

地鐘有無鑲面與不同熱處理方式之聲音特性探討

王栢村¹ 劉得江² 陳聖霖² 楊昶昱² 吳盈輝³

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 大學生

³ 國立內埔高級農工職業學校 機械科

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

摘要

地鐘是華人社會的重要文化產品之一，經常出現在寺廟或宗教祭典的相關場合。地鐘常有不同鑲面的表面設計，又不同的材料配方及熱處理方式都是影響地鐘聲音品質的重要關鍵因素之一，本文針對相同的銅料，分別對有無鑲面的表面結構以及不同融銅溫度及降溫方式的熱處理方式所製作的九種地鐘，探討其不同表面結構及熱處理方式對地鐘之聲音特性的影響。將地鐘採懸掛方式進行敲擊實驗，同時以麥克風量測敲擊地鐘時所發出之聲音訊號，透過頻譜分析儀及聲音量測軟體進行分析，可分別取得地鐘的時間域響應及其對應的時頻圖與聲音頻譜。經比較九種地鐘的敲擊聲音分析發現，除了地鐘本身的物理性質之外，有無鑲面與不同熱處理方式確實會對地鐘的聲音特性造成影響。此外，在融銅溫度較高的地鐘，則呈現基音頻率較低及持久度較長的聲音特性；而地鐘有鑲面時，則會有基音頻率較高之現象。藉由本文對地鐘表面有無鑲面，以及不同熱處理方式所製作的地鐘，所進行的聲音特性探討之分析方法及觀察到之現象，未來可提供發展設計與製造具有良好聲音品質之地鐘的參考。

關鍵字：地鐘，聲音量測，聲音頻譜

1 前言

地鐘是佛教常用的法器，有著報時與集眾的用途，因為要用來報時與聚眾，所以鐘聲需響亮、持久且具穿透力等特性，以前製作鐘只能依靠經驗，但現在能透過科學方法分析，找出適合的加工製程，而根據不同的需求，各式各樣不同製造方法的鐘也因此誕生，其聲音特性也大不相同，Perrin *et al.* [1] 發現淬火與退火會導致頻率下降，頻率下降的幅度是依據使用的熱處理溫度和初始殘餘應力，鐘所激發出的顫聲不一定會因為退火而減少，但可以改變它的局部頻率，而淬火處理必會增加內應力使頻率下降。Perrin and Swallowe [2] 對瑞利鐘模型進行驗證，利用雙曲線參數形成，他們透過一個方程式進行分析，不需要涉及鐘厚也不需要涉及鐘材料的物理性質。

許多打擊樂器和銅鐘一樣的敲擊聲音，除了材料因素外，幾何外型影響其聲音特性，Cheng and Lan [3] 探討雙音中國和平鐘之振動與聲音特性，他們利用加速度規在鐘的不同點處進行振動分析，再由聲音頻譜圖的條件平均頻率(CMF)，在鐘型間距的變化進行探討。王與郭[4]以聲音量測程式分析指鈸之敲擊聲音，並使用不同

材質敲擊棒對單一指鈸敲擊所產生的敲擊聲音，測量記錄其時間域響應，透過快速傅立葉轉換取得聲音頻譜，求得高峰值的基音頻率和泛音之諧波頻率組成，另外，也建立指鈸的有限元素分析模型，進行模型分析，以聲音量測得到的結構共振自然頻率為基準，修正指鈸有限元素模型，得到等效實際結構之分析模型，並完成模型驗證。從有限元素分析可以明確辨識指鈸結構的振動特性，也可以探討敲擊聲音和振動模態之間的關聯性。王等人[5]探討銅鑼之振動與聲音特性。利用銅鑼的有限元素分析模型進行理論模型分析，求得鑼的自然頻率及對應的模態振型，接著進行傳統實驗模態分析，以加速度規為輸出測得其頻率響應函數，再由曲線嵌合程式擷取模態參數，作為有限元素模型修正的依據。Perrin *et al.* [6] 對一個 16 齒的象鐘，建立有限元素模型，以電子斑點干涉技術調查，而實驗結果與模型所求得的前十個頻率一致，且發現振動頻譜可以通過每組在閉環內的串連耦合尖叉與半球冠，這些串連偶和尖叉就像是振盪器一樣其用途跟共鳴板相同。Hibbert *et al.* [7] 敲擊教堂鐘緣並了解其泛音，發現教堂鐘的音色會因為較高的鐘緣而受到影響。

