

# 单簧管音质音准与哨片特征的量化关系研究

郑泽磊

(上海市控江中学 上海 200092)

**[摘要]**单簧管是一种西洋木管乐器,本课题主要研究单簧管哨片对其吹奏处音质的定量化影响,发现哨片各个因素不会对主频有大的影响,但哨片各个部分的长度,厚度和其周围环境确实会影响单簧管的音质和泛音。通过对哨片三色激励值的分析、音色明亮度的定量分析也都可以验证之前得到的结论。忽略阻尼情况下的哨片薄段振动的动力学方程分析,单簧管的声音在f2和f5处会出现一个骤降值,f2对于哨片的音色明亮度的影响很大,f5相比于f2影响较小,但对哨片的音色明亮度也会有不少的影响。哨片的后端部分主要影响的时低层次的泛音,对音色明亮度的影响较大。本实验探究哨片对单簧管音质的影响因素,建立了一套三维度的体系,来得到一种定量化评判哨片音质好坏的方法。后续将进一步对单簧管音色明亮度的影响与哨片坡度、长度比,两侧厚度特征进行函数关系研究。

**[关键词]**哨片;音质;泛音;单簧管;振动;受迫振动;阻尼振动

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.05.423

## 1 引言

### 1.1 研究背景

单簧管的哨片,是乐器的演奏当中至关重要的一部分,它是由芦苇经过加工而制成,并根据不同的人气息程度不同制定了不同型号的哨片,号码越大的哨片越厚,也就需要使用更多的气息使其振动发声。但即使是同一品牌同一型号的哨片,也会吹出不同的音质。甚至刚刚拆封的新哨片,如果经过了一周梅雨天气的“摧残”,演奏起来很明显比之前轻松很多。只能依靠试吹尝试而不能准确地评判一个哨片的音质是不少吹奏者烦恼。

而对于不那么专业的音乐爱好者与初学者来说,评判音质(不仅仅局限于单簧管)必然是一种经验之谈,市面上没有一种可以量化声音音色与音质的数据,在大部分人眼里,这种被认为完完全全是经验的东西,作者希望可以物理与科学的思路去做到探究内部的专利,用科学的思路将我们平常所谈的经验之谈转化为科学的东西。

### 1.2 研究现状

#### 1.2.1 音色研究

哨片一端被固定在风口,受口中发出的气流影响从而做迫振运动<sup>[12]</sup>,与空气柱产生共鸣并发出声音。音色,也就是谐波,也称之为泛音,哨片的尖端,中部,角部和根部以及天气因素都有可能影响它的泛音。本实验要做的就是通过量化的方法量化音色,并分析哨片的不同变量对其定量化数据的影响。另外,在木管类哨片的打磨过程中,我们可以用锉刀和锯子来打磨哨片,并在大致形状打磨完毕后使用木贼草来修剪哨片。

#### 1.2.2 音质量化研究

现在,三色激励值和音色明亮度两种参数可以比较好地定量音色,而本实验也借用了该理论。三色激励值借用了色彩科学(color science)中的方法,这个方法实际就是反映给定音的基频(f1)、谐波中段(f2—f4),以及次谐波(f5以上)的相对幅值,对音色的贡献(在本实验中,由于技术设备的精度限制,本课题只分析前八个泛音对单簧管音质与音色的影响):

$$a1 = \frac{A1}{\sum_{i=1}^n Ai}$$

$$a2 = \frac{\sum_{i=2}^4 Ai}{\sum_{i=1}^n Ai}$$

$$a3 = \frac{\sum_{i=5}^n Ai}{\sum_{i=1}^n Ai}$$

式中Ai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。而由前面的实验可以得知,不同的哨片对基频的影响很小,因此不同哨片在色域上的位置可以由a2和a3来决定。

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:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n i * Ai}{\sum_{i=1}^n Ai}$$

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。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。

## 2 实验方法与过程

### 2.1 实验方法

作者根据自己吹奏该乐器的经验并在与专业老师的讨论后,决定选择哨片前后长度比,哨片坡度角和所处环境作为本实验的主要自变量,并使用锉刀,砂纸,木贼草等工具对哨片进行打磨得到实验用的哨片。

