

不同打擊樂器聲音特性探討

Discussions on Sound Characteristics of Different Percussion Instruments

王栢村¹、◎吳祥瑞²、徐秀娟³、高正賢⁴

¹ 國立屏東科技大學 機械工程系 教授

² 國立屏東科技大學 機械工程系 研究生

³ 台南應用科技大學音樂系 副教授

⁴ 台南應用科技大學音樂系 助理教授

E-mail : wangbt@mail.npust.edu.tw

摘要

樂團表演時，可以觀察到在眾多樂器中打擊樂器在樂團中占為多數，而每個打擊樂器敲擊後的聲音特性也不同，本文則針對不同打擊樂器打擊後的聲音進行量測。打擊樂器可分為有調打擊樂器與無調打擊樂器，其中有調打擊樂器挑選顫音鐵琴、木琴、鐘琴，而無調打擊樂器則是挑選不同材質木魚，包含木頭木魚與塑膠木魚進行敲擊量測實驗，利用麥克風感測器與頻譜分析儀，對不同打擊樂器在敲擊後所發出的聲音進行量測，以得到打擊樂器之聲音頻譜，對聲音的音高、音色、持續度這三大方向進行探討。

關鍵字：打擊樂器、音高、音色、持續度

Abstract

Percussion instruments are frequently used in musical performance. Different percussion instruments have their special sound effects. This work aims to measure and study different percussion instruments, including tuned and untuned types. The tuned percussion instruments such as vibraphone, xylophone, glockenspiel are presented. The wood-made temple block, plastic-made wooden fish that are untuned percussion instruments are also studied. The percussion sound are measured and analyzed by fast Fourier transform (FFT) spectrum analyzer. The time domain response and sound spectrum are, respectively, presented and studied in terms of pitch, tonal properties and duration. The radiated sound characteristics of different percussion instruments are compared and evaluated for their absolute pitches from the fundamental frequency. The overtone of each instrument is also shown to characterize its tonal property. The exponential decay rate for the time domain radiated sound is used to discuss the duration of each instrument. The presented method can be adopted for the quality evaluation of percussion instruments.

Keywords : percussion instrument, pitch, tonal property, duration

壹、前言

各種樂器之發聲模式不同，有打擊、吹奏及摩擦等不同方式，各種結構激發振動產生聲音，又每種樂器之結構振動方式皆不相同，主要影響發聲的要素相當多，如樂器的結構、形狀、尺寸及材質等，因此對不同打擊樂器進行聲音量測，以了解不同打擊樂器的聲音特性，掌握不同打擊樂器的聲音特性。在打擊樂器方面，王與林[1]運用不同的感測器針對鐵琴片進行實驗模態分析之比較與驗證，從驗證結果得知麥克風與加速度計所量測之模態參數十分吻合，因此確認麥克風可運用在感測器之可行性。王與林[2]探討了不同材質之敲擊鎚與不同的敲擊位置對鐵琴片模態特性之影響，從結果中看到結構之自然頻率振幅被激發出的程度會隨著敲擊鎚的材質會有所變化，且發現當敲擊點偏移中心點時，便會激發出較多的模態，偏移的距離越大，被激發出的模態數也會越多。Rossing[3]針對不同的玻璃杯組形狀下，量測得其模態振型，並且以不同技巧進行以敲擊、摩擦及拉號方式產生之聲音頻譜特性進行比較，了解不同技巧於玻璃杯組於聲音的關連性之差異。Bundesanstalt et al. [4]分別以兩種不同底邊形狀的木琴條進行振動模態與聲音輻射之關聯性比較，從中可得知兩種木琴條結構不同之聲音音階比差異。王與廖[5] C 音階木琴條進行實驗模態分析與有限元素分析之比較驗證，經由比較驗證後求得最佳化之 C 音階木琴條之木琴條材料參數。王與簡[6]鐵琴片進行實際邊界下建構出有或無加速度計參數化之鐵琴片有限元素模型進行完整的模型驗證，運用此參數化模型可以快速的進行鐵琴片模態特性之預測與設計分析。王等人[7]中國傳統樂器銅鑼進行完整的模型驗證，即探討銅鑼振動與聲音特性之關連性。王與陳[8]以鑼臍形式銅鑼做一完整的模型驗證，利用麥克風做為感測器，以了解鑼臍形式銅鑼振動與聲音之間的關連性。Jing[9]主要在模擬古代國鐘之聲音及振動特性，敲擊單音及雙音之古代中國鐘進行模擬，也進一步探討古代中國鐘之形狀，了解古代中國鐘之設計方法。

