

## 特殊設計簡諧倍頻鐵琴組之聲音品質評估

王栢村<sup>1</sup> 董時沛<sup>1</sup> 徐秀娟<sup>2</sup> 高正賢<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國立屏東科技大學 機械工程系所

<sup>2</sup>台南應用科技大學 音樂系所

[wangbt@mail.npust.edu.tw](mailto:wangbt@mail.npust.edu.tw)

### 摘要

本文主要對具有特殊設計之簡諧倍頻音鐵琴組，其有三組八度音，進行聲音品質之客觀與主觀評估。首先藉由量測一個鐵琴片之打擊聲音頻譜，探討其聲音特性，鐵琴片的音準由第一個模態頻率界定，而高模態頻率與基礎頻率成整數倍數則為其泛音之組成，藉由探討鐵琴片打擊聲音之音準、音色及持續度探討其發聲之物理機制，同時也探討不同琴槌頭硬度對聲音頻譜之影響。此鐵琴組之各音階鐵琴片均呈現良好的音準，同時具有三個簡諧倍頻之泛音特性，此泛音頻率與音階之基礎頻率呈現整數比。各鐵琴片之音準也由專業音樂教師主觀評價認為相當準確，除有部分鐵琴片有聲音發散情形，此鐵琴組之打擊聲音確實有不錯的泛音特性。本文探討對鐵琴組之聲音品質客觀評估，未來也可應用到其他打擊樂器。

**關鍵詞：**簡諧倍頻音、鐵琴、聲音品質、敲擊槌。

### 1. 前言

在市面上常見的鐵琴組，其單一鐵琴片經敲奏後，產生一基音頻率及多個隨機散布的泛音，其聲音較為單調、音色特性簡樸，故設計製作具有豐富泛音特性的打擊樂器是為創新性之嘗試。針對已設計出並申請專利[1,2]之簡諧倍頻音鐵琴組，以往製作出一組八度音之成品，但因製作出樂器所要求的聲音頻率誤差範圍需精確，而製作之成品音準尚不佳，故重新設計製作出三組八度音鐵琴組。為使簡諧倍頻音鐵琴組得以商品化，需建立一套評估製作鐵琴片聲音品質之方法。

樂器之聲音具有倍頻特性當屬弦樂器，王與蘇[3]分別對電吉他與木吉他進行理論分析與實驗量測，並進行模型驗證，以瞭解吉他弦之聲音與振動模態特性。在弦的聲音量測中，電吉他與木吉他皆可發現到其泛音具有聲音主頻率的倍數諧振關係，而在木吉他的聲音頻譜中，另外包含了音箱結構之聲音頻率與振動模態。

為使鐵琴片得以發出具和諧性之聲音特性，王與謝[4]分別分析求得鋁合金及不鏽鋼材質之 C 和弦音鐵琴片，並製作成實體鐵琴片進行實驗量測，以求得其聲音頻譜與峰值頻率，進而對不同敲擊位置與不同材質敲擊工具探討 C 和弦音鐵琴片之聲音頻率、振幅與發聲效果。Wang and Jian[5]針對鐵琴片進行設計，使其具有 C 和弦音效果之特性，其中運用有限元素分析與實驗模態分析方式，獲得自然頻率與模態振型等模態參數，並進行模型驗證之比對。由比對結果得知和弦音鐵琴片之聲音特性，運用模態振型之特性可明確找出激發和弦音聲音特性之敲擊點，且此和弦音鐵琴片經敲擊所激發出之

聲音頻譜也與和弦音之設計目標頻率十分吻合，表示文中所設計之和弦音鐵琴片是成功的。

不同的樂器所發出的聲音不同，主要原因為其基音與泛音所組成不同的音色，Tsai [6]對中國膜笛(笛子)的自然頻率、基音頻率及其高頻的泛音等音色進行探討，發現到隨著覆蓋孔不同的間距，而使笛子的音色有多方面的變化，並從物理學與心理聲學方面，對其音場部分的聲音響度變化，與泛音的控制做進一步的探討。

藉由建立主觀評價與客觀評價的評估方式，可作為評估一部琴好壞的依據，而莊等人[7]針對二胡樂器之聲音，建立主觀評價與客觀樂音指標，應用於探討每把琴於聲音品質及音色之差異，主觀評價方面，做多方訪談與問卷調查的收集；客觀樂音指標方面，則參考製琴師的經驗製訂出一套評估二胡的樂音指標。並進一步對影響二胡音色主因之一--琴皮，探討其琴皮特性(厚度、蒙皮拉力、彈性)與琴皮表面美觀(破損缺陷、浸泡處理、塗蠟)等。