表1 实验材料清单

名称/规格	单位
木贼草	一袋
锉刀/锯子等打磨工具	一盒
Vandoren哨片/降b调	一盒
Rico哨片/降b调	一盒
飞雁牌哨片/降b调	多盒
体视显微镜	一台

表2 不同哨片的命名方式

命名方式	芦苇品质	长度比例	横截面角度
好	好	37/30	4.5
好更短	好	30/37	4.5
阳台	差	37/30	4.5
厨房	差	37/30	4.5
1.5	差	37/30	1.5
差更短	差	30/37	4.5
好短	好	1	4.5
差短	差	1	4.5
差(4.5)	差	37/30	4.5
3	差	37/30	3

### 2.2 实验过程

在反复吹奏分析得到的音频稳定程度并确认可以人为吹奏来进行实验后,初步拟定了四个自变量,并通过吹奏打磨后的哨片并将其音频导入au频谱分析软件进行频谱分析,构建单簧管受到气息扰动时受迫振动的物理模型,探究不同因素是如何影响单簧管的音质和音色的。

在本实验的量化过程中,作者请到了上海市音乐学院何也墨老师作为本课题的音质鉴定专家,作者将打磨的哨片吹奏给专业的老师听,在经过作者与其老师的一同认定下先主观定量了各个哨片的音色并进行打分。

表3 不同命名方式的哨片的评分

名称	评判(打分)
好	100
好短	70
好更短	85
差	80
差短	50
差更短	85
1.5	55
3	70
厨房	75
阳台	65

### 3 数据导入与分析

#### 3.1 数据导入

通过实验不难发现,哨片各个部分对主频的影响不大。而大部分哨片f2和f5处都会出现骤降值,个别音质较差的哨片在f5处不出现骤降值。而初步分析作者发现,哨片前后长度比对泛音的影响最为明显,也易于控制,准确度也更高,因此选定它为主要的自变量进行研究。

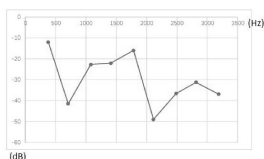


图1 某哨片的泛音折线图

#### 3.2 音质模型

本实验中,忽略了哨片不同因素对主频的影响后,本实验的着重点就在于哨片对单簧管吹奏出的声音的泛音的影响。

吹奏时,气流经过哨片下部,哨片非固定部分上下表面产生压强差,于是产生振动。该振动方式可以简化为受垂直方向周期外力驱动的受迫振动模型(如图所示)。

忽略阻尼情况,根据牛顿第二定律,哨片薄层振动的动力学方程表达为:

$$F_0 \cos(\omega t) - k\Delta x = ma$$

此处利用较为初级的求导知识可以得到该方程的微分形式:

$$F_0 \cos(\omega t) = m \frac{d^2x}{dt^2} + kx$$

式中, x表示偏离平衡位置的位移, F0表示周期驱动力的幅度, ω表示驱动力的频率, m为哨片振动部分的质量, k为哨片弯曲振动部分的劲度系数。

假设哨片的固有频率为ω<sub>0</sub>, 与质量和劲度系数的关系为:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

则动力学方程可进一步转化为:

$$\frac{F_0}{m} \cos(\omega t) = \frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x$$

根据受迫振动理论,该方程有稳态通解为:

$$x = \frac{F_0}{k(1-\gamma^2)} \cos \omega t$$

式中  $\gamma = \frac{\omega}{\omega_0}$  为频率比。

通过上文推导得到单簧管哨片的振动幅度与哨片受迫振动端的关系,而对于哨片一类的物理模型,其固定端由一个金属环固定,但非完全固定端在受到气流影响产生振动的过程中也会对哨片对管内空气柱的共鸣产生影响,因此猜想哨片本身的不同形状很有可能对吹奏出来的声音的其余谐波频率产生较大的影响,进而影响演奏时的音质和音色。

