机制作简要分析。

正常发音时声带应发出同一频率 ν ,否则会有沙哑的双音或听起来像“公鸭嗓”。然而,当两声带分别发出两个圆频率极相近($\omega \pm \Delta\omega, \omega \gg \Delta\omega$)、振幅相同的简谐振动,在空气中同一区域同向传播,就会形成调幅波。乐声通常是某一基频和它的倍频(所谓泛音)构成的谐振波。这里只考虑基频的纯音,并忽略波的衰减。

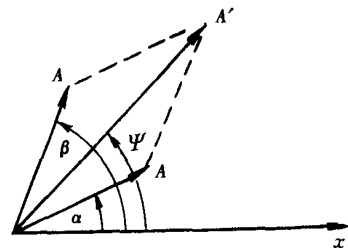


图1 矢量合成图

$$\begin{aligned} S_1 &= A \cos[(k - \Delta k)x - (\omega - \Delta\omega)t] \\ S_2 &= A \cos[(k + \Delta k)x - (\omega + \Delta\omega)t] \\ K &= 2\pi/\lambda; \quad \omega \gg \Delta\omega \end{aligned}$$

如图1 $S = S_1 + S_2$

叠加后仍是简谐波,合振幅:

$$A^2 = 2A^2[2\cos^2(\Delta kx - \Delta\omega t)]$$

$$A' = 2A \cos(\Delta kx - \Delta\omega t)$$

$$h\nu_0 = \Delta E = g\mu_0 B_0$$

即

$$\nu_0 = \frac{g\mu_0 B_0}{h}$$

上式可写成 $\omega_0 = \gamma \cdot B_0$,称为拉莫尔公式。式中 $\gamma = 2\pi g\mu_0/h$,即为原子核的磁旋比。当激励磁场的圆频率 ω_0 和外磁场的磁感应强度 B_0 满足拉莫尔公式时,原子核就对电磁辐射发生共振吸收。例如,对于在1T磁场中的 ^1H 核来说,共振频率是42.5MHz。这个频率在电磁波谱中无线电波的频带之内,对生物体无破坏作用。

利用核磁共振技术进行非损伤性的血流测量,正是基于血液内含有大量的水,而水分子中的氢核具有一定磁矩,如存在外磁场,则该磁矩将与外磁场发生作用,使血流被磁化,而血流磁化后的磁化强度 M 与血流速度 ν 和血流量 Q 之间存在一定的函数

关系。只要在血液流过磁场中某点时,设法使该点磁化强度发生变化,然后在相距此点一定距离的另一点探测这种变化。如果测得该点核磁信号的滞后时间,则可由已知距离和时间求得速度。也可以先找出磁化强度 M 与速度 ν 的函数关系(如图6所示),然后再探测血流流过某点的磁化强度。若设法测得流量与磁化强度的关系,则由 $S = Q/\nu$ 可求得血管的横截面积。

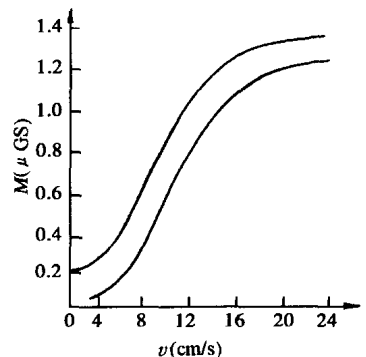


图6

合成波的相位: $\Psi = \frac{1}{2} [(k + \Delta k)x - (\omega + \Delta\omega)t - (k - \Delta k)x + (\omega - \Delta\omega)t] + (k - \Delta k)x - (\omega - \Delta\omega)t$
 $= (kx - \omega t)$

合成波 $S = 2A \cos(\Delta kx - \Delta\omega t) \cos(kx - \omega t)$

这是一个以 ω 为基频的简谐波,其振幅被一个频率 $(\Delta\omega)$ 很低的包络所调制,调制因子为: $2A \cos(\Delta kx - \Delta\omega t)$,相对于合成波基频 ω 来说是缓慢变化的,称调幅波,振幅作周期性变化形成“拍”。如图 2,这种拍再与其他共鸣器产生的基频波混合后,就产生类似小提琴的“揉弦效应”。