本文針對已申請專利[1,2]之特殊外型鐵琴片製作成品，進而量測其聲音頻率做數據比對，與探討簡諧倍頻音鐵琴片聲音特性，包括：音準、音色與持續度等；並探討不同材質敲擊槌，對簡諧倍頻音鐵琴片之影響；製作完成三組八度音之簡諧倍頻音鐵琴組，經由客觀量測評估與主觀評價做比較，探討其聲音品質特性，未來也可作為評估或製作打擊樂器的依據。

### 2. 簡諧倍頻鐵琴片之聲音特性

圖 1 所示為新設計 A5 簡諧倍頻音鐵琴片，本節將量測與探討其聲音特性，表 1 為音階頻率總表，A5 音階之聲音頻率為 880(Hz)。圖 2 為本文採用的量測設備與量測方式，運用筆記型電腦(含 MATLAB 軟體與聲音量測程式)、一般麥克風與敲擊槌，將 A5 簡諧倍頻音鐵琴片運用懸掛方式模擬自由邊界進行聲音量測。

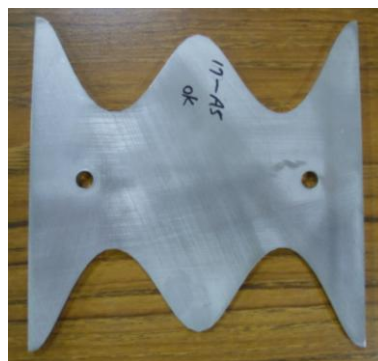


圖 1 A5 簡諧倍頻音鐵琴片實體圖

表 1 音階頻率總表

音名	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	比例關係
C	16.352	32.70	65.41	130.81	261.63	523.25	1046.50	2093.00	4186.01	8372.02	1
C <sup>#</sup> /D <sup>b</sup>	17.324	34.65	69.30	138.59	277.18	554.37	1108.73	2217.46	4434.92	8869.84	1.059463
D	18.354	36.71	73.42	146.83	293.66	587.33	1174.66	2349.32	4698.64	9397.27	1.122462
D <sup>#</sup> /E <sup>b</sup>	19.445	38.89	77.78	155.56	311.13	622.25	1244.51	2489.02	4978.03	9956.06	1.189207
E	20.602	41.20	82.41	164.81	329.63	659.26	1318.51	2637.02	5274.04	10548.08	1.259921
F	21.827	43.65	87.31	174.61	349.23	698.46	1396.91	2793.82	5587.65	11175.30	1.33484
F <sup>#</sup> /G <sup>b</sup>	23.125	46.25	92.50	185.00	369.99	739.99	1479.98	2959.96	5919.91	11839.82	1.414214
G	24.500	49.00	98.00	196.00	392.00	783.99	1567.98	3135.96	6271.93	12543.85	1.498307
G <sup>#</sup> /A <sup>b</sup>	25.957	51.91	103.83	207.65	415.30	830.61	1661.22	3322.44	6644.88	13289.75	1.587401
A	27.500	55.00	110.00	220.00	440.00	<b>880.00</b>	1760.00	3520.00	7040.00	14080.00	1.681793
A <sup>#</sup> /B <sup>b</sup>	29.135	58.27	116.54	233.08	466.16	932.33	1864.66	3729.31	7458.62	14917.24	1.781797
B	30.868	61.74	123.47	246.94	493.88	987.77	1975.53	3951.07	7902.13	15804.27	1.887749



