

二胡音色的定量分析和一种改进方案

张殿琳[†] 宋小会

(中国科学院物理研究所 北京 100190)

2018-04-09收到

[†] email: zhangdl@iphy.ac.cn

DOI: 10.7693/wl20180805

摘要 文章利用三色激励值和音色明亮度对二胡高低把位的音色一致性进行了定量分析,提出了一种可能的改善方案。其核心就是,利用空心琴杆和封闭琴桶,形成耦合程度可调的、一个亥姆霍茨谐振腔和一个类似竖笛的管状谐振腔的组合。测量了改造前后二胡的音色变化,并提出了进一步研究的建议。

1 引言

二胡是中国民族乐器中重要的拉弦乐器。近几十年来,无论在乐器音质的改进、演奏技法和乐曲的创作方面,都有了巨大的发展^[1]。然而,由于二胡的共振腔结构较为简单、对称,共振峰不够丰富,因而造成频谱结构中高频段衰减较快^[2]。频响特性的制约,使得二胡的高低把位、音色和响度差别较大,高把位音也显得有些单薄。

本文对二胡的音色作了一些定量的分析。并且,作为参照物,和小提琴在同一频段的音色进行了对比。

我们试着对二胡进行了简单的改进。测试结果显示,高把位的音色明亮度有了明显的提高。本文还对进一步改进的可能,提出了一些建议。

2 二胡和小提琴的音色比较

音色的“好听”与否,在一定程度上和听者的品味有关。但讨论音色的一致性,则需要一种科学的、和听者品味无关的定量方法。音色的完整描述,必须要有“多维度”的参数^[3]。即使像二胡这种以持续音为主的拉弦乐器,也不是用一两个参数就可以描述音色的全部

特征。好在我们感兴趣的是:我们的方案,是否的确使二胡音色向我们所期望的方向改变了。这里我们只选择所谓“三色激励值”(tristimulus value)和“音色明亮度”(sound brightness)这两个可以标志音色一般特征的参数,而不考虑诸如频谱的奇偶比、谱宽、非对称性,以及频移等细节。

三色激励值,借用了色彩科学(color science)中的方法,是由Pollard等人^[4]提出的对音色的量化描述。这个方法实际就是反映给定音的基频(f_1)、谐波中段(f_2 — f_4),以及高次谐波(f_5 以上)的相对幅值,对音色的贡献:

$$a_1 = \frac{A_1}{\sum_{i=1}^n A_i},$$

$$a_2 = \frac{\sum_{i=2}^4 A_i}{\sum_{i=1}^n A_i},$$

$$a_3 = \frac{\sum_{i=5}^n A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}.$$

式中 A_i 是第 i 次谐波的幅度。显然,3个参数的和等于1,我们只要知道任两个参数,就能定出一个音在“色域”的位置。

单独使用三色激励值做判据有一些冒险。即使对于发展比较成熟

的小提琴,不同制琴师制作的琴、同一把琴不同琴弦、不同演奏家、不同弓法发出的声音在“色域”中的位置可以相差很大^[5-6]。我们希望,用“自己和自己比”的方法,能看出小提琴和二胡之间的一些差别。另一方面,我们还将比较两种乐器的音色明亮度,以便和三色激励值互为印证。

音色明亮度是比较公认的音色特点之一,它反映着频谱的重心。由于是波幅的加权平均,所以更能显出高频成分的贡献:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n i \times A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}.$$

从上式我们看到,明亮度的最小值等于1。这时,所有谐波成分为零,只有基频存在。其实音色的明亮度也和运弓力度有关^[6]。所以我们在音频采样时,希望演奏者运弓力度尽量均匀、一致。当然,对于从演奏家完整作品中摘取的音,就无法保证这点了。

我们将对不同乐器的空弦音和高八度音进行比较。各弦的空弦音分别标志为 g_1 、 d_1 、 a_1 和 e_1 ,而相应的高八度音分别标志为 g_2 、 d_2 、 a_2 和 e_2 。为了检验作为参照的小提琴三色激励值在色域图中的稳定