本文針對打擊樂器以不同量測系統頻譜分析儀進行聲音量測，針對聲音特性進行探討，以聲音品質音高、音色、持續度這三大方向進行討論，從中了解不同打擊樂器的聲音特性。

貳、打擊樂器與聲音特性評估

本文針對不同打擊樂器進行聲音量測，打擊樂器分為有調打擊樂器與無調打擊樂器，其中有調打擊樂器挑選顫音鐵琴、木琴及鐘琴，而無調打擊樂器則是挑選木頭材質木魚、塑膠材質木魚進行敲擊量測實驗，利用頻譜分析儀架設麥克風，對不同打擊樂器在敲擊後所發出的聲音進行量測，以得到該聲音之聲音頻譜，以下為打擊樂器打擊後之聲音品質的定義，主要以音高、音色、持續度三大方下進行探討：

1. 音高:指人類心理音符基頻之感受，本文是由量測到聲音的第一個峰值頻率進行探討。
2. 音色:音色的不同取決於不同的泛音，除了一個基音外，還有許多不同頻率的泛音伴隨，這些泛音決定了其不同的音色，使人能辨別出是不同的樂器甚至不同的人發出的聲音。
3. 持續度:泛指聲音持續時間的長短。

參、 實驗量測設定

本文對每個打擊樂器進行實驗量測之前，必須確認量測環境之背景聲音的大小，若在量測到的聲音頻譜峰值大於背景噪音 10 dB 以上者，就表示不考慮背景噪音之影響，其所量得之聲音值是有效的，便可作進一步的聲音頻譜分析。

本實驗使用頻譜分析儀做聲音量測及頻譜分析，圖 1 為實驗量測架構示意圖，首先將麥克風感測器架設於樂器前 200 mm 之水平位置處，信號線則連接於頻譜分析儀之 Channel B 輸入模組，最後再透過介面將頻譜分析儀與裝有分析處理軟體之筆電互相連接進行分析。

進行實驗前，必須完成 SigLab Analysis 頻譜分析儀的設定，因為頻寬的大小會影響到訊號擷取的時間，一般而言頻寬範圍越大，則擷取的時間就會越短，其作動原理則是使用敲擊鎚敲擊樂器時，藉由麥克風作為感測器，將量測後取得樂器之響應訊號，透過放大器將訊號傳入頻譜分析儀，並設範圍為 0~10000 Hz，解析條數 8192 Hz，平均次數為 5 次，平均重疊 overlap 設定為 max，頻率解析為 3.125 Hz，加權函數設定為 Exponential.01 此時頻譜分析儀對輸入模組之訊號作快速傅立葉轉換，最後將所求得之參數再導入電腦中作分析處理，以得到打擊樂器敲擊後之聲音功率頻譜密度函數。



圖 1 打擊樂器量測架構圖

肆、 不同打擊樂器聲音特性探討

打擊樂器分為有調打擊樂器與無調打擊樂器，其中有調打擊樂器挑選顫音鐵琴、木琴及鐘琴，而無調打擊樂器則是挑選木頭材質木魚、塑膠材質木魚進行敲擊量測實驗，利用頻譜分析儀架設麥克風與簡單錄音設備，對不同打擊樂器在敲擊後所發出的聲音進行量測，以得到該聲音之聲音頻譜，以下為打擊樂器打擊後之聲音品質的定義，主要以音高、音色、持續度三大方向進行探討：

一、有調打擊樂器

本節挑選有調樂器對聲音特性進行探討，針對聲音的音色、音高、持續度這三大方向進行討論。

(一) 打擊聲音音高分析

音高是指聲音的相對高低，本節挑選有調打擊樂器鐵琴、木琴與鐘琴之其中一個音階 C6 音階進行探討，由實驗量測到時間域與頻率域的圖分別為圖 4 與圖 5 所示，探討如下：