圖 2 量測設備與量測方式

表 2 A5 鐵琴片量測之時間域與頻率域圖

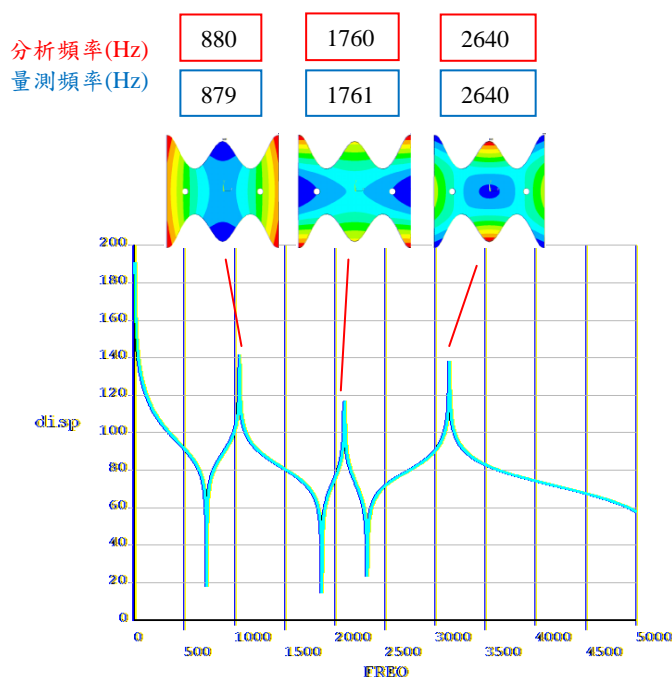
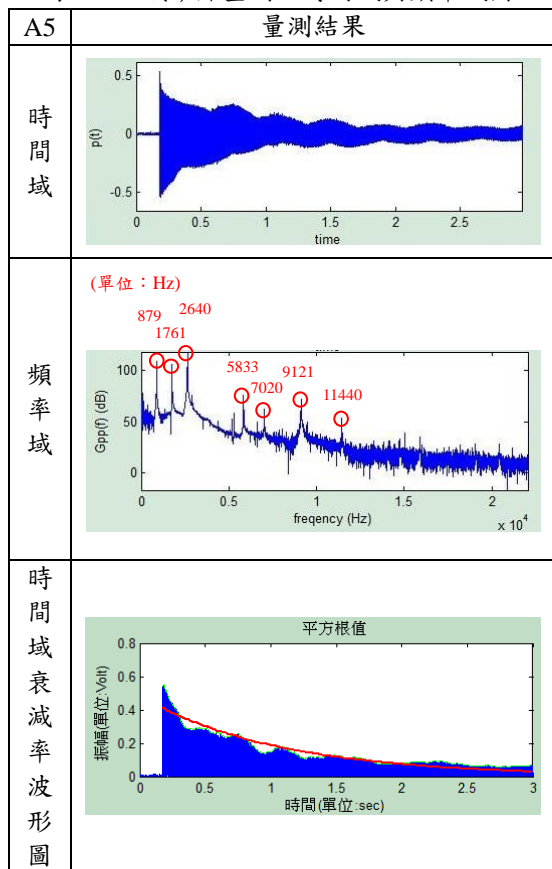


圖 3 A5 鐵琴片之頻率響應函數圖

將敲擊槌敲擊簡諧倍頻音鐵琴片中心位置，利用一般麥克風接收聲音，再經由筆記型電腦進行聲音頻率解析，得到如表 2 的 A5 簡諧倍頻音鐵琴片量測的結果表，將實驗量測得到的時間域，經由聲音量測程式做快速傅立葉轉換進行解析，得到頻率域與時間愈衰減率波形圖。而由頻率域可看出簡諧倍頻音鐵琴片前三個聲音頻率峰值較為明顯，且其具有整數倍頻之關係，符合當初設計具簡諧倍頻音鐵琴片之聲音特性。

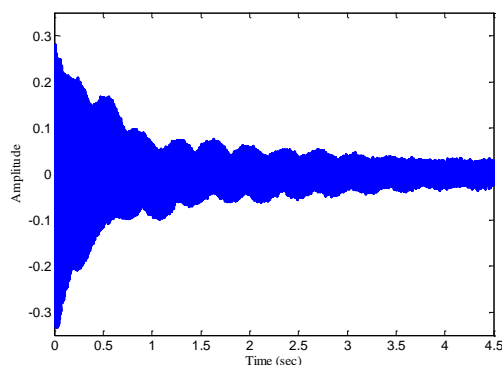
圖 3 為 A5 鐵琴片之頻率響應函數圖，當敲擊中心點可激發如圖中顯示前三個模態之模態振型。針對分析與實驗量測的前三個聲音頻率進行比對，統整如表 3 為量測 A5 鐵琴片之聲音頻率比較表。由表 3 可看出分析與實際鐵琴片之聲音頻率誤差值為±1(Hz)以內，而量測的聲音頻率亦符合聲音頻率容許範圍內(每個聲音頻率有其對應之容許範圍)，並解析得此自由邊界狀態下之鐵琴片衰減率為 0.94。