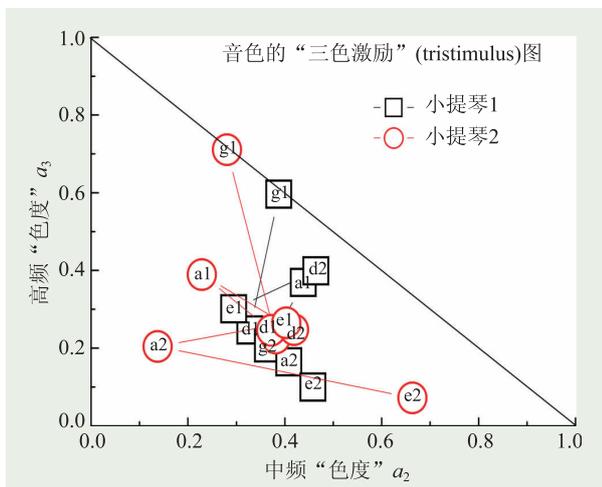


图1 小提琴的音色在色域图上的位置

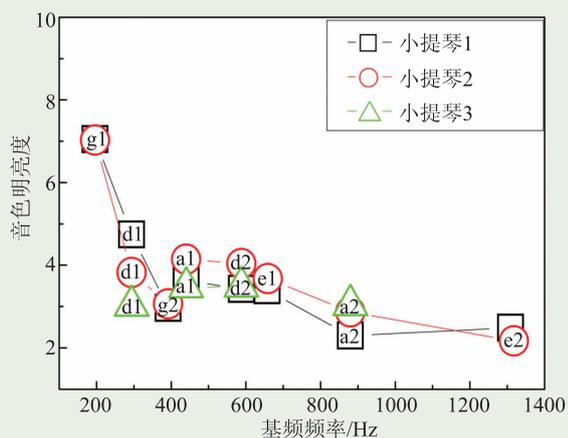


图2 小提琴的音色明亮度

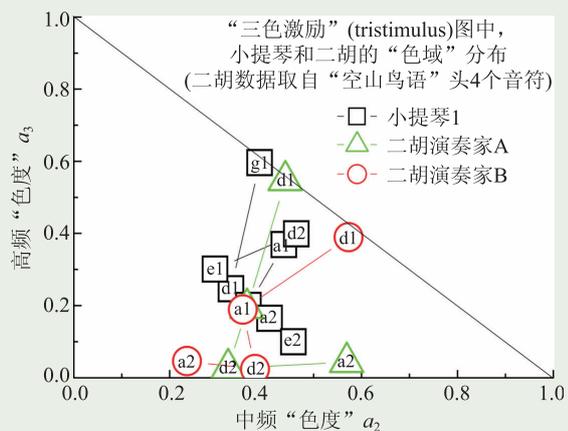


图3 二胡和小提琴的“色域”比较

性,我们先请一位朋友用他的“中等演奏用琴”(小提琴1,日本产仿德国琴,约几千美元)演奏了上面几个音。又请另一位朋友用她的收藏

图3。二胡相对应的音是从两位当代演奏家的“空山鸟语”中摘取了起始的4个音。我们看到,小提琴和二胡的中频成分差别不是很多,

琴(小提琴2,德国制琴师Petrus Schulz 1845年制作),演奏了相对应的音。图1是两把小提琴的比较。三角区的左下角处,表示只有基频,没有任何谐波。右下角和顶角分别代表只有中频和高频成分。这种情况是不可能出现的,所以任何乐器的三色激励值都不会出现在这两个角附近。由图可见,两把小提琴的2弦和3弦的三色激励值虽然有明显的差别,但还算均衡,大致都在色域的中部。

图2是两把小提琴的音色明亮度数据。明亮度的一致性看起来要比色域分布的一致性要好一些。图2中还加进了一把普通学习用琴的2、3弦的数据。如果只考虑和二胡相对应的音域,3把小提琴的明亮度变化范围分别小于1.5、2.1和1.2倍。

二胡和小提琴的色域分布比较见

但在相同音域基频和高频份额变化巨大。二胡内空弦的基频成分非常弱,类似于小提琴的g弦。而更明显的是,相较于小提琴,二胡高把位的高频成分急剧降低。两把小提琴高低把位 a_3 值之差,最大也都在2—3倍左右。但是两把二胡d、a弦高低把位 a_3 值的减小,分别达到18—20倍和4—5倍。当然,我们这里不能完全判定这么大的音色变化是二胡本身的特点,还是演奏家为了表现作品的意境而采用的处理手法。从我们所改造的二胡特性看,我们更倾向,前一个原因是主要的。