1. 鐵琴：由圖 4(a)可看出鐵琴的時間域變化，在圖 5(a)頻率域圖激發出七個頻率峰值，從表 1 可觀察到頻率誤差不超過 $\pm 0.7\%$ ，表示量測到的自然頻率與目標頻率相近，然而又觀察到鐵琴 C6 音階頻率之誤差值未在容許誤差內，以準確達到音準範圍內。
2. 木琴：由圖 4(b)可看出敲擊後木琴的時間域變化，而在圖 5(b)頻率域圖中被激發出三個明顯的峰值頻率，由表 1 可觀察出頻率誤差為 $\pm 0.26\%$ ，而頻率差值有在容許誤差內，表示音準是準確的。
3. 鐘琴：由圖 4(c)可看出鐘琴的時間域變化，同時在圖 5(c)頻率域激發五個頻率峰值，從表 1 可觀察到頻率誤差不超過 $\pm 0.7\%$ ，又觀察到鐘琴 C6 音階頻率之誤差值未在容許誤差內，以準確達到音準範圍內。

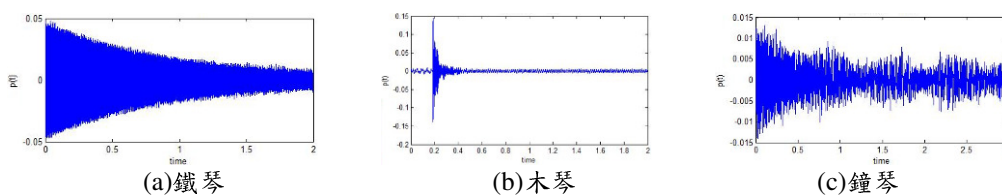


圖 4 不同打擊樂器 C6 音階時間域圖

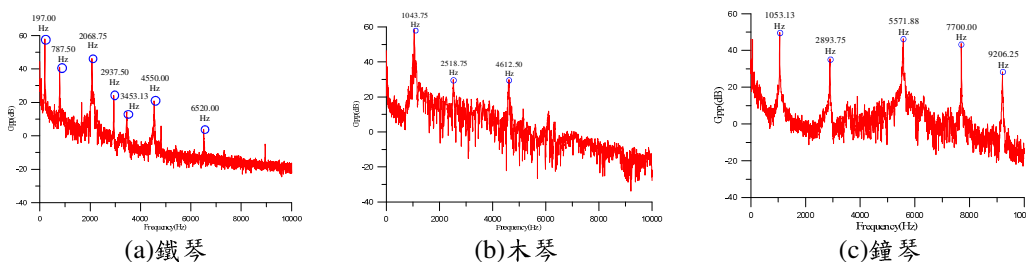


圖 5 不同打擊樂器 C6 音階頻率域圖

表 1 不同打擊樂器 C6 音階絕對音高比較表

音階	目標頻率 (Hz)	量測頻率 (Hz)	頻率誤差 (%)	頻率差值 (Hz)	容許誤差 (Hz)	誤差 (Hz)
鐵琴	1046.50	1053.13	0.63	6.62	3.63	-2.99
木琴	1046.50	1043.75	-0.26	-2.75	-3.63	-0.88
鐘琴	1046.50	1053.13	0.63	6.62	3.63	-2.99

(二) 打擊聲音音色分析

由表 2 得知鐵琴之 C6 音階的音階比例呈現 1 : 4 倍頻關係，而打擊木琴的 C6 音階有三個峰值頻率，其中音階比例關係為 1 : 2.41 : 4.42 的倍頻關係，其次鐘琴的 C6 音階有四個峰值頻率，其中音階比例關係為 1 : 2.75 : 5.29 的倍頻關係。

表 2 不同打擊樂器 C6 音階聲音頻率表

不同打擊樂器	Frequency(Hz)	G _{pp} (dB)	音階比例	平均衰減率 σ
鐵琴	197.00	57.85	1.00	0.927
	787.50	40.94	4.00	
	2068.75	38.10	10.50	
	2943.75	14.35	14.94	
	3453.13	11.42	17.53	
	4550.00	12.94	23.10	
木琴	1043.75	58.35	1.00	4.301
	2518.75	29.89	2.41	
	4612.50	29.74	4.42	
鐘琴	1053.13	49.77	1.00	1.038
	2893.75	35.40	2.75	
	5571.88	46.36	5.29	
	7700.00	43.65	7.31	

(三) 打擊聲音持續度分析

聲音的持續度表示敲擊後聲音的長短，本節以衰減率觀察三種不同打擊樂器聲音的持續度進行探討，由表 2 可觀察到木琴的衰減率最大為 4.301，從圖 4(a)可以觀察到聲音的持續時間很短，而鐘琴的平均衰減率適中為 1.038，其次衰減率較慢是鐵琴平均衰減率為 0.927。