表 3 量測 A5 鐵琴片之聲音頻率比較表

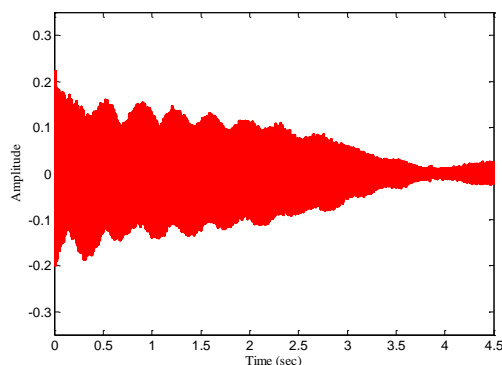
模態	分析頻率 (Hz)	量測頻率 (Hz)	倍率關係	頻率誤差值(Hz)	誤差百分比 (%)	容許誤差百分比(%)	容許差異值 (Hz)	標準音差異值(Hz)	衰減率
1	880	879	1.000	-1	-0.11	± 0.346	± 3.04	-	0.94
2	1760	1761	2.003	1	0.06	± 0.346	± 6.09	-	
3	2640	2640	3.003	0	0.00	± 0.346	± 9.13	-	

由量測聲音頻率進一步對 A5 簡諧倍頻音鐵琴片，探討其聲音品質(包括：音準、音色與持續度)。

- 音準：音階 A5 對應之聲音主頻率為 880(Hz)，由表 3 可得知實際量測得到的聲音頻率符合容許範圍內，故音準是為準確的。
- 音色：除了第 1 個模態聲音頻率為主音，其餘明顯的模態聲音頻率皆稱為泛音。而具簡諧倍頻音鐵琴片目的為設計出具有倍頻特性之泛音，由表 3 可得知 A5 簡諧倍頻音鐵琴片確實有此特性。
- 持續度：為聲音持續的時間，由衰減率所影響，衰減率越小則聲音持續度越長；衰減率越大則反之。此懸掛模擬自由邊界得到之衰減率為 0.94。



(a) ME103-MH(硬頭)



(b) ME105-S(軟頭)

圖 5 不同硬度琴槌敲擊 A5 鐵琴片之時間域圖

### 3. 不同琴槌敲奏之比較

圖 4 為不同硬度之敲擊槌，分別為 ME103-MH(硬頭)與 ME105-S(軟頭)兩種(文中分別以 MH 與 S 做代稱)，敲擊同一簡諧倍頻音鐵琴片(A5)進行聲音量測，得圖 5 與圖 6 不同硬度琴槌敲擊 A5 鐵琴片之時間域圖與頻率域圖，由頻率域圖可看出主要發聲的聲音頻率皆有所對應。抓取圖 6 中明顯的發聲聲音頻率與其 dB 值，彙整資料成表 4 為不同硬度琴槌敲擊之聲音頻率峰值表，與圖 7 為不同聲音頻率峰值示意圖。

表 4 中 MH 琴槌在聲音頻率 2641(Hz)有最高 dB 峰值 111.4(dB)，與 S 琴槌在聲音頻率 880(Hz)有最高 dB 峰值 106.9(dB)，而其它聲音頻率 dB 峰值與其皆有明顯的差異，當聲音之 dB 值差異± 20dB 以上時，則無法辨別出聲音 dB 值較低的聲音頻率，故由表 4 可看出當敲擊中心點位置時，可明顯聽到前三個聲音頻率。並由圖 7 可看出 MH 琴槌在聲音頻率較高的部分，所激發的 dB 峰值明顯較高；而 S 琴槌則在聲音頻率較低的部分，所激發的 dB 峰值較高，由此可得知敲擊槌硬槌頭容易激發高頻率之聲音特性，軟槌頭則反之。