音色明亮度的数据也支持这个判断(图4)。我们看到,二胡a弦空弦的音色明亮度还是比较稳定一致的。但高把位的明亮度都有较大的降低,离最小值1不是太远了。两位演奏家的d弦空弦明亮度也有明显的不同。演奏家A在这个音域的音色明亮度变化有4—5倍之多。

需要说明的是,上面的比较,不是要将二胡的音色向小提琴靠拢,而是说明,“自己和自己比”,二胡的音色一致性显然不如小提琴。

3 一个改进方案

开头我们已经提到,近几十年来,在二胡音质的改进方面已经有了很大的发展。但各把位之间音色和响度较大的差异,并没有根本的改善。作为一种个性乐器,二胡在音乐表现方面有它特别的味道。不过要在民族乐队里,组成一个音色统一、辨识度高、音量均衡的声部,似乎还要有改进的空间。到底有没有可能、大改还是小改、改哪些部分,看法似乎并不相同,甚至有比较大的争论^[7-9]。有人甚至断言:“二胡就是二胡,它是一件独奏

乐器。它也仅是一件独奏乐器，用乐队乐器来要求它是不恰当的。”^[10] 我们以为，这里不存在“唯一正确”的选择。任何改进的建议、方案都不是“排它的”。数百年来，四弦小提琴已经成为乐队、合奏、独奏的标准乐器，但不妨碍各种价位的五弦小提琴仍然在(西方?)市场出售。

二胡可以说是一种“大众化”的乐器：入门易，精通难。所以改进的第一个原则是，保持原有的演奏技法不变，否则，会失去大众化的特点。第二是尽量不使结构复杂化，又能改善它的高频特性。第三是尽量保持二胡原有的音色。我们的方案，其关键部位显示在图5中。简单地说，它是耦合强度可以调节的亥姆霍茨(Helmholtz)谐振腔和一个管状谐振腔的组合。用一根开孔的薄壁不锈钢管，替代原有的木琴杆(图5(a))。琴杆在千斤上方开了一个长方孔，千斤和琴桶间开了一些圆孔，大致模拟笛子的出音孔。原来木琴杆的弦轴部分截下来，接在不锈钢管上端。琴杆插入琴筒部分，两边对开长方孔(图5(b))。琴桶后端用木盖封住(图5(c))，构成一个亥姆霍茨谐振腔。琴杆下边的长方孔一端伸出琴桶外(图5(d))，伸出的孔面积大小决定琴桶和琴杆的耦合强度。孔面积愈大，耦合愈弱。我们用来做试验的二胡，其孔面积大约在 0.2 cm^2 — 0.3 cm^2 之间。

现在我们来比较二胡改造前后的音色变化。需要说明的是，我们用来做试验的，是普通的市售苏州产红木二胡。琴桶外形是前六角后圆，但内壁是直径稍有变化的圆桶形(图5(b))。我们重点是观察改造前后音色的变化，而不是寻找最佳音色。

音频数据，是在拾音器离二胡2 m以外的位置采集的。图6是二胡

改造前后三色激励值的比较。首先，我们注意到，这里用来做试验的二胡，在改造前，其音色的一致性显著低于演奏家A所用的专业演奏琴。它的中频色度最大变化将近6倍，而高频色度变化高达近40倍。按照我们的方案改造后，色度一致性有了很大的提高。中频和高频色度的离散度，分别只有大约1.6倍和不到3倍。

在音色明亮度方面，改造后的二胡则有了全面的提升(图7)。除了内空弦的明亮度比演奏家A的琴低了一些(但和演奏家B的琴不相上下，图3)外，高把位的音色明亮度都有了显著提高。特别是 a_2 值，原来只有不到1.2，改造后达到了将近3，已经可以和小提琴相比了(图3)。

这些测试数据证明，本文所建议的方案的确大大改善了二胡高低把位的音色一致性。为了判断这些改善是否和琴杆的改变有关，我们用一个孔径大约为3 mm的定向拾音器，分别在千斤上方的长方孔口和贴近蟒皮膜面的琴码附近采集了这4个音的讯号，并

