

一种音色“可设计”的二胡

张殿琳[†] 宋小会

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

2021-05-27 收到

[†] email: zhangdl@iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20210811

1 引言

经过近百年来二胡演奏家、制琴师的持续努力,现代二胡的音质、音色,以及表现力已达到空前的高度^[1]。它不但在写情、写景、写意方面给人以醇厚、儒雅、内敛的极致美感,艺术家们还在不停地尝试着用它表达各种不同的主题和画面。很多时候这些努力带给我们惊喜。当然,也有时候会略微感觉到它的力不从心。

比如二胡在高音表现力方面差强人意,音色单薄。此外其蟒皮部件不符合当代动物保护理念。且由于蟒皮使用寿命有限,二胡没有像小提琴那样出现流传久远的名琴。

本文提出一种改进方案,一方面可望解决上述问题;另一方面,通过改进部件的参数调节,也许能“设计”出音乐家们所需要的音色。

2 可调参数

二胡的功能部件有三个:受到激励产生振动的琴弦,辐射声波的共鸣腔,以及它们之间的耦合桥梁琴码(琴弓也很重要,不过它是一个相对独立的部件,不在本文讨论之列)。下面我们分析其中可以调节的参数。

先看琴弦,我们想知道,琴码远端的付弦长度作为参数之一,对调节二胡的音色有何影响。这个想法的根据如下:如果付弦长度等于

零,琴码被固定在琴筒上,将完全无法传递琴弦的振动;如果付弦的长度等于无穷大,则付弦上无法形成驻波,而付弦端也没有力施加在琴码上。所以付弦的变化应当会同时影响蟒皮承受的静压力和动态特性。

作为初步试验,我们将一把普通红木二胡的付弦长度,从约5 cm 加长到约8.5 cm,测量了空弦音(D1、A1)和两级高八度音(D2、A2、D3、A3)的变化(图1, 2)。