圖 4 不同硬度之敲擊槌

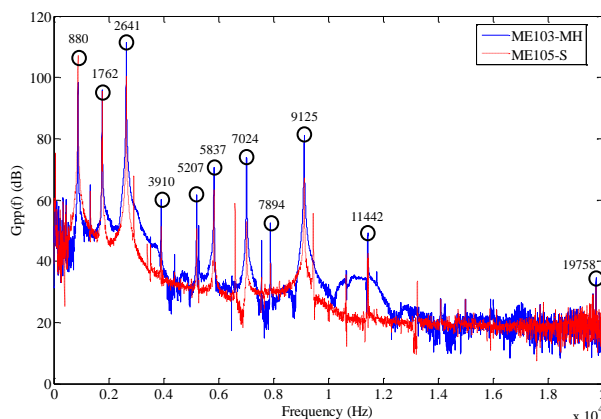


圖 6 不同硬度琴槌敲擊 A5 鐵琴片之頻率域圖

表 4 不同硬度琴槌敲擊之聲音頻率峰值表

相同峰值之 Frequency (Hz)	ME103-MH		ME105-S	
	dB 值	與最高 dB 誤差值	dB 值	與最高 dB 誤差值
880	98.24	-13.16	106.90	0.00
1762	95.99	-15.41	95.37	-11.53
2641	111.40	0.00	100.20	-6.70
3910	60.02	-51.38	51.41	-55.49
5207	61.70	-49.70	50.71	-56.19
5837	70.50	-40.90	63.36	-43.54
7024	73.88	-37.52	52.90	-54.00
7894	52.43	-58.97	39.44	-67.46
9125	80.96	-30.44	67.05	-39.85
11442	49.28	-62.12	42.41	-64.49
19758	34.68	-76.72	31.64	-75.26

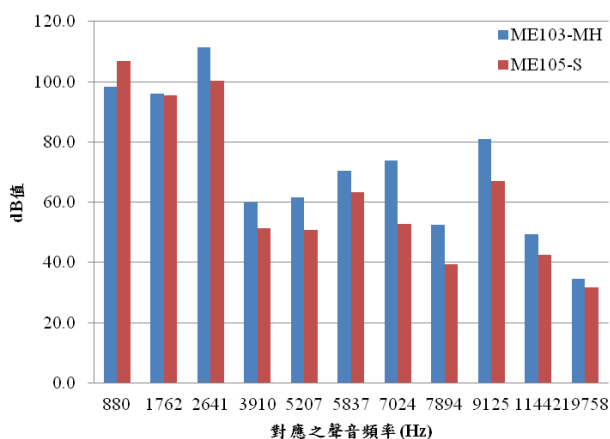


圖 7 不同聲音頻率峰值示意圖

#### 4. 簡諧倍頻音鐵琴組聲音特性品質評估

圖 8 為完成製作的三組八度音簡諧倍頻音鐵琴組，而三組八度音範圍如表 1 音階頻率總表圈選之 F4~F7，本節對此琴組進行實驗量測統整聲音頻譜作為聲音品質客觀評估依據，並由音樂老師意見作為聲音品質主觀評估依據。

##### 4.1 聲音品質客觀評估

由各簡諧倍頻音鐵琴片量測之聲音頻率，進一步探討所製作之簡諧倍頻音鐵琴組之音準、音色與持續度等，作為客觀聲音品質評估方式。



圖 8 三組八度音之簡諧倍頻音鐵琴組

- 音準：各音階的聲音頻率容許誤差百分比在  $\pm 0.346\%$  以內，由表 5 簡諧倍頻音鐵琴組之聲音主頻率比對結果，可看出各簡諧倍頻音鐵琴片之聲音主頻率，皆在容許誤差範圍內。
- 音色：由表 6 簡諧倍頻音鐵琴組之各音階聲音頻率表，以聲音主頻率為基準，第二聲音頻率約 1.98~2.02，第三聲音頻率約 2.98~3.01，故在音色方面接近 1、2、3 之倍率關係，是為符合簡諧倍頻音鐵琴片之設計目標。
- 持續度：由表 5 簡諧倍頻音鐵琴組之衰減率數據中，衰減率值介於 1.11~5.34 之間，以矽膠條作為邊界最佳值(1.11)有趨近於模擬自由邊界狀態(0.94)下。並由衰減率數值結果，可看出於第 5 組八度音中(除 E5、F5 外)，衰減率皆介於 1~2 之間。

#### 4.2 聲音品質主觀評估

本文所製作之三組八度音簡諧倍頻音鐵琴組，由專業打擊樂器教師及音樂老師，分別對此鐵琴組進行樂音之主觀評價，如表 5 之主觀評估標註，綜合討論如下：

- 一般聲音標準頻率之容許誤差為 0.346%，故低音音階之鐵琴片如 F4~B4，由於聲音標準頻率低，故容許頻率誤差值相對較小，須注意其製造公差。
- 高音音階鐵琴片顯現的聲音品質較佳，原因為聲音頻率較高，在製作上音準較容易控制，
- 不同的敲擊位置會影響鐵琴片之聲音特性，故須在特定打擊區域做敲擊，所激發的聲音品質較佳。
- 本文設計之不同音階鐵琴片，是採用等比例幾何縮放之調音技術，使得各音階鐵琴片間距不一，不符合一般打擊樂器要求，需再改善設計。
- 整體而言，各音階鐵琴片之音準已相當準確，惟泛音特性可能因調音方式，使得部分鐵琴片之結構，聲音有發散之不良效果。

