

丝鸣的特征及其形成机制的研究

蒋 蕙 钧

(苏州丝绸工学院)

【摘要】 丝鸣是蚕丝的风格特征之一,通过分析它的谱征,发现这种效果具有典型的乐声结构。通过对丝鸣形成机理研究表明,丝鸣受欢迎的主要原因乃是这种纤维具有特殊的摩擦特征,它对改善触觉风格有重要的价值。

蚕丝经过适当处理以后,便能具有某种特有的声响效果,这就是大家所熟知的“丝鸣”现象。丝鸣受到青睐,并非仅因提供声感上的享受,更重要的是在形成丝鸣的同时,能提供特殊的触觉风格。

因丝鸣而伴生的这种触觉风格,由于含有特殊的振动特点,能使接触者获得一种特殊的快感。本文研究的是怎样才能获得这种特性。

一、试验方法

(一) 试验装置

将两根有张力的长丝以十字交叉的形式互相紧贴,其中一根的两端被固定在两个支柱上,另一根则以一定的速度从它的中央部位通过,然后将产生在交叉处的摩擦声记录,以供分析。测试中如需改变两根长丝间的压紧状态,可通过改变运动长丝和固定长丝之间的交叉压力角来实现,试验时需注意做好防干扰工作。

(二) 试样

1. 长丝试样

试样 I: 无捻精练蚕丝(23dtex),水洗后在1%的碳酸苏打溶液中浸10分钟取出。

试样 II: 原料同试样 I,水洗后在酒石酸中浸10分钟取出。

试样 III: (23dtex × 6^T × 2) × 6^T 的加捻蚕丝,先用皂碱法脱胶,并用酸性染料染色,然后在1%的酒石酸中浸10分钟后取出。

试样 IV: 75dtex 涤纶丝(处理同试样 III)。

试样 V: 132dtex 粘胶丝(处理同试样 III)。

2. 织物试样

试样 VI: 塔夫绸,酸处理同试样 II。

试样 VII: 尼丝纺,酸处理同试样 II。

试样 VIII: 真丝双绉,酸处理同试样 II。

(三) 实验基本条件

速度为 138nm/s; 张力分别为 0.15(N)(固定)、0.7(N)(运动); 交叉压力角 45°; 用于 I、II 试样的固定试样根数 200、运动试样根数 1200; 用于 III、IV、V 试样的固定试样根数 100、运动试样根数 400。

(四) 检测设备

1. ND 声级计,拾音频宽 20Hz~20kHz
2. 录音机,有效频宽 10Hz~16kHz
3. 记录示波器

二、丝鸣的特征分析

(一) 对长丝的摩擦波形分析

长丝的摩擦波形表示运动时间和声响强度的关系,可用于鉴别试样的摩擦振动性质。

对制备的五种长丝所作的试验表明:

1. 凡经酸处理的无捻蚕丝(试样 II)、涤纶丝(试样 IV)、粘胶丝(试样 V)都有明显的间隙振动——粘滑特征,振幅变化规整,并有较为明确的周期性。而其中又以无捻蚕丝的特征最为典型。

2. 经碳酸苏打处理的无捻蚕丝和经酸处

理的强捻蚕丝则均无上述振动特征。说明此类振动特征的产生和材料的形态结构有比较密切的关系。表面光滑均匀的长丝纱理应具有这方面的优势，特别是能在摩擦时使表面纤维处于平直张紧状态的长丝。效果应更好些。显然经酸处理后的蚕丝长丝纱就有这方面的优势，涤纶丝和粘胶丝也有一些。经碱处理后的蚕丝，或是高捻的蚕丝虽经酸处理却没有这种结构特点，它们由于表面纤维已成疏松状态，或表面纤维不能和摩擦方向保持平直，而得不到上述振动特征。

(二) 从长丝的频谱图分析

从试样 I 的频谱图可以看到，经酸处理后的蚕丝有这样几个特点：

1. 在低频段有较高的峰值和很宽的分布，说明该区段的振动十分丰富，这一区段的频率可给人体的触觉提供较理想的快感效果。

2. 在 100Hz 以后有频带较宽的间隔均匀的线状谱，同时在线状谱之间分布有较低的低连续谱，而且谱线间有十分相似的分布规律，表明该频段的振动具有明显的谐波特征。