从图1可以看到,随着频率的升高,基频功率是增加的。但是二次谐波就有了明显差别,D1的二次谐波比基频还要高很多,但D3、A3的二次谐波已经比基频小了15—

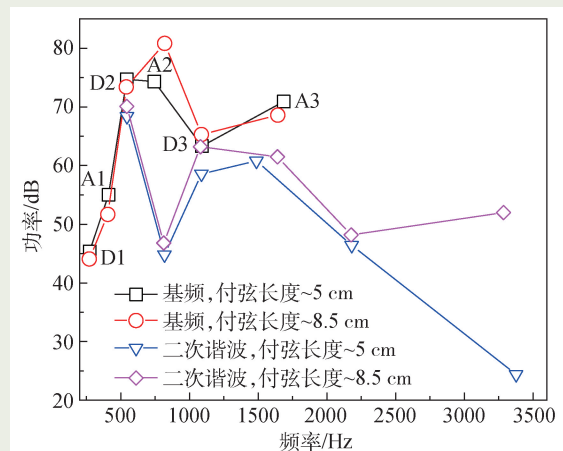


图1 改变付弦长度对基频和二次谐波强度的影响

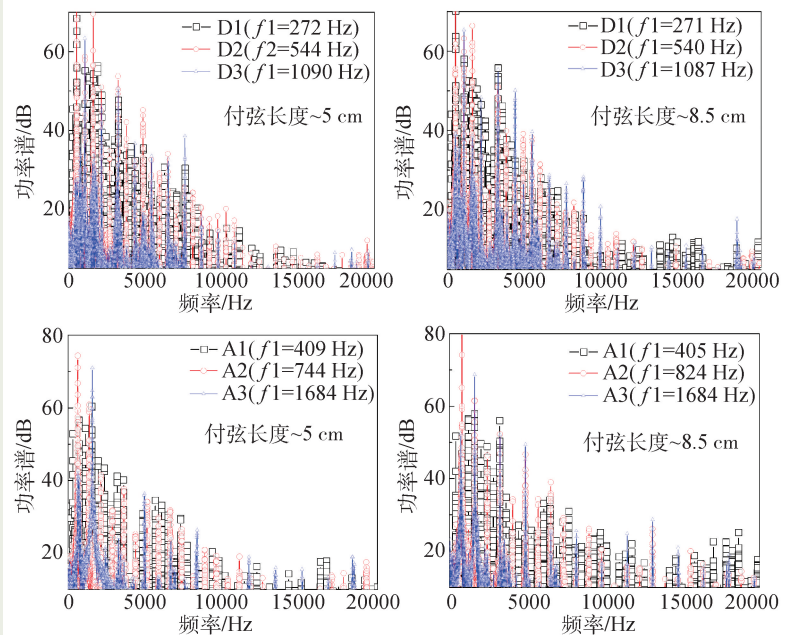


图2 改变付弦长度对频谱的影响

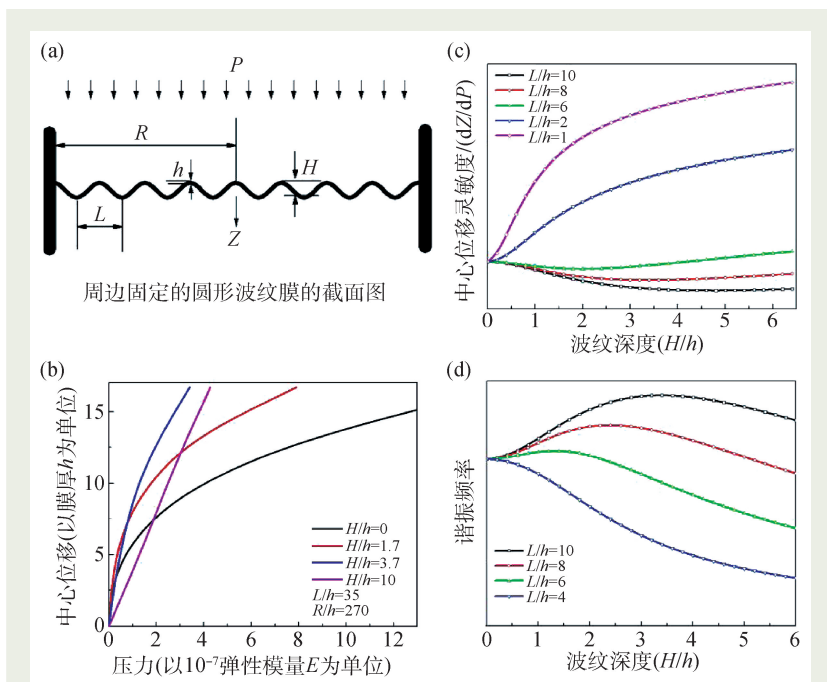


图3 波纹膜和平面膜的性能比较

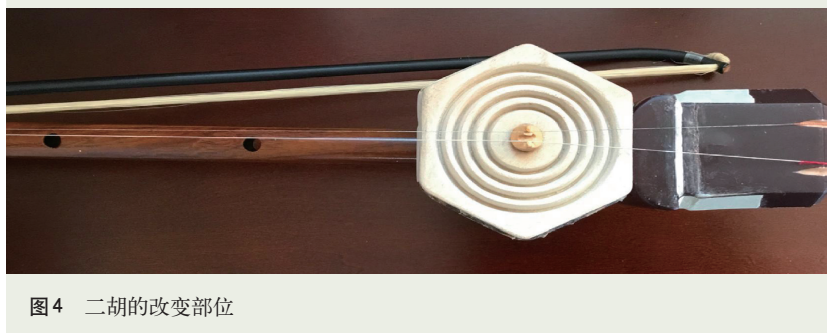


图4 二胡的改变部位

20 dB。所以多年来被诟病的二胡高低把位音色和响度问题，其实来源是同一种，就是高把位高次谐波的缺失。付弦长度的加长，的确增强了高次谐波。这从图2频谱的高频段看得更为明显。所以改变付弦的长度，的确会影响二胡的音色。

其次看琴码。琴码有多重作用：把琴弦振动传递给蟒皮；以蟒皮为支撑，承受琴弦的静态张力；扮演着一个“滤波器”的角色。二胡艺术家们早已意识到琴码对音色的重要作用，对优化琴码的材质、形状做了很多探索^[1, 2]。只是，琴弦对琴码施加的静态压力和振动所产生的动态压力是叠加在一起的，而

静态压力对于调节振膜的频谱和优化灵敏度并不是有利的。在缺乏二胡的有关数据时，不妨参照小提琴的实验结果，大概估算一下。小提琴琴弦施加在琴码上的压力大约有几十公斤^[3]。二胡琴弦少一半，琴弦一琴码间夹角也不同，其琴码承受的静态压力也至少达到公斤级。如果二胡的弓一弦摩擦力和小提琴相当，则动态变化在几十克到一克以下^[4]，只是在很大静态压力背景下的微小调制。这就带来了两个问题：(1)一个弹性平面膜，其应力—应变关系的线性范围是比较小的。在一个大的应力背景下，必然伴随着应变灵敏度的降低；(2)蟒皮是柔

性材料，为了让蟒皮的振动处于弹性工作范围，必须在蒙皮时使它处于合适的张力状态。因为要兼顾皮膜的振动特性和在承受琴弦压力下的稳定性，这大大限制了张力的调节窗口。如果能尽量减小琴弦对皮膜的静态压力，既可增大蒙皮张力的调节窗口，又可增加振动灵敏度，还避免了皮膜的塌陷。一种改变静态压力可行的办法是：把琴码的弦槽改变为槽口相对的<>形状，同时付弦下端向外张开。这样，内弦、外弦加在琴码上的静态张力将部分或全部改变为平行于皮膜方向并互相抵消。