各類打擊樂器相關也有諸多探討，關於打擊樂器之聲音特性，王等人[8]針對木製青蛙放置在桌上或以手持，分別敲擊頭部以及前刮刷拭木製青蛙被擊的波浪表面進行聲音量測取得時間域響應，透過快速傅立葉轉換求得自身功率頻譜密度函數以觀察聲音頻譜特性。木製青蛙放置在桌上與手持方式的敲擊聲音基音頻率相似，但因為是桌面邊界效應，在低頻率的聲音頻譜會有較高現象。王等人[9]針對一組簡諧倍頻音聲音特性的等距型鐵琴片組，進行聲音品質評估，利用聲音量測程式進行聲音量測，敲擊每一片鐵琴片，測得不同音階鐵琴片的时间域響應，並透過快速傅立葉轉換取得頻率域之聲音頻譜圖，由聲音量測結果探討。在音準部分，由鐵琴片組各個音階的基音頻率與音階標準頻率比較，各琴片誤差多都在容許誤差範圍內，但還是有一些琴片因為加工誤差有明顯的差異。王等人[10]針對不同打擊樂器進行聲音量測分析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測量，得到打擊樂器的聲音頻譜，且對聲音的音高、音色、持續度進行探討。

本文量測九種有無鑲面與不同融銅溫度及冷卻方式所製作之地鐘，以釣魚線懸掛地鐘來模擬實際敲擊之情況，得到九種有無鑲面與不同融銅溫度及冷卻方式之

地鐘聲音特性，比對有無鑲面與不同融銅溫度及冷卻方式對發聲頻率的影響，可用於未來製作鐘的參考依據。

2 地鐘之物理性質與實驗量測方法

本文分析有無鑲面與不同熱處理方式之地鐘，圖 1 為地鐘之表面結構差異及敲擊位置示意圖，由圖可看出地鐘有無鑲面之表面結構差異與地鐘敲擊位置，表 1 為九種地鐘之物理性質總表，其中熱處理方式分為不同融銅溫度與不同冷卻方式，融銅溫度分為高溫及低溫兩種，而冷卻方式分為空冷、砂冷與水冷。

圖 2 為聲音量測分析之實驗架設圖，表 2 為聲音量測分析之實驗儀器型號表，聲音量測分析是利用鈎魚線懸掛地鐘以模擬實際敲擊情況，將麥克風接於訊號擷取卡擷取時間響應訊號，輸入振動噪音量測軟體進行聲音量測分析，圖 3 為時間響應訊號處理流程圖，將時間響應訊號分別進行快速傅立葉轉換及短時傅立葉轉換，求得聲音頻譜圖與時間頻譜圖，衰減率圖則是將時間響應訊號進行平方根運算所求得。圖 4 為聲音量測軟體設定介面，本次實驗量測設定取樣點數 51200，平均次數 2 次，重疊率 90%。

3 聲音特性評估指標

本文對九種地鐘進行聲音量測分析，求得各地鐘之聲音頻譜、時間頻譜與衰減率，並針對地鐘之有無鑲面、不同融銅溫度與冷卻方式進行聲音特性探討，圖 5 為 S05 地鐘之聲音頻譜圖，針對地鐘之聲音特性主要由基音頻率、頻率比、持續度三大方面作為探討指標：