#### 5. 結論

本文針對新型設計之簡諧倍頻音鐵琴組完成製作，並將敲擊後的聲音特性以音準、音色與聲音持續度進行探討。

- 音準方面，各音階的聲音頻率容許誤差百分比在  $\pm 0.346\%$  以內，即聲音頻率越高其容許誤差值越大；聲音頻率越低則反之。而製作出的簡諧倍頻音鐵琴組，各鐵琴片皆在其音階之聲音頻率容許誤差範圍，表示音準方面是準確的。

- 音色方面，設計具簡諧倍頻音聲音特性之鐵琴片，目的為經敲擊後，可產生具有倍頻的聲音特性。由結果可得知，每片鐵琴片皆有趨近於 1:2:3 的聲音倍頻關係，確定製作之簡諧倍頻音鐵琴組是成功的。
- 聲音持續度方面，為使聲音得以持續長久，須減少邊界效應。由結果可發現各音階的衰減情形不一，自由邊界下衰減率值不到 1，實際邊界衰減率值介於 1.11~5.34 之間，有部分接近自由邊界之聲音持續度。

針對不同琴槌敲奏鐵琴片之影響，由結果探討發現，MH 琴槌在聲音較低頻率的響度較小，而 S 琴槌在聲音較低頻率的響度較大；聲音較高頻率則反之。在材質上，MH 琴槌較 S 琴槌硬，明顯得知琴槌硬度不同，對鐵琴片的聲音特性也會有所不同。為了激發低頻率的鐵琴片，須使用材質較軟的敲擊槌；反之，激發高頻率則須使用材質硬的敲擊槌，而 A5 簡諧倍頻音鐵琴片須選用 S 軟頭琴槌。並發現到，雖使用不同琴槌敲奏同一鐵琴片，但皆可明顯的激發出前三個聲音頻率，表示與設計目標是為相同的。

簡諧倍頻音鐵琴組在客觀聲音量測評價中，音準、音色與持續度等皆有良好的數據顯示；而在主觀聲音品質評估中，各鐵琴片的聲音品質良好、音準準確，惟低音之聲音品質不夠穩定，與部分因調音造成聲音的發散現象。為方便演奏者做演奏，將針對琴片間距、敲擊槌確認、打擊區擴大與琴組的擺設等考量進行設計與製作。

未來將收集相關音樂教師或樂器廠商之意見，建立一對聲音形容的客觀指標，如渾厚、音質、亮度、純度、穩定性等，可作為評估與製作出打擊樂器之應用，並期望能使簡諧倍頻音鐵琴組，得以作為演奏用之打擊樂器組。

## 6. 致謝

本研究承蒙國科會計畫經費支助，特以致謝。(國科會計畫編號 NSC-99-2221-E-020-004)

## 7. 參考文獻

- [1] 王栢村，簡孝名，2010，「具有簡諧倍頻音之音板結構」，中華民國發明專利(審核中，申請日期：99.09.10，申請案號：99130765)
- [2] B. T. Wang and H. M. Chien, 2012, "Board Capable of Generating a Harmonic Sound," United States Patent Application Publication. (Pub. Date: Mar. 15, 2012, Pub. No.: US 2012/0061175 A1,)
- [3] 王栢村，蘇集銘，2006，「吉他弦之振動與聲音特性探討」，中華民國音響學會第十九屆學術研討會論文集，台南，論文編號：A7。
- [4] 王栢村，謝明憲，2009，「和弦鐵琴片之聲音特性與設計分析」，中華民國音響學會第二十二屆學術研討會，臺北，論文編號：A005。
- [5] B. T. Wang and X. M. Jian, 2010, "Model Verification and Percussion Sound Characteristics of Metallophone

with Chord Sound," *The 17th International Congress on Sound and Vibration*, Cairo, Egypt, Paper No. 376.

- [6] C. G. Tsai, 2004, "The Timbre Space of the Chinese Membrane Flute(dizi): Physical and Psychoacoustical Effects," 148th Meeting of Acoustical Society of America, San Diego, Session: 4pMUa.
- [7] 莊肯堯，翁榮源，徐茂濱，李十三，2006，「二胡樂音指標之建立與蟒皮對於音色之影響」，中華民國振動與噪音工程學會第十四屆學術研討會，宜蘭，論文編號：C16。