3. 在 7~8kHz 处有突然出现的波峰，波峰虽然不高，但在此之前或在此之后相当宽的频带中，波形一直是很低很平稳的，这说明丝鸣中有少量频域很狭的高频声存在。

涤纶丝的频谱图就不具备上述三个特点，低频段的振动不够丰富，中、低频段亦无线状谱特征，波形也不规整，在 700Hz 以后很快就趋于平直。但近期研究表明，如适当选择酸处理条件，或改变涤纶纤维的形态结构，这一频谱特征仍有可能改善。

(三) 从织物的频谱图上分析

上述三项存在于蚕丝长丝纱之间的摩擦音特征，如果确属材料本身的振动特征，应在它改取其他构成形式以后仍能在同样的振动条件下获得，为此本题又以手动摩擦方式，从真丝双绉，粘胶美丽绸和涤纶绉上取出了织物——织物摩擦声音的频谱分布图。

从所得真丝绸的频谱图中可以看出，它同

样具有蚕丝的摩擦音特征，即包括 0~50Hz 在内的整个低频区段都有丰富的振动，在中低频段也有较宽的频带分布，且具备线状谱的周期性特征，它的高频区段波形亦有一重新凸起的过程，但不是正确地集中在 7~8kHz 的位置上，这可能和织物间摩擦时，纤维的交叉摩擦状态与长丝纱之间取典型横向振动状态不同有关。

粘胶美丽绸和涤纶绉的频谱图则明显不具备上述摩擦音特征。

(四) 丝鸣的物理特征

1. 有很丰富的低频振动。

2. 在中、低频段有较宽的频带分布，且有明显的线状谱特征，各线状谱间波形规整，形状相似，并有谐波的特征。

3. 在波形分布已逐渐平伏后于 7~8 kHz 处又有凸起的小峰，表明存在有一定数量频率特异的高频振动。

如果只从音质上去判明丝鸣的乐感，根据上述特点不难发现，这恰是一个理想的乐声结构，即既有厚实的低音区与不同层次的和声组合，还有高音的领奏，这可能就是丝鸣声受人们宠爱的原因。

三、对丝鸣形成机制的分析

上述丝鸣的典型特征，显然只有在典型的摩擦发声条件下才能获得，而具有这种条件的蚕丝长丝，即使是处在非典型的摩擦条件下，也可能得到一部分或是不完全典型的丝鸣特征，出现在真丝绸之间的丝鸣声就属这种类型，这说明从典型的摩擦状态着手，分析丝鸣的形成机制还是对的。

(一) 关于 B 振动与 C 振动

在上述典型摩擦发声的条件下，纤维是以弦的形式受激发振动的，所形成的横向波称 B 振动，在蚕丝的频谱图上，大致是分布在 100~1000Hz 之间，其频率 f (基频) 由下式求得：

$$f = 1.58 \times 10^{-5} \frac{n}{l} \sqrt{\frac{T}{10\rho}}$$

式中： f -频率(Hz)； T -张力(N)； l -弦长(cm)； ρ -线密度(g/cm)； $n=1, 2, 3, \dots, n$ (取决于弦的几何形状)。

理想的弦振动应能激发出谐和波，这是一种非连续的线状谱，按等差级数的规律分布，而无规则的噪声只能形成杂乱无章的连续谱。经测算，酸处理过的真丝，在本实验条件下的基频=93Hz，相应的泛音频率分别为136、278和372Hz。

如果这一振动是在无阻尼的状态下进行，在丝的拉开距离为 h 的情况下，振动的位移运动方程为^[2]：

$$y = \frac{8h}{\pi^2} \left[\sin\left(\frac{\pi x}{l}\right) \cos\frac{\pi ct}{l} - \frac{1}{9} \sin\left(\frac{3\pi x}{l}\right) \cos\frac{3\pi ct}{l} + \dots \right]$$