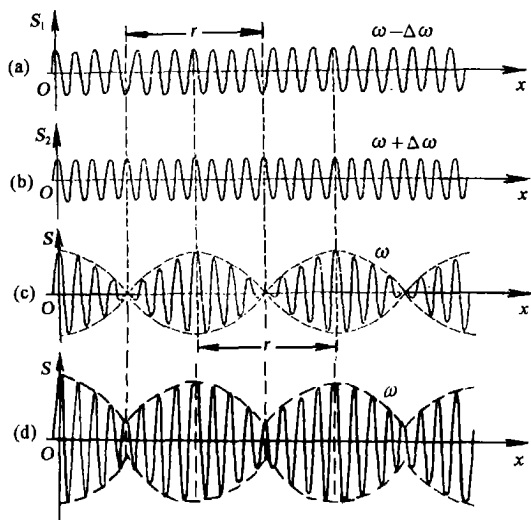


图 2 不同频率两谐波的叠加

还有另一种情况,当两列波 S_1 与 S_2 的振幅不相等。如 $A_1 = nA$ ($n > 0$),则合成波的振幅: $A' = A[(n-1)^2 + 4n \cos^2 \theta]^{1/2}$ ($\theta = \Delta kx - \Delta\omega t$)

合成波的相位: $\Psi = \tan^{-1} A_y / A_x = \tan^{-1} (A \sin \alpha + nA \sin \beta) / (A \cos \alpha + nA \cos \beta)$

这里 $\alpha = (k - \Delta k)x - (\omega - \Delta\omega)t$; $\beta = (k + \Delta k)x - (\omega + \Delta\omega)t$;

由于 $\omega \gg \Delta\omega$; $k \gg \Delta k$; 所以 $\Psi \approx \tan^{-1} (kx - \omega t)$

故合成波 $S = A[(n-1)^2 + 4n \cos^2 \theta]^{1/2} \cos(kx - \omega t)$ 也是一个频率为 ω 的调幅波,振幅也为甚低频 $\Delta\omega$ 所调制。

显然,当 $\theta = \Delta kx - \Delta\omega t = \pi/2$ 振幅 $A' = (n-1)A$ 最小

当 $\theta = \Delta kx - \Delta\omega t = 0$ 振幅 $A' = (n+1)A$ 最大

若 $n=1$,即 $A_1 = A$;又回到上述情况,如图 2(c)

所示;若 $n=2$,即 $A_1 = 2A$;调幅波如图 2(d) 所示,等等,在这种情况下,即使其他发声器发声甚弱,也能听到主频率 ω 下的颤音。究竟采用哪种方式取决于歌手的生理条件和习惯。也许发声器官生理结构不对称的人更愿意采用后者。

因为振幅为正值,余弦的绝对值的周期为 π ,调幅波波幅的变化周期 τ 满足: $\tau = \pi / \Delta\omega = 1 / 2\Delta\nu$, τ 太短则感到声音抖动, τ 太长则听不出音量的起伏。不同歌手所发颤音 τ 的长短并不相同,甚至同一歌手在高音区与低音区也不一样。一般认为 $0.1 \text{ 秒} \leq \tau \leq 0.25 \text{ 秒}$ 较合适。相应的频率差: $5 \text{ Hz} \geq \Delta\nu \geq 2 \text{ Hz}$;音阶的中央 C 频率为 256 Hz ,其颤音的频率相对变化率 $\Delta\nu/\nu$ 为 $2\% \sim 8\%$ 之间,意大利名曲《我的太阳》最高音阶 B^1 频率为 960 Hz , $\Delta\nu/\nu$ 为 $5\% \sim 2\%$,也就是说只要两发音体有极小差异就可以产生这千分之几的相对变化率,就能听到悦耳的颤音。这就是在低音区域更容易获得颤音的缘故。

综上所述,声乐中歌手主要是调控发音器产生基频 ν 及其微小差频 $\Delta\nu \ll \nu$ 获得音量起伏,发出饱满流畅的颤音;至于器乐中的“揉弦效应”则是通过指法调控弦的张力或长度来改变振动频率以获得相同效果的。可见在声乐颤音训练中,是以音阶的准确为主,还是以调控气息量(或力度)为主,应该会比较明晰的了。音准尚不能把握,又怎能唱出优美的旋律和颤音呢?

封面照片说明

今年 7 月初,由美国航天局、欧洲航天局和意大利航天局联合实施发射的“卡西尼”号土星探测器,经过 6 年零 8 个月、35.2 亿千米的漫长太空旅程,首次进入具有“魔戒”之称的土星轨道。“卡西尼”号探测器长 6.6 米、宽 3.9 米、重 2442 千克,发射时重 5670 千克(包括燃料),其携带的“惠更斯”探测器重 317 千克。这是第一艘环绕土星探测的人类飞船,也是迄今为止发射的最复杂的星际探测器。“卡西尼”号探测器上带有 12 种科学仪器,主要探测内容为确定土星光环的三维结构和动态行为、确定土星表面的组成和地质演化、测量磁气圈的三维结构和动态行为等。“惠更斯”号探测器计划 12 月 25 日脱离“卡西尼”号,飞往土卫六。土卫六很像 40 亿年前的地球,有着厚厚的大气层,也许还有液态甲烷组成的海洋,科学家们希望由此了解地球演变的过程,并揭示土卫六上是否存在原始生命。