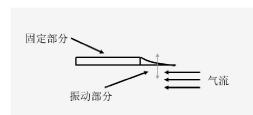


图2 哨片的振动模型

### 4 实验结果与分析

哨片前后的不同长度比对音色明亮度的影响

通过excel分别形成了两种品质不同的哨片的音色明亮度受到哨片前后长度比的影响(图3),发现结论几乎可以与本实验最初对哨片的音质评判相符,对于品质较好的哨片前后长度比为1和37/30的哨片的音色明亮度在此处相同,猜测出现这种情况的原因可能是因为实验误差,而此处品质较差的哨片却很好地验证了本实验在最初的评判:随着哨片前后端长度比的增大,哨片的音质先变差,也就是音色变得尖锐且杂乱无章,再随着长度比增加至前端受迫振动段长度大于后端固定端长度时,哨片的音质逐渐转好。这也验证了作者选择哨片前后端长度比为本实验的主要自变量的结论。

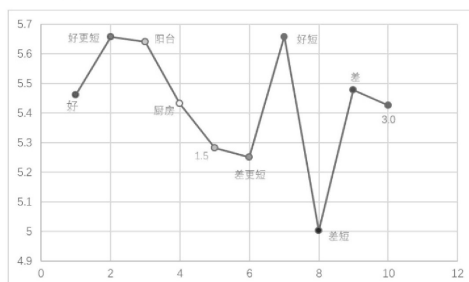


图3 不同哨片音色明亮度的折线图

#### 4.2 音色明亮度的理论拆解与分析

根据得到音色明亮度的式子:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

由于本实验只研究了单簧管声音中的前八个主要的频率,便可以求和公式进行展开:

$$D = \frac{A1 + 2A2 + 3A3 + 4A4 + 5A5 + 6A6 + 7A7 + 8A8}{A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6 + A7 + A8}$$

$$D = \frac{A2+2A3+3A4+4A5+5A6+6A7+7A8}{A1+A2+A3+A4+A5+A6+A7+A8} + 1$$

系数随着谐波群基数的递增而增加,越靠前的谐波群对于音色明亮度的影响也就越明显,而哨片的各个部分对基频的影响比较小,而除去基频对音色明亮度影响最大的f2也正是上述实验中在谐波中段的骤降值。

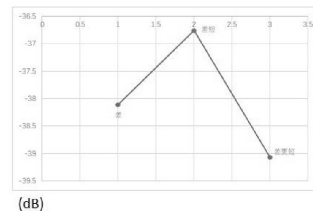
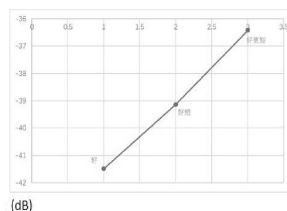


图4 品质较好的不同长度比的哨片的f2值 图5 品质较差的哨片不同长度比的f2值

如图4-5所示, f2的取值变化与实验得到音色明亮度的结论几乎吻合,品质较好的哨片的音色明亮度呈现一个逐步上升的趋势,而对于品质较差的哨片,在哨片长度比为1的时候出现了一个最大值(也就是图像上的波峰),而在前后长度比为30/37和37/30的时候较1时较小,联系作者在前部分的对音质和音色的专业分析,猜测哨片可能在音色明亮度于f2骤降值较小时音色较为稳定且悦耳。

#### 4.3 哨片前后长度比对三色激励值的影响

图6. 各个哨片在色域图上的位置

作者二胡音色的定量分析中,三色激励值也采用了a2和a3两个值来研究不同声音在色域图中的位置,忽略了a1对其的影响,这正与本实验中得到的结论相符。声音处在色域图中的位置越靠近中色域图中(0.67, 0.33)这样一个“中间点”,音色也就越稳定悦耳,听上去不易产生嘈杂的声音,而本实验通过如图所示不难发现,被认定音质较差的“好短”和“差短”两种哨片显然距离中心位置较远,而被认定品质较好的“好”于“好更短两个哨片处在色域图较中心的位置,因此通过三色激励值的比较也大概可以验证最初的猜想。

#### 4.4 哨片其余因素对单簧管音色和音质的影响

同时,本课题也对哨片所在的不同环境及其坡度角进行了一定的研究,对于不同环境的哨片,油脂环境对单簧管音色的影响都不大,而阳光对哨片有一定的影响,故阳光很可能影响了芦苇的内部纤维分布。由于哨片坡度角的打磨会对哨片吹奏时的顶端厚度有影响,同时改变了吹奏时所需的力度,故实验很有可能有一定的误差,而气流和压强确实会对单簧管产生较大的影响。若忽略存在的误差,整体呈现出随着坡度角的降低音质也在逐渐变差的趋势,故也验证了随着吹奏者吹奏时间的变长哨片的磨损问题。