式中： l -弦长(cm)； c -波的运行速度(cm/s)； t -时间(s)。

已知丝振动发出的声音强度与上述振幅的平方成正比，而高次谐波的振幅又比基频要小得多，因此如按本题的实验条件折算，横向波的频率在2000Hz以后即应趋于平直，说明即使摩擦时能出现理想的 B 振动，也不可能有很大的分布宽度。但若振动比较理想，这时就能出现较多次的谐波，乐感就好。倘若丝的阻尼情况不理想，那就不可能有理想的 B 振动，中频带宽度既不会大，同时谐波也不会出现。至于测试时出现在7~8kHz处的振动，据上所述，显然不可能来自 B 振动，而事实上在实验中也已发现，不管弦长与张力怎样改变，甚至在成为织物后进行摩擦，它总是存在，而在其他纤维上，无论怎样摩擦也不出现这种现象，说明这种只有在酸处理后的练熟蚕丝上才具有的振动，乃是丝鸣所特有的一种振动特征，简称为 C 振动，在声感上来说，这种振动所提供的应是频率较高的清脆声。

从以上分析可知，只要纤维间的摩擦是以弦振动的形式进行，那 B 振动的种种特征都应该有，即前述丝鸣的第二项物理特征应都具

备，但若摩擦不是以理想弦振动方式进行(例如短纤维纱之间的摩擦)，或同时还存在着较强的阻尼能吸收这些振动(例如经 Na_2CO_3 处理过的蚕丝)，则 B 振动便不能发生，这时尽管长丝是取的弦振动形式，但实际摩擦点处的纤维间，却并不具备弦振动的条件，因此，丝鸣的特征便会削弱，甚至不能得到。

至于 C 振动，因这是蚕丝所特有的一种摩擦特征，对非蚕丝类纤维来说，要取得这一特征就更困难了。

这就是为什么有些非蚕丝纤维的长丝，经酸处理后也能得到某些丝鸣特征(只能是第一和第二项物理指标)的原因。

(二) 粘滑运动与摩擦系数的负梯度特征

由于纤维、纱线都是细长的物体，即使在形成织物以后，处在实际位置上的也仍然是细长的纱线和纤维体，所以弦振动依然是它们摩擦发声的唯一振动形式。

但如果在纤维互相摩擦的过程中不出现“拉紧-放松”(即形成弦振动所需要的 h 距离，并放开任其自由振动)的动作，上述弦振动便不可能发生，不能设想在一对十字交叉互相压紧着的纤维间，可以在不出现相对运动的情况下发生弦振动，不过在蚕丝产生丝鸣的时候，实际上在表面紧压的纤维之间，“拉紧-放松”的动作是不断进行的，因此要求试样具备明显的粘滑特征，应是丝鸣必要的前提条件。

显然只有具有摩擦系数为速度负梯度特性的纤维，才能满足这一要求，即它们的动摩擦系数需能随纤维间相对滑动速度增大而不断减小，当它与静摩擦系数间的差值达到一定幅度时，便开始出现间歇性振动，以后这一过程又重新进行，如此不断重复，便构成了粘滑运动。由此可见，这时存在于纤维之间的摩擦力实际上是纤维伸长变形的策动力，只有依靠这一变形，才能迫使纤维的局部离开平衡点(拉紧)，并在一旦发生滑动(放松)以后产生振动，这时存在在纤维之间的摩擦力，又可能变成阻碍振动继续激发的阻力。

表 蚕丝与涤纶丝经处理后动静摩擦系数

原 料	静摩擦 系数 μ_s	动摩擦系数 μ_k				$\mu_s - \mu_k$
		0.418 mm/s	5.028 mm/s	12.50 mm/s	20.9 mm/s	
酸处理蚕丝	0.3543	0.2328	0.2177	0.2172	0.2140	0.12
Na ₂ CO ₃ 处理蚕丝	0.3849	0.4500	0.4670	0.4709	0.4780	-0.066
酸处理涤纶丝	0.3570	0.3166	0.2878	0.2472	0.2271	0.04