1. 基音頻率：基音頻率為第一個發聲頻率，圖 5(a) 為自身功率頻譜密度函數圖，由圖可看出基音頻率與泛音頻率。
2. 頻率比：頻率比為泛音頻率與基音頻率之比值，除 f_1 以外其於發聲頻率皆為泛音，頻率比之表示式如下：

$$R_n = \frac{f_n}{f_1} \quad (1)$$

其中 f_1 為基音頻率， f_n 為第 n 個發聲頻率。

3. 持續度：持續度與時間常數有關，時間常數為衰減率之倒數，圖 5(b) 為衰減率圖，衰減率之計算方程式如下：

$$e^{-\sigma t} = e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2)$$

其中 σ 為衰減率， τ 為時間常數，時間常數越大則聲音持續時間愈長，反之則愈短。

4 有無鑲面與不同熱處理之地鐘聲音特性

地鐘為單一環型結構之打擊樂器，本文對同廠商製作之九種地鐘進行聲音量測分析，並比對有無鑲面與不同熱處理方式之地鐘其聲音特性差異。

表 3 為九種地鐘之時間頻譜圖與聲音頻譜圖總表，表 4 為九種地鐘之聲音頻譜總表，經由表 3 與表 4 比對，可看出 S03、S05、S08 及 S09 第四個發聲頻率都無激發，此外，S03 單獨激發第五個發聲頻率，由表 3 之

時間頻譜圖可觀察到，地鐘第一個發聲頻率與第二個發聲頻率持續時間最久，分貝值也最高，由此可推斷，前兩個頻率為主要影響地鐘聲音特性之頻率。表 5 為不同地鐘之聲音特性比較組合表，以下針對地鐘有無鑲面、不同融銅溫度與不同冷卻方式其聲音特性的差異，及重擊效應進行探討。

4.1 有無鑲面之地鐘聲音特性探討

本節探討地鐘有無鑲面，對聲音特性之影響，由表 5 得知，有無鑲面地鐘之聲音特性比對組合為 S01、S02 與 S03 分別對應 S07、S08 與 S09，其中 S01、S02 與 S03 為有鑲面之地鐘，S07、S08 與 S09 為無鑲面之地鐘。

基音頻率的部分，由表 3 中的聲音頻譜圖可看出，S01 與 S07 之基音頻率分別為 1188Hz 及 1070Hz；S02 與 S08 之基音頻率分別為 1113Hz 及 1095Hz；S03 與 S09 之基音頻率分別為 1122Hz 及 1119Hz，經比對發現，有鑲面地鐘之基音頻率高於無鑲面地鐘。

頻率比的部分，由表 4 得知有鑲面地鐘頻率比大致呈現 1:2.37~2.58:2.91~3.21 的趨勢，無鑲面地鐘則有 1:2.66~2.70:3.32~3.46 的趨勢，由此可發現無鑲面地鐘在頻率比的部分有較大的比例關係。

持續度的部分，由表 4 得知，有鑲面地鐘 S01、S02 與 S03 之時間常數分別為 0.4902、0.6250 及 0.5747，無鑲面地鐘 S07、S08 與 S09 之時間常數分別為 0.6211、0.5988 及 0.4608，由此可看出有無鑲面之時間常數數值都在一定的範圍內，並但無明顯的趨勢。

經由上述推斷，基音頻率方面，地鐘有鑲面時，所激發之基音頻率較高；頻率比方面，無鑲面地鐘之頻率比有較大的比例關係；持續度方面，有無鑲面對地鐘聲音持續度影響較不明顯。

4.2 不同融銅溫度之地鐘聲音特性探討

本節探討地鐘有不同融銅溫度，對聲音特性之影響，由表 5 得知，不同融銅溫度地鐘之聲音特性比對組合為 S01、S02 與 S03 分別對應 S04、S05 與 S06，其中 S01、S02 與 S03 為融銅溫度較低之地鐘，S04、S05 與 S06 為融銅溫度較高之地鐘。

基音頻率的部分，由表 3 中的聲音頻譜圖可看出，S01 與 S04 之基音頻率分別為 1188Hz 及 1072Hz；S02 與 S05 之基音頻率分別為 1113Hz 及 1044Hz；S03 與 S06 之基音頻率分別為 1122Hz 及 1042Hz，由此可看出，融銅溫度低之地鐘，其基音頻率會高與融銅溫度高之地鐘。

頻率比的部分，由表 4 得知融銅溫度低之地鐘頻率比大致呈現 1:2.37~2.58:2.91~3.21 的趨勢，融銅溫度高之地鐘則有 1:2.35~2.61:3.26~3.52 的趨勢，由此可發現融銅溫度高之地鐘在頻率比的部分擁有較大的比例關係。

