

电吉他拾音器原理和改进

刘俊杰、顾海川、廖鑫

指导老师：俞熹

摘要：国产电吉他在音色表现方面总是差于国外名牌电吉他，这个差别主要来自于拾音器。所以如何改进国产拾音器使得国产电吉他的音色有所改善是这个研究的目的。我们通过比较单线圈拾音器（S）和双线圈拾音器（H）的输出特性，总结出一种最佳构型 SHH（排列顺序为琴桥到琴颈），然后又从控制输出的滤波电路特性出发，相应地改变不同位置的电容，最终使得国产电吉他的输出特性有明显改进。

关键词：物理学 电吉他构型 对比法 拾音器

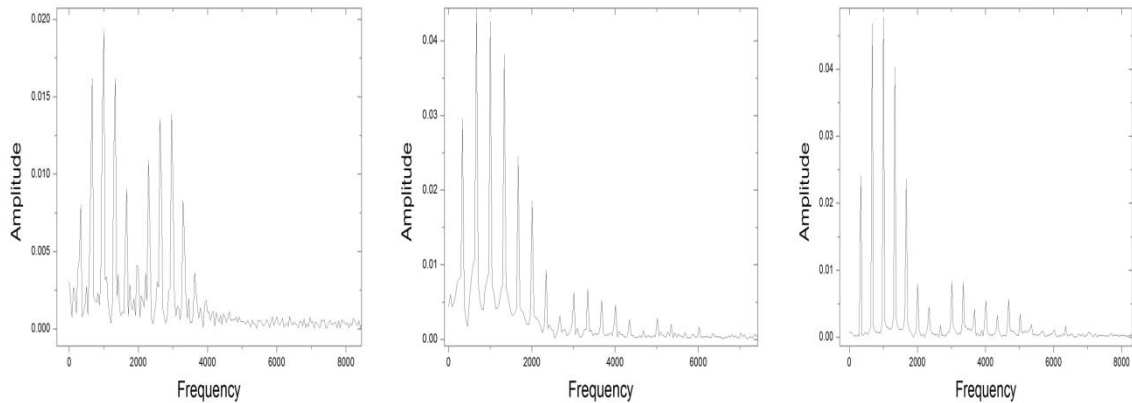
引言：电吉他发声原理与传统吉他不同，不是以箱体的振动发声，而是利用电磁感应，通过拾音器来工作。拾音器由两部分构成：绝缘铜导线缠绕的线圈和永磁铁。永磁体将琴弦磁化，当我们拨弦的时候，会产生一个变化的磁场，这个变化的磁场会在线圈中感应出电流，这个电流经输出到外部音响还原，就成了电吉他的声音。一般的电吉他都有三个拾音器，琴桥拾音器（位于电吉他最下端）中高频输出丰富，琴颈拾音器（位于电吉他最上端）低频输出丰富，中间拾音器的输出特性介于两者之间。有六根琴弦，每根琴弦的具体情况如下表所示：

弦的编号	直径/mm（实测）	固有频率/Hz	音调符号
1	0.223	329.63	E4
2	0.272	246.94	B3
3	0.401	195.99	G3
4	0.630	146.83	D3
5	0.825	110	A2
6	1.090	82.41	E2

电吉他有五个档位供使用者选择：一档对应琴桥拾音器工作；二档对应琴桥及中间拾音器工作；三档对应中间拾音器工作；四档对应中间及琴颈拾音器工作；五档对应琴颈拾音器工作。拾音器是决定电吉他好坏的主要因素，而国产电吉他一般采用廉价的拾音器，这就造成了与国外名牌电吉他的音色差异。我们做这个研究的目的就是在这些廉价拾音器的基础上，来寻找改进其音色的方法，使其达到或接近国外中高端拾音器的水平。目前国内还没人做过这方面的研究。我们先从熟悉电吉他入手，弄清不同档位对应的工作拾音器以及各个弦的振动固有频率、音调。接着用数字示波器观察了普通的“SSS”和“HHH”构型的电吉他的输出特性。然后我们构造了构型“SHH”，用示波器观察了它的输出特性。同时我们还构造并观察了“HSH”及“HSS”两种市面上已有的构型。通过比较，我们总结出了供进一步研究的最佳构型“SHH”。在这个构型的基础上，我们对控制拾音器输出的滤波电路进行了有意义的改动：调整相应电容的大小。经过这一系列的实验，我们使得国产电吉他的输出特性较之前有了明显的改善。