### 5 结论

本课题研究了哨片对单簧管音质的影响因素,分析了哨片的长度比例,横截面的角度与外部环境对其演奏时音质的影响因素,可以得到如下结论:

1) 油脂对哨片的影响并不大,阳光对哨片有一定的影响,湿度对哨片的影响很大,所以哨片应该尽量保存在较为干燥且避光的地方。

2) 主频几乎不受到哨片本身因素的影响。

3) 同一哨片不同长度比,随着哨片前后端长度比的增大,哨片的音质先变得尖锐且杂乱无章,再随着长度比增加至前端受迫振动段长度大于后端固定端长度时,音质逐渐转好。

4) 同一哨片不同长度比在三色激励值上几乎相同,不同坡度角对哨片色彩的影响却与谐波和谱度得到的结果有所不同,可能是不同的坡度角对单簧管音质和音色的各个层面有不同的影响。不同环境下,阳光更有可能影响哨片的纤维分布而油脂更容易影响哨片受迫振动端的振动,纤维的分布相比于受迫振动更容易影响单簧管的音色。

5) 单簧管吹奏出的声音在 $f_2$ 和 $f_5$ 处会出现一个骤降值,而 $f_2$ 对于哨片的音色明亮度的影响很大, $f_5$ 相比于 $f_2$ 影响较小,但对哨片的音色明亮度也会有不少的影响。

6) 哨片末端长度对低层次的泛音影响比较大,起到统领全局的作用,控制单簧管音色的大方向。

### 6 一些展望与应用

#### 6.1 课题的展望

本课题计划在后续的实验当中通过加大工程量,对更多组不同前后长度比的哨片进行打磨,反复吹奏并导入Adobe Audition进行频谱分析,根据作者选定的主要哨片频率—— $f_2$ 和 $f_5$ ,导入数据分析软件进行回归曲线分析,得到哨片的长度比对谐波群的影响理论。

#### 6.2 课题的相关应用

本课题及后续课题希望得到的结论包括:哨片影响单簧管音质与音色的量化因素及原理等,在人工智能大数据时代,本课题分析得到的数据与结论可以通过现有的频谱识别装置,在此之上加以改良,得到一个可以分析乐器吹奏出声音的音质的程序,来帮助初学者或者非专业人士在购买哨片的时候进行音质的评判,方便购买。

#### 参考文献

- [1]高杉.单簧管发生系统的奥秘[J].乐器学堂,2004,14-16
- [2]任广明,张英莉.单簧管音色的探讨[J].2007,91-92
- [3]王深.双簧管美式哨片的制作理念与演奏实践[J].中央音乐学院学报,2019(02):147-157+160.
- [4]董祥彬.论气息、哨片、笛头对萨克斯音色的影响和解决方法[J].大众文艺,2016(08):150-151.
- [5]高浩轩.巴松哨片制作与演奏关系[D].中国音乐学院,2016.
- [6]旷玮,姬培锋,杨军.笙的簧片物理参数与音色相关性的初步研究[J].应用声学,2016,35(06):494-504.
- [7] Almeida Andre, George David, Smith John, Wolfe Joe. The clarinet: how blowing pressure, lip force, lip position and reed "hardness" affect pitch, sound level, and spectrum. [J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2013, 134(3).
- [8]张殿琳,宋小会.二胡音色的定量分析和一种改进方案[J].物理,2018,47(08):521-524.

(上接第414页)

[3]欧秀伶,任弘.高校体质健康标准未达标学生的影响因素分析[J].天津农学院学报,2009,16(2):37-40.

[4]李春光.高校体育教学应对大学生体质健康下降的途径选择[J].新西部,2013,17:148-149.

[5]罗金佩.《国家学生体质健康标准》未达标大学生体质特征的比较研究[J].运动,2013,9:60-61.

[6]钱锋.对高校新生体质健康测试未达标群体的调查研究

[J].搏击,2015,7(5):62-64.

项目来源:浙江省教育厅一般项目“健康中国理念下大学生体质健康未达标成因与对策研究”(Y201941031)

作者简介:

郑立新(1976—),男,浙江安吉人,绍兴文理学院讲师,研究方向:体育教学训练、肌肉力量的研究。