綜合以上實驗量測之聲音特性分析，在音準上，以木琴之絕對音高最準確，而鐵琴與鐘琴比絕對音高，略大於容許頻率誤差 2.99 Hz。在音色比較上，由圖 5 聲音頻譜圖及表 2 所示各峰值頻率之音階比例，可知鐵琴擁有較豐富的泛音，而且泛音呈現整數倍數比例，在聽覺感官上最佳，木琴與鐘琴則無此整數倍頻之音色。由表 2 樂器之衰減率及觀察圖 4 之時間域聲音特性，以鐵琴衰減率最小，故聲音之持續度最長，而木琴因木質材料特性，聲音持續度相當短。

二、無調打擊樂器

本節挑選有調樂器對聲音特性進行探討，由人耳主觀所聽到不同打擊樂器之聲音品質，以聲音的音色、音高、持續度這三大方向進行探討。

(一) 無調打擊樂器音高分析

由表 3 可以觀察到不同材質木魚時間域與頻率域的變化，在時間域方面兩者的衰減大都有相同的趨勢，在頻率域方面，則無明顯峰值頻率，表 4 為不同材質木魚聲音頻率表，可以觀察到兩個材質的比例關係很不一致，推測是樂器本身材質與結構不同所導致敲出來的音高也不同。

(二) 打擊聲音音色分析

表 3 為各音階聲音時間域與頻率域圖，從時間域得知衰減數度很快，而頻率域的峰值頻率也很不明顯，泛音雜訊也明顯的變多，不過可以觀察到每個音階有個明顯激發出第一個峰值頻率，由表 4 可以得知音貝值 32 dB 以內，表示木魚於不同高低音階，其聲音響應趨勢是一致。

(三) 打擊聲音持續度分析

表 4 為木魚各音階聲音特性所得四個時間位置求得衰減率，由各音階衰減特性可觀察到木魚的衰減時間都很快，兩種材質木魚最快都為 3 號 27.735，表示衰減特性都一致的關聯性。