表 5 簡諧倍頻音鐵琴組之聲音主頻率比對、衰減率與主觀評估表

音階	目標頻率 (Hz)	量測頻率 (Hz)	頻率誤差 值(Hz)	頻率容許誤 差值(Hz)	頻率誤差百 分比(%)	衰減率	主觀 評估
F4	349.23	350	0.77	± 1.21	0.22	3.74	△
F <sup>#</sup> 4/G <sup>b</sup> 4	369.99	370	0.01	± 1.28	0.00	4.81	△
G4	392.00	392	0.00	± 1.36	0.00	4.49	△
G <sup>#</sup> 4/A <sup>b</sup> 4	415.30	416	0.70	± 1.44	0.17	5.34	△
A4	440.00	441	1.00	± 1.52	0.23	3.06	△
A <sup>#</sup> 4/B <sup>b</sup> 4	466.16	466	-0.16	± 1.61	-0.04	3.03	△
B4	493.88	494	0.12	± 1.71	0.02	2.36	△
C5	523.25	524	0.75	± 1.81	0.14	4.09	○
C <sup>#</sup> 5/D <sup>b</sup> 5	554.37	555	0.63	± 1.92	0.11	2.29	○
D5	587.33	588	0.67	± 2.03	0.11	1.75	○
D <sup>#</sup> 5/E <sup>b</sup> 5	622.25	622	-0.25	± 2.15	-0.04	1.88	○
E5	659.26	659	-0.26	± 2.28	-0.04	2.27	○
F5	698.46	699	0.54	± 2.42	0.08	2.68	◎
F <sup>#</sup> 5/G <sup>b</sup> 5	739.99	741	1.01	± 2.56	0.14	1.53	○
G5	783.99	785	1.01	± 2.71	0.13	1.75	○
G <sup>#</sup> 5/A <sup>b</sup> 5	830.61	831	0.39	± 2.87	0.05	1.11	△
A5	880.00	880	0.00	± 3.04	0.00	1.63	◎
A <sup>#</sup> 5/B <sup>b</sup> 5	932.33	933	0.67	± 3.23	0.07	1.58	○
B5	987.77	990	2.23	± 3.42	0.23	1.70	◎
C6	1046.50	1049	2.50	± 3.62	0.24	2.48	◎
C <sup>#</sup> 6/D <sup>b</sup> 6	1108.73	1109	0.27	± 3.84	0.02	1.89	◎
D6	1174.66	1176	1.34	± 4.06	0.11	2.76	◎
D <sup>#</sup> 6/E <sup>b</sup> 6	1244.51	1245	0.49	± 4.31	0.04	2.51	◎
E6	1318.51	1319	0.49	± 4.56	0.04	2.29	◎
F6	1396.91	1396	-0.91	± 4.83	-0.07	2.64	◎
F <sup>#</sup> 6/G <sup>b</sup> 6	1479.98	1481	1.02	± 5.12	0.07	2.43	◎
G6	1567.98	1565	-2.98	± 5.43	-0.19	2.85	◎
G <sup>#</sup> 6/A <sup>b</sup> 6	1661.22	1662	0.78	± 5.75	0.05	2.92	◎
A6	1760.00	1757	-3.00	± 6.09	-0.17	3.77	◎
A <sup>#</sup> 6/B <sup>b</sup> 6	1864.66	1869	4.34	± 6.45	0.23	2.37	◎
B6	1975.53	1973	-2.53	± 6.84	-0.13	3.04	◎
C7	2093.00	2095	2.00	± 7.24	0.10	2.76	◎
C <sup>#</sup> 7/D <sup>b</sup> 7	2217.46	2219	1.54	± 7.67	0.07	2.59	◎
D7	2349.32	2353	3.68	± 8.13	0.16	3.14	○
D <sup>#</sup> 7/E <sup>b</sup> 7	2489.02	2490	0.98	± 8.61	0.04	3.17	○
E7	2637.02	2638	0.98	± 9.12	0.04	2.78	○
F7	2793.83	2795	1.17	± 9.67	0.04	3.59	○