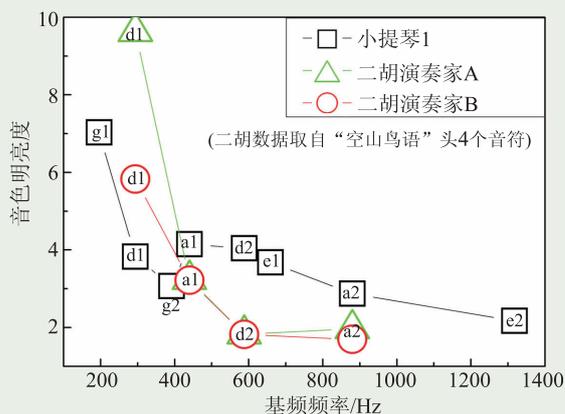


图4 二胡和小提琴的音色明亮度比较

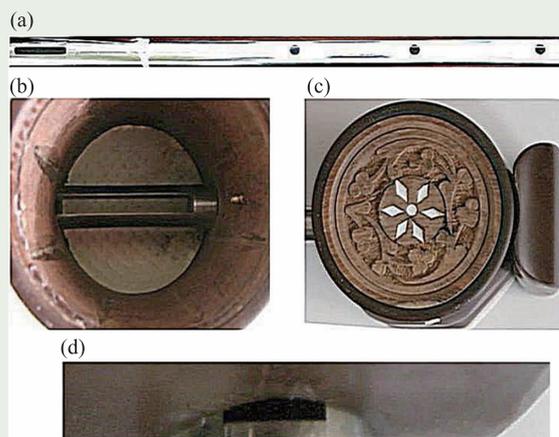


图5 二胡改进方案的关键部位

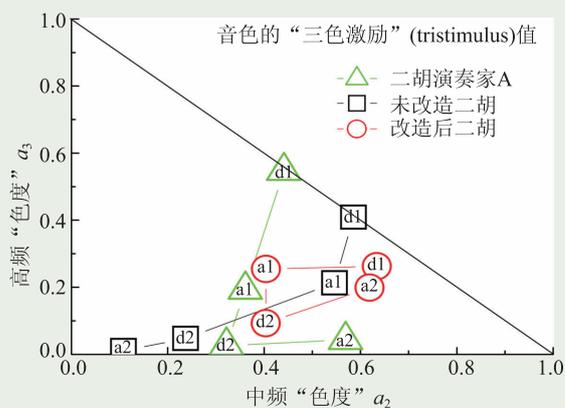


图6 二胡改造前后三色激励值的变化

比较了它们的频谱差别，以及它们和2 m以外的采集结果的差别(图8)。为了更清楚地显示这些差别，我们在图中只显示了远处采集频谱的峰值数据。

我们看到，不同拾音点的频谱

差别还是非常明显的。在琴杆上方孔处，高次谐波有着显著的增强。但是我们也注意到，在2 m以外所检测到的频谱，并不是两个近处频谱的叠加：在一些地方，相对峰值比两个近处的还高。目前我们还不能确定，这是由于远处所检测到的是二胡所有声源的贡献，还是运弓

力度不能保持一致所引起的涨落。但无论如何，测试结果说明空心琴杆对于提高二胡的高频贡献的确起了重要作用。

4 进一步的工作建议和结论

上文我们从实验证明了，本文所提出的改善二胡音色一致性的方案是有效的和可行的。但是显然，这只是一个初步的结果，还需要更多、更深入的工作。比如：

(1)本实验中，我们在琴杆上开的孔，其大小、位置、形状、多少都是随

意的，没有做任何模型计算。从图7中我们看到，上方孔的d2和a2，分别在频谱基频的2.5和1.5倍处，多出了一个峰。这两个峰大概落在1300—1500 Hz之间。也许需要计算或试验孔的各种参数，研究对频谱的影响；