最后，也是最重要的部件，是二胡的振膜。多年来，人们在不停地努力，试图寻找蟒皮的替代品^[1]，其中用泡桐木代替蟒皮制作的“秦二胡”^[5]，一度引起很大地关注。但终究无法撼动蟒皮在二胡中的核心位置，因为它独特的音色几乎是无法复制的。本文提出一种通过增加调节参数的办法，实现人们所期望的二胡音色，即用波纹板(图3(a))代替通常的平面或拱形板。

波纹板的应用历史已经很久。它广泛应用于压力传感器和拾音器^[6, 7]。相对于平板，波纹板具有许多优点：(1)它的线性应变范围远大于平板(图3(b))，因此，它可以承受大幅度振动而不失真；(2)它具有多个可调参数(板厚 h ，波纹深度 H ，波长 L)，通过这些参数的变化，可以大范围地调节波纹板的振动灵敏度(图3(c))和自然振动频率(图3(d))；(3)可以把这些参数从常量改为变量，从而改变频谱结构。图3的数据是根据文献^[6, 8, 9]绘制的。这些文献讨论的主要是膜片均匀受力的情形。二胡是膜片中心受力，曲线形状会有不同，但基本行为应无

大的差别。

3 一个模型实验

为了检验上述方案的可行性,我们改造了一把二胡,其改动部分如图4所示。波纹板材料使用轻质的跆拳道练功板。波纹深度 H 和周期 L 大约在6 mm,共4个周期。波纹是用小型数字雕刻机雕刻的,精度有限,所以厚度不很均匀,大约在1—1.5 mm范围,波纹也不是真正的正弦波。振板中心留有直径不到2 cm的平台,琴码直接粘接在平台中心,避免振膜—琴码的耦合变化影响频谱^[10]。

按照文献[11]对音色的测试方法,我们测量了这把二胡的三色激励图和明亮度,并和一些演奏二胡做了比较(图5,图6)。有趣的是,新二胡的拨弦衰减时间,有了明显的变长(图7)。我们用这把改装的二胡,制作了两首二胡曲,取得了不错的效果¹⁾。

4 引玉篇

常常有人把二胡称作“中国的小提琴”。从我们的角度来看,也许二胡的音色显得更加含蓄、深沉、

亲切。但是从乐器的科学研究角度,对二胡的研究不如对小提琴的研究理性深入^[12]。例如有关琴码对音色的重要作用,小提琴的研究就非常详尽:包括琴码动力学特性的理论模型和数值计算,琴码脚和琴板之间受力的动态检测,琴码和面板之间是刚性耦合、弹性耦合、还是有阻尼的弹性耦合,甚至琴码和琴弦间的摩擦状态,都不断有研究结果报道^[3, 10, 13, 14]。而对二胡琴码的研究^[2],缺乏科学数据。

希望有兴趣的科学工作者,特别是物理学研究人员,可以参与进来。前面引用的小提琴弓压数据^[4],就是印度物理学家、诺贝尔奖获得者拉曼1920年的文章。他还在1916年设计了一个实验,从理论和实验上研究了小提琴的狼音^[15],这篇文章至今仍作为经典被引用。文献[12]的作者,是剑桥大学的退休教授,他的理论物理毕业论文就是关于小提琴声学。只有我们有足够的理论知识储备和实验数据积累,并将第2节所建议的各参数扩展到以下情形,才可以真正实现“音色的设计”。

(1)目前有关波纹膜的工作,基本集中在浅波纹、正弦波、均匀压

的情况。我们需要知道更深的调制、非正弦波对频谱的影响,以及膜对中心力的响应特性。

(2)我们也想了解,如果调节振膜的参量 h 、 H 、 L ,会如何影响振膜的频谱。这样,不但可以像提琴那样,将振膜厚度从琴码向外,逐渐减薄,还可以使调制深度、调制周期也成为径向距离的函数,从而控制频谱结构。以目前数控机床的加工条件,这些都是可以实现的。

(3)波纹板的好处是,我们可以宽范围地分别调节频谱和灵敏度。这就可能拓宽对板材的选择,而不必限于桐木。

(4)需要从理论和实验上研究,是否可以像小提琴那样,在二胡的后窗贴一块相似或更灵敏的振板,并用音柱将前后振板耦合。这种结构的二胡,有没有类似小提琴可以安置低音梁的效应。