已知经酸处理过的蚕丝有丝鸣特征，而经 Na₂CO₃ 处理过的蚕丝或经酸处理的涤纶丝都没有丝鸣特征，这说明丝鸣与纤维表面特征有关，实测已经证明它们的动静摩擦系数差 ($\mu_s - \mu_k$) 和摩擦系数的速度负梯度曲线，与蚕丝相比都有明显的差别(见表)。

(三) 酸处理的影响

蚕丝经酸处理以后之所以能得到摩擦系数的速度负梯度特性，并因此而具备丝鸣效果，分析其原因，无非是因为脱胶后的蚕丝在与弱酸作用以后，能随 pH 值趋于等电点，使丝身张紧平挺所致，在显微镜下观察，可发现这时纱束中单纤维伸直与排列的规整都明显提高，因此在张力下互相摩擦，就能具备较高的 ($\mu_s - \mu_k$) 值，这无异是使弦振动中的横向提拉距离 h 值升高，应可激发出良好的振动效果^[8]。

经碱液作用后的蚕丝，虽会因吸附油酸长链烃基而提高弹性，改善手感，但碱也会与蚕丝氨基酸中的羧基作用生成蛋白质盐而使丝身表面粗糙，结果虽然摩擦系数增大，却并不表现出粘滑特性，甚至还可能出现摩擦系数的速度正梯度特性，而完全失去形成丝鸣的条件。

由此可见，酸处理是十分必要的，主要是使蚕丝取得摩擦系数的速度负梯度特性。实验证明，用酒石酸、醋酸、乳酸处理熟丝，其动静摩擦系数的变化规律基本相同(见图)，都能激发丝鸣。

事实上，任何能在酸处理条件下(或者是其他处理条件下)赋予纤维以类似于酸处理后蚕丝摩擦特性的长丝纱，应都有能激发丝鸣的潜在能力，当然不一定是标准的丝鸣效果，图

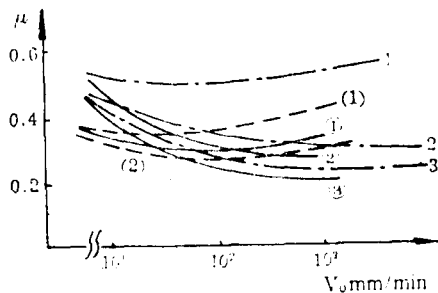


图 摩擦系数~速度关系

熟丝：1—碳酸钠，2—酒石酸，3—醋酸。
涤纶：(1)—未处理，(2)—酒石酸。
粘胶：①—乳酸，②—酒石酸，③—醋酸。

中的粘胶长丝和涤纶长丝，如果经酸处理后产生摩擦系数的速度负梯度特征，实验发现，它们也会有一部份丝鸣特点。

四、结论

1. 丝鸣作为一种风格可以用以下几项物理特征予以概括：即有丰富的低频区，有宽厚的中、低频带和存在在该频带中的谐波特征，有 7~8kHz 高频振动(C 振动)。

2. 丝鸣的形成和丝绸内纤维间以细长弦方式交叉摩擦有关。在这种状态下，产生在纤维间的摩擦力可用于策动弦的 B 振动和蚕丝特有的 C 振动。产生这种效果主要是由于经酸处理以后的蚕丝在摩擦时有明显的粘滑运动特性。这一特性来自其摩擦系数的速度负梯度特征和能形成正值的动静摩擦系数差。蚕丝以外的其他长丝纤维，如能具备上述条件，应也可以形成类似丝鸣的声响效果。

3. 对丝鸣形成机制作出的分析表明，研

(下转第 18 页)

(上接第 7 页)

究丝鸣并不仅只是为了获得某种特殊的声感，更有实用意义的则是由于伴生的摩擦系数的速度负梯度和动静摩擦系数差，给织物触觉风格带来的效果，以及这些特性在改进织物加工成形能力上的良好作用。

参考资料

- [1] 沢路雅夫：《続絹系の構造》，p. 523~528，信州大学纖維学部(1980)。
- [2] P. M. MORSE：《VIBRATION AND SOUND》，p.70~80，MCGRAW-HILL (1948)。
- [3] Röder H. L.《J. T. I.》，44 T247(1953)。