木魚於演奏中，扮演之角色為加強樂器之節奏特性，因此木魚各高低音之頻率均不同於標準音階之基礎頻率，又衰減率高，聲音持續度低，故合奏樂曲中，能明顯聽出木魚之節奏。

表 3 不同材質木魚頻率域與時間域比較表

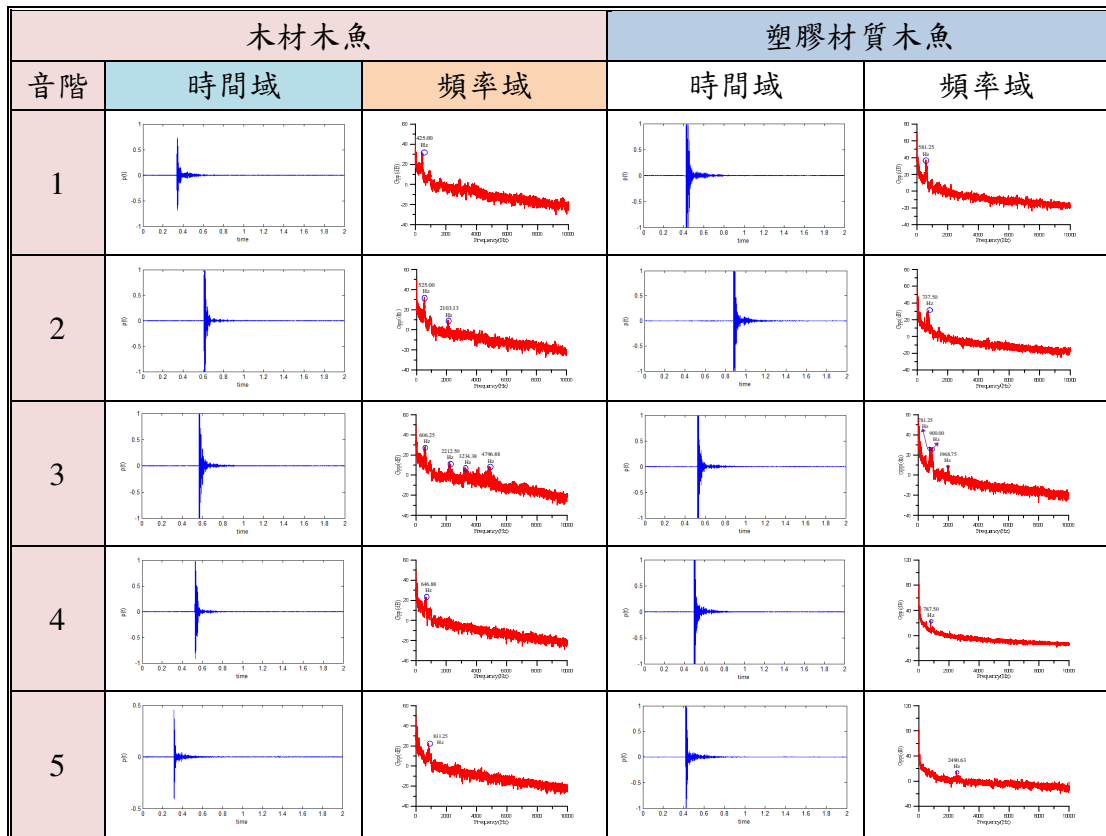


表 4 不同材質木魚每個音階之聲音頻率表

音階	木材材質木魚				塑膠材質木魚			
	Frequency (Hz)	Gpp. (dB)	音階比例	平均衰減率 σ	Frequency (Hz)	Gpp. (dB)	音階比例	平均衰減率 σ
1	425.00	31.27	1.000	18.658	581.25	37.12	1.000	14.56
2	525.00	32.15	1.235	24.83	737.50	30.81	1.269	33.89
3	606.25	28.79	1.426	27.735	781.25	27.46	1.344	36.58
4	646.88	23.32	1.522	26.992	787.50	23.19	1.355	32.75
5	831.25	22.28	1.956	14.809	2490.63	15.25	4.285	28.14
max				27.735				36.58
avg				22.605				29.18
min				14.809				14.56

伍、 結論

本文利用頻譜分析儀架設麥克風對不同打擊樂器在敲擊後所發出的聲音進行量測，以得到該聲音之聲音頻譜及相關參數，以聲音特性音高、音色與持續度定義不同打擊樂器之聲音品質，在音高方面鐵琴與鐘琴的音準尚未準確需調整，音色方面，鐵琴的音色具有簡諧倍頻的效果，在聲音持續度上，得知塑膠材質木魚的衰減率最大，其次分別是木質木魚、木琴、鐘琴、鐵琴，則造成持續度的影響，可能是樂器本身材質與敲擊棒材質或打擊力道所造成，未來可由此量測結果為客觀的數據，可與音樂專家進行討論，利用問卷調查的方式，建立主觀的評價並與客觀的數據一起進行探討。

陸、 誌謝

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。

柒、 參考文獻

1. 王栢村，林怡馨，2007，「以加速度計與麥克風為感測器之鐵琴片實驗模態分析比較」，中華民國力學學會第三十一屆全國力學會議，高雄，論文編號：H31。
2. 王栢村，林怡馨，2007，「鐵琴片振動特性與聲音關聯性之探討」，2007 中華民國音響學會年會暨第二屆論文發表會，台北，論文編號：C5。
3. Rossing, T. D. , 1994, "Acoustics of the Glass Harmonica," *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 95, pp. 1106-1111.。
4. Bundesanstalt, P. T., Braunschweig, and Germany, 1995, "Practical Tuning of Xylophone Bars and Resonators," *Applied Acoustics*, Vol. 46, pp. 103-127.。
5. 王栢村，廖偉廷，2009，「木琴條之實驗模態分析與模型驗證」，第 17 屆中華民國振動與噪音工程學術研討會，臺北，論文編號：B-06。
6. 王栢村，簡孝名，2009，「實際邊界下之鐵琴片模型驗證」，中華民國音響學會九十八年會員大會暨第二十二屆學術研討會，台北，論文編號：A006，第 A-35--A-45 頁。
7. 王栢村，李雨軒，張志偉，2002，「銅鑼振動與聲音特性之探討」，中華民國振動與噪音工程學會第十屆學術研討會論文集，第 245-252 頁。
8. 王栢村，陳新正，2008，「鑼臍形式銅鑼之聲音及振動特性的探討」，2008 中華民國音響學會第二十一屆學術研討會，台北，論文編號：A1-4。
9. M. Jing, 2003, "A theoretical study of the vibration and acoustics of ancient Chinese bells," *Journal of the Acoustical Society of America* 114(3), 1622-1628.