(5)木振板的一个好处是,可以在板上开音孔。需要在理论和实验上研究音孔的多少、位置、大小、形状等,对音色和音量的影响。

(6)研究付弦长度对音色的影响,如果需要增长,也许可以将琴托做成马鞍形,或者直接将琴筒变形,使其下部呈马鞍形,并研究这

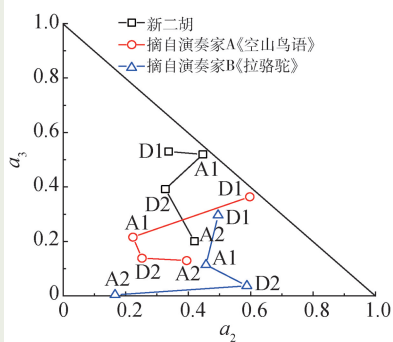


图5 二胡的三色激励图比较^[11]

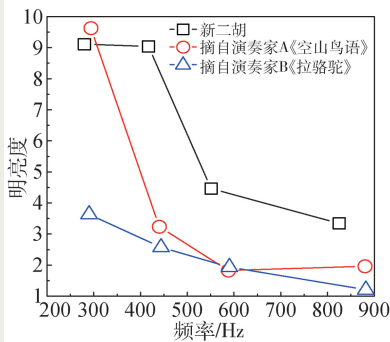


图6 二胡的明亮度比较^[11]

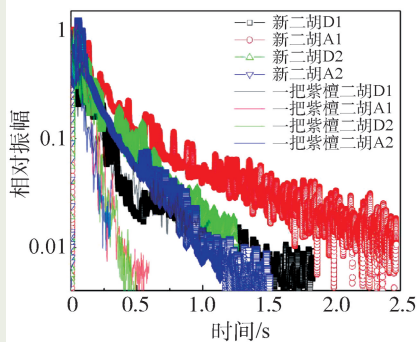


图7 二胡的拨弦衰减比较

1) 改装二胡制作的二胡曲:《汉宫秋月》: https://v.youku.com/v_show/id_XNDc0MjlyNDczMg==.html;《渴望春天》: https://v.youku.com/v_show/id_XNDgwNzk2MTc1Ng==.html

种变形对共振特性的影响。

5 结论

本文提出一些可以改变的参数,从而扩展二胡音色的调节空间,并制作了样机,证明方案的可行

性。虽然样机的声音还不够干净,频谱的高低音分布也不见得合意。但我们相信,如果本文能吸引到一些学者、音乐家、乐器制作师的兴趣,通过大家的共同努力,获得必要的理论计算模型和

足够的实验数据积累,一定能实现“可设计音色的二胡”。

致谢 感谢刘大欣博士对本文的仔细修改。

参考文献

- [1] 魏晓敏. 近现代二胡制作改良历史研究,及其引文. 南京艺术学院硕士论文,2013
- [2] 王珏. 民族民间音乐研究,2014,(6):46
- [3] Ravina E. Parallel monitoring of sound and dynamic forces in bridge-soundboard contact of violins. In: Proceedings of the International Symposium on Music Acoustics (Associated Meeting of the International Congress on Acoustics),2010
- [4] Raman C V. Proc. Indian Assoc. Cultiv. Sci.,1920,6:19
- [5] 翟志荣 编著. 中国拉弦乐器——系列秦胡的文化理念与实践. 上海:上海音乐出版社,2008
- [6] Giovanni M D. Flat and corrugated diaphragm design handbook. Taylor & Francis,1982
- [7] Zawawi S A, Hamzah A A, Majlis B Y *et al.* Micromachines,2020,11(5):484
- [8] Akasaka T, Takagishi T. Bulletin of JMSE,1958,1(3):215
- [9] 郭长旭,庞士信,张治国. 仪表技术和传感器,2010,(4):9
- [10] 我们没有二胡的数据,但根据小提琴的有关研究,琴码和琴体的接触状态会影响频谱特性,例如,见 Kabala A, Niewczyk B, Gapinski B. Vibrations in Physical Systems, 2018, 29:2018021
- [11] 张殿琳,宋小会. 物理,2018,47(8):521
- [12] Woodhouse J. Reports on Progress in Physics,2014,77:11
- [13] Boutin H, Besnainon C. Physical parameters of the violin bridge changed by active control. In: Acoustics' 08 Paris,2008,p.4192
- [14] Ravina E, Silvestri P, Lowenberger F. Performance comparison of violin through experimental force analysis. In: Acoustics' 08 Paris. 2008,p.3393
- [15] Raman C V. Philos. Mag., 1916, 6: 391; Raman C V. Nature. 1916, 97: 362

PHOTONIC SCIENCE

Leaders in advanced sCMOS detector and system technology for synchrotron and laboratory sources

www.photonicscience.com

Laue Systems

Single crystal orientation systems compact, real-time, 0.1 degree accuracy

Indirect Detection

NEW large area fibre coupled X-ray sCMOS with 2k x 2k, 4k x 4k & 6k x 6k resolution