实验部分：

1. 我们首先观察了“SSS”构型不同档位不同弦的输出信号（音调音量均调到最大），把得到的信号图经过傅里叶变换后，分析不同位置拾音器的输出特性。



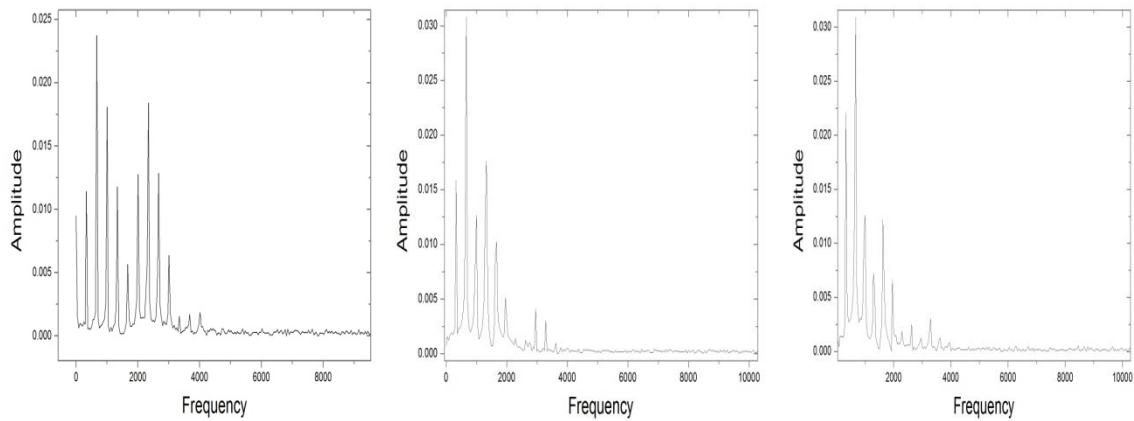
（一档一号弦）

（三档一号弦）

（五档一号弦）

对比可发现，琴桥拾音器中高频输出更丰富；而中间以及琴颈拾音器低频输出更强。

2. 接下来观察了“HHH”构型不同档位不同弦的输出信号（音调音量均调到最大），把得到的信号图经过傅里叶变换后，分析不同位置拾音器的输出特性。



（一档一号弦）

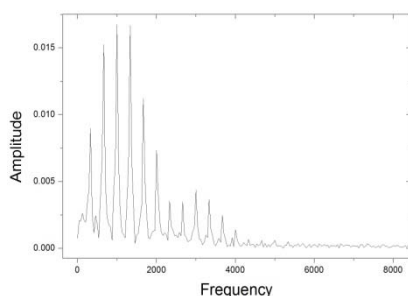
（三档一号弦）

（五档一号弦）

与单线圈拾音器相比，相同位置的拾音器输出特性一致（即琴桥位置拾音器高频输出丰富，中间与琴颈位置拾音器低频输出丰富），但双线圈拾音器的背景噪声明显减少，并且在三档和五档时，谱线宽度更窄（即中高频输出更弱），2000 赫兹以上基本就没了。

3. 基于前面的结论，提出一种新的构型“SHH”，因为这个构型保证了琴桥处的中高频输出，同时兼顾了中间及琴颈处的低频输出（双线圈拾音器在低频输出方面要优于单线圈拾音器且性噪比高）。同时还了解到，市场上已经有了“HSH”、“HSS”这两种构型的产品。所以我们利用现有的拾音器，组装出这三种构型，在实验前，我们先用定音器定准音，再观察。

- 1) HSS 构型（电吉他的音调音量均调至最大）

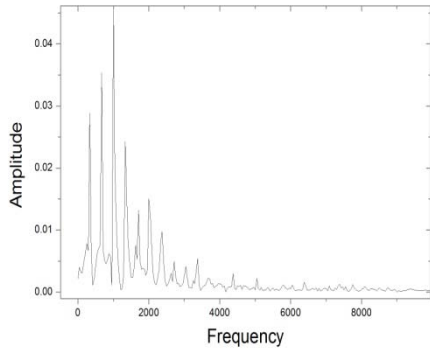


左边是一档一号弦的频谱图，因为我们是 SSS 型的基础上改装的，所以只测了一档和二档，后面档位没测，因为其频谱特性应该与 SSS 型相同。对比 SSS 构型，发现左图 2000 与 4000 赫兹之间的输出减弱。这说明单独切换到双线圈拾音器，可以做出