(2)也许需要积累数据，研究改变琴桶和琴杆之间的耦合强度，如何影响二胡的音色；

(3)本工作所用的不锈钢琴杆，没有做任何处理。需要研究内壁的处理对音色的影响；

(4)本实验只是简单地用木后盖封闭了琴桶。也许可以试着不同的处理方式。比如像三弦那样后盖也绷上蟒皮；比如寻找合适的开孔泡沫材料做后盖，并调节孔的大小、形状和表面反射特性，使得不同波段的谐振特性都能够增强；比如用类似喇叭纸盆的后盖，等；

(5)设计琴杆下端气流入口的形状，比如模拟竖笛或喇叭形入口，寻找最佳的结构。

总之，本工作证明，用空心金属琴杆代替实心木杆，的确可以丰富二胡的谐振特性，改善高低把位音色的一致性，同时为音色的可控调节提供了可能。两个附加的好处是，完全避免了琴杆变形问题和增强了高把位的响度。我们没有对响度作定量测量。主观感受，变化还是很明显的。这也容易理解：高次谐波的增加，证明乐器的频响特性向高频端有显著的伸展，自然会增强高音响度。

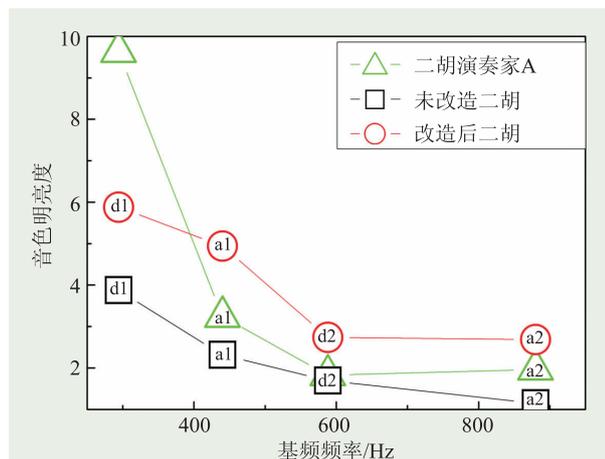


图7 二胡改造前后音色明亮度的变化

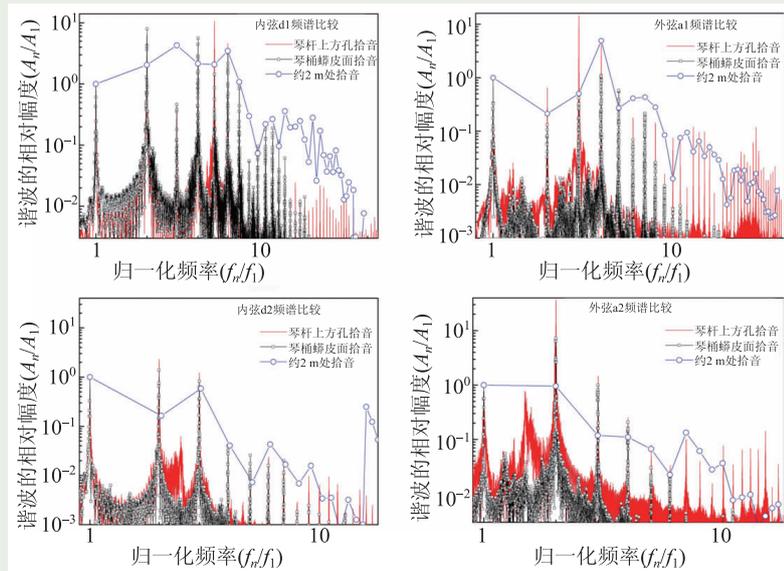


图8 二胡改造后不同拾音位置的频谱对比

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] 陈通. 物理学进展, 1996, 16: 566
 [3] Peeters G. A Large Set of Audio Features for Sound Description. technical report published by IRCAM in 2003, Section 6.1.1
 [4] Pollard H F, Jansson E V. Acustica, 1982, 51: 162
 [5] Ukasik E. Archives of Acoustics, 2006, 31 (4 (Supplement)): 227
 [6] Saitis C. Evaluating violin quality: Player reliability and verbalization, thesis McGill University, Montréal, Québec, Canada, 2013
 [7] 陈兴华. 乐器, 2003, 8: 19
 [8] 王盛意. 乐器, 2004, 2: 5
 [9] 赵冰峰. 乐器, 2004, 6: 78
 [10] 陈兴华. 乐器, 2004, 8: 76