※ 各聲音頻率之頻率容許誤差百分比約為 0.346%。

※ 主觀評估備註：良好(◎)、好(○)、尚可(△)。



表 6 簡諧倍頻音鐵琴組之各音階聲音頻率表

音階	第一聲音頻率( $f_1$ )		第二聲音頻率( $f_2$ )		第三聲音頻率( $f_3$ )	
	量測頻率 (Hz)	音階比例 ( $f_1 / f_1$ )	量測頻率 (Hz)	音階比例 ( $f_2 / f_1$ )	量測頻率 (Hz)	音階比例 ( $f_3 / f_1$ )
F4	350	1.00	703	2.01	1046	2.99
F <sup>#</sup> 4/G <sup>b</sup> 4	370	1.00	745	2.01	1105	2.99
G4	392	1.00	788	2.01	1171	2.99
G <sup>#</sup> 4/A <sup>b</sup> 4	416	1.00	838	2.01	1243	2.99
A4	441	1.00	889	2.02	1319	2.99
A <sup>#</sup> 4/B <sup>b</sup> 4	466	1.00	941	2.02	1398	3.00
B4	494	1.00	993	2.01	1474	2.98
C5	524	1.00	1051	2.01	1562	2.98
C <sup>#</sup> 5/D <sup>b</sup> 5	555	1.00	1113	2.01	1652	2.98
D5	588	1.00	1181	2.01	1755	2.98
D <sup>#</sup> 5/E <sup>b</sup> 5	622	1.00	1249	2.01	1859	2.99
E5	659	1.00	1324	2.01	1968	2.99
F5	699	1.00	1404	2.01	2087	2.99
F <sup>#</sup> 5/G <sup>b</sup> 5	741	1.00	1485	2.00	2208	2.98
G5	785	1.00	1570	2.00	2339	2.98
G <sup>#</sup> 5/A <sup>b</sup> 5	831	1.00	1666	2.00	2481	2.99
A5	880	1.00	1764	2.00	2642	3.00
A <sup>#</sup> 5/B <sup>b</sup> 5	933	1.00	1870	2.00	2783	2.98
B5	990	1.00	1986	2.01	2960	2.99
C6	1049	1.00	2101	2.00	3150	3.00
C <sup>#</sup> 6/D <sup>b</sup> 6	1109	1.00	2210	1.99	3326	3.00
D6	1176	1.00	2341	1.99	3516	2.99
D <sup>#</sup> 6/E <sup>b</sup> 6	1245	1.00	2477	1.99	3730	3.00
E6	1319	1.00	2623	1.99	3944	2.99
F6	1396	1.00	2783	1.99	4179	2.99
F <sup>#</sup> 6/G <sup>b</sup> 6	1481	1.00	2970	2.01	4431	2.99
G6	1565	1.00	3158	2.02	4709	3.01
G <sup>#</sup> 6/A <sup>b</sup> 6	1662	1.00	3334	2.01	4998	3.01
A6	1757	1.00	3526	2.01	5288	3.01
A <sup>#</sup> 6/B <sup>b</sup> 6	1869	1.00	3740	2.00	5589	2.99
B6	1973	1.00	3933	1.99	5927	3.00
C7	2095	1.00	4143	1.98	6259	2.99
C <sup>#</sup> 7/D <sup>b</sup> 7	2219	1.00	4455	2.01	6656	3.00
D7	2353	1.00	4717	2.00	7040	2.99
D <sup>#</sup> 7/E <sup>b</sup> 7	2490	1.00	4980	2.00	7469	3.00
E7	2638	1.00	5276	2.00	7920	3.00
F7	2795	1.00	5619	2.01	8375	3.00

## Sound Quality Evaluation for Special Design of Metallophone with Harmonics Sound

Bor-Tsuen Wang<sup>1</sup>, Shih-Pei Dung<sup>1</sup>,  
Sho-Chuan Hsu<sup>2</sup>, Cheng-Hsien Kao<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering  
National Pingtung University of Science and  
Technology

<sup>2</sup>Music Department & Graduate Institute  
Tainan University of Technology

### ABSTRACT

This work aims to evaluate the sound quality of the special designed metallophone that consists of three sets of octave musical scales by objective and subjective methods. The sound characteristic for one of the metallophone plates is first studied by measuring the percussion sound spectrum. The pitch of the metallophone plate can be characterized by the first modal frequency, and the overtone frequencies that are those natural frequencies of higher modes maintain integer ratios with respect to the fundamental frequency. The pitch, overtone and continuity of percussion sound for the metallophone plate are characterized to show its physical mechanism. The effect of different mallet hardness on percussion sounds is also presented. The metallophone is shown with very good pitch frequency for each musical scale and revealed harmonics for the first three dominant frequencies. The overtone is in harmonics, i.e. the set of partials is whole number multiples of the fundamental frequency. According to the subjective evaluation, the pitch for each metallophone plate is quite correct. The percussion sounds generally reveal good content of overtone, except some metallophone plates may produce diverse sound. This work presents the evaluation of sound quality for the metallophone and can be applied to other percussion instruments as well.

**Keywords:** harmonics sound, metallophone, sound quality, mallet.