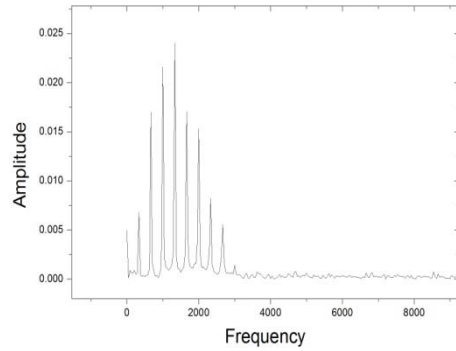
比较浑厚的音乐。

2) HSH 构型 (电吉他的音调音量均调至最大)

这个构型是在 HHH 的基础上改装的, 所以我们只测了二档和四档的输出, 比较 HSH 和 HHH 的二档输出:



(HSH 一号弦)

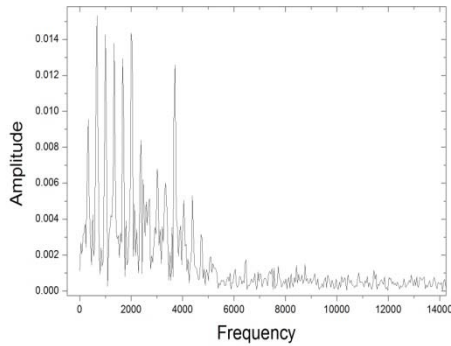


(HHH 一号弦)

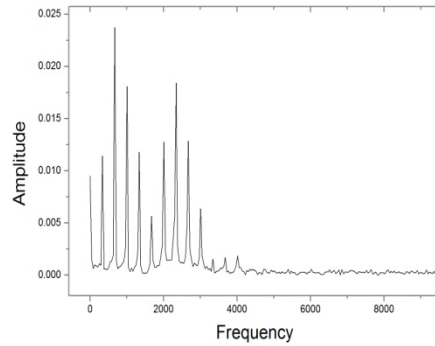
对比可发现, HSH 增加了音乐的力度 (振幅变大), 但同时也增加了背景噪声, 这是不可避免的。

3) SHH 构型 (电吉他的音调音量均调至最大)

这个构型仍旧在 HHH 构型的基础上改装而成, 所以我们只测了一档和二档, 比较 SHH 和 HHH 的一档输出:



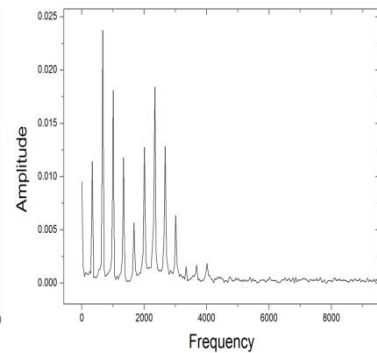
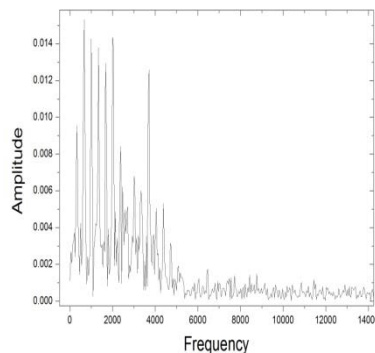
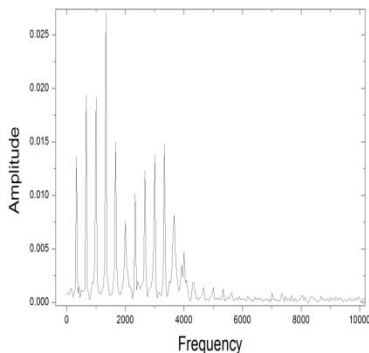
(SHH 一号弦)



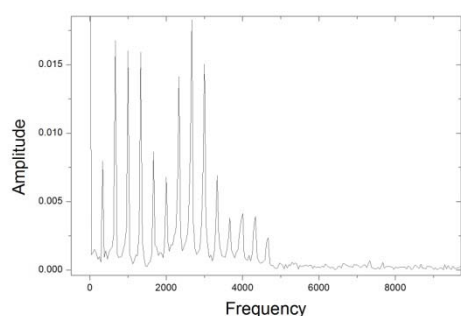
(HHH 一号弦)

对比可发现, SHH 的频谱范围增加, 达到 5000 赫兹左右, 但不可避免的是, 背景噪声变得很明显。

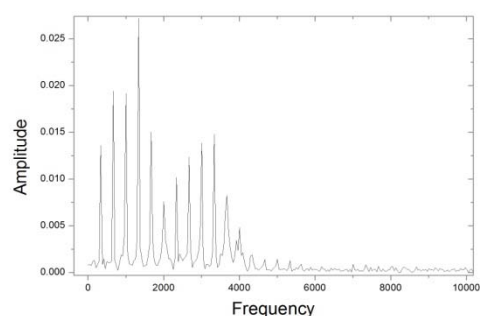
4. 我们在 SHH 构型的基础上, 对电吉他的输出电路进行了改动。电吉他的输出电路实际上就是一个低通滤波电路, 控制音调的电位器上并联了一个电容器 (电吉他有两个音调旋钮, 故只有两个电容)。增大电容值, 这个滤波电路的高频抑制能力将增强。我们先将与琴桥拾音器输出相关的电容值由 0.021 微法降到 0.009 微法, 观察琴桥拾音器的输出变化。



左图是改进后的 SHH 一档一号弦，中间图是改进前的 SHH 一档一号弦，右图是 HHH 一档一号弦。把左图和中间图对比可发现，改进后，2000 到 5000 赫兹的输出明显提高，同时背景噪声几乎消失（是因为信噪比提高了，噪音相对可忽略。可见减小电容可以有效提高弦振动信号的高频通过率，但不增加背景电磁波的高频通过），这是我们不曾想到的。把左图和右图比较发现，左图的频谱范围更广，说明这个改动起到了预想的效果。接着，为了增加琴颈和中间位置拾音器的高频抑制，保持与琴桥拾音器输出相关的电容值为 0.009 微法不变，将另一个与琴颈和中间拾音器输出相关的电容值由 0.023 微法升到 0.046 微法。先看这个改动前后 SHH 一档一号弦输出的变化

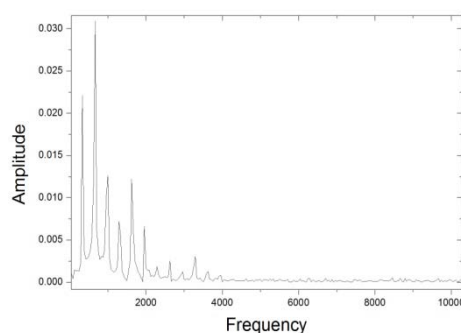
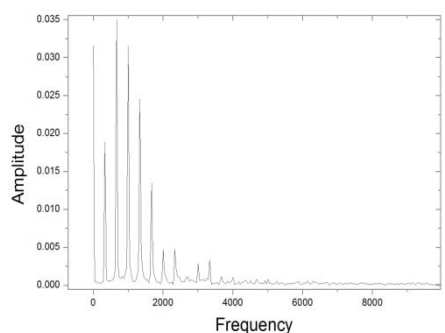
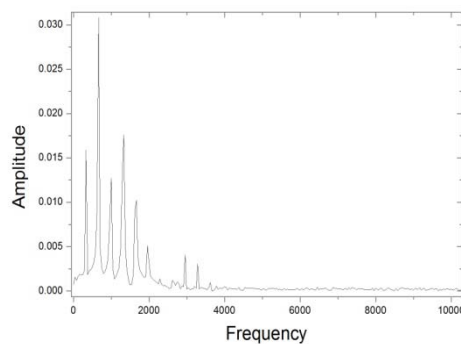
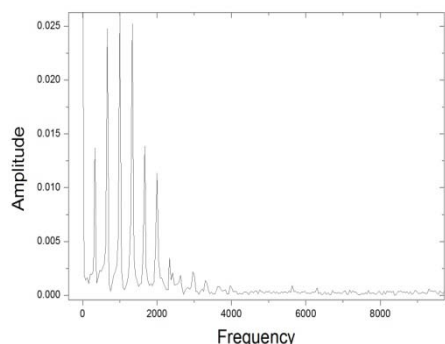


(改进后)



(改动前)

可以看到，改进后的频谱范围变大，而且 4000 到 5000 赫兹间各倍频的输出相对变大，即电吉他的泛音效果更为明显，从而提高了音质。接下来比较三档和五档一号弦的变化



左上图是改进后的 SHH 三档一号弦的频谱，右上图是 HHH 三档一号弦的频谱。左下图是改进后的 SHH 五档一号弦的频谱，右下图是 HHH 五档一号弦的频谱。可以看到，改进后低频段缩短了但是泛音更充沛，拾音器音质输出更好。说明这个改动也是成功的。

结论: 我们在单线圈拾音器和双线圈拾音器输出特性的基础上，构造出一种新的构型“SHH”，然后在这个新的构型上改变电吉他的滤波电路，把原来电容大小基本一致的两个电容根据控制的拾音器的不同换成电容值一大一小的两个电容。最终使得电吉他的输出特性得到较大改

善。

- 参考文献:**
1. 维基百科“音符”词条
 2. 维基百科“泛音”词条