持續度的部分，由表 4 得知，S01 與 S04 之時間常數分別為 0.4902 及 0.5814，時間常數；S02 與 S05 之時間常數分別為 0.6250 及 0.6369；S03 與 S06 之時間常數分別為 0.5747 及 0.6289，經比對發現，融銅溫度高

地鐘之時間常數大於融銅溫度低地鐘之時間常數。

經上述推斷，基音頻率方面，融銅溫度較低時，會導致基音頻率相對較高；頻率比方面，融銅溫度高之地鐘擁有較大的比例關係；持續度方面，融銅溫度高會使其聲音持續時間較長。

4.3 不同冷卻方式之地鐘聲音特性探討

本節探討地鐘不同冷卻方式，對聲音特性之影響，由表 5 得知，不同冷卻方式之聲音特性比對組合為 S01、S02 與 S03 為一組比對；S04、S05 與 S06 為一組比對；S07、S08 與 S09 為一組比對，其中 S01 與 S04 冷卻方式為空冷；S02 與 S05 為砂冷；S03 與 S06 則為水冷。

基音頻率的部分，由表 3 之聲音頻譜圖可看出，S01、S02 與 S03 之基音頻率分別為 1188Hz、1113Hz 與 1122Hz；S04、S05 與 S06 之基音頻率分別為 1072Hz、1044Hz 與 1042Hz；S07、S08 與 S09 之基音頻率分別為 1070Hz、1095Hz 與 1119Hz，由此可看出在不同冷卻方式的影響下基音頻率無明顯規律的變化。

頻率比的部分，由表 4 得知，空冷地鐘頻率比大致呈現 1:2.54~2.70:2.91~3.41 的趨勢；砂冷地鐘頻率比則呈現 1:2.35~2.66:3.17~3.52 的趨勢；水冷地鐘頻率比則呈現 1:2.37~2.67:3.12~3.52 的趨勢，由此可看出不同冷卻方式對地鐘的頻率比並無明顯之影響。

持續度的部分，由表 4 得知，S01、S02 與 S03 之時間常數分別為 0.4902、0.6250 及 0.5747；S04、S05 與 S06 之時間常數分別為 0.5814、0.6369 及 0.6289；S07、S08 與 S09 之時間常數分別為 0.6211、0.5988 及 0.4608，經比對發現，S02 與 S05 之時間常數最大，S03 與 S06 次之，S01 與 S04 最小，但此現象只在地鐘有鑲面時出現，地鐘無鑲面時則無此現象。

經上述推斷，基音頻率方面，不同冷卻方式對地鐘之基音頻率並無明顯之影響；頻率比方面，不同冷卻方式的影響下無明顯之趨勢；持續度方面，在地鐘有鑲面時，砂冷之聲音持續時間最長，水冷次之，空冷持續時間最短，無鑲面時持續度則無明顯之趨勢。

4.4 重擊效應

當有兩個相近之正弦簡諧波頻率出現時會產生重擊效應(Beating)，式(3)為重擊效應驗證方程式，將重擊頻率與重擊週期倒數進行比對，式(4)為重擊頻率計算方程式，利用聲音頻譜圖找出一組相近發聲頻率進行運算求得，式(5)為重擊週期計算方程式，圖 6 為重擊週期示意圖，透過時間頻譜找出正弦波之起始與結束時間。

$$f_{beat} \cong \frac{1}{T_{beat}} \quad (3)$$

$$\frac{f_2 - f_1}{2} = f_{beat} \quad (4)$$

$$T_{beat} = t_2 - t_1 \quad (5)$$

其中 f_{beat} 為重擊頻率， T_{beat} 為重擊週期， f_1 與 f_2 為一組相近之發聲頻率， t_1 與 t_2 分別為正弦波之起始時間與終止時間。由表 3 之時間域圖可看出，除了地鐘 S08 之

外，其餘地鐘呈現正弦波，由此可推測，除了地鐘 S08 之外，其餘地鐘皆有重擊效應，表 6 為地鐘之重擊效應驗證表，以 S05 為例，由式(4)及式(5)可得 $f_{beat}=4.5$ 、 $T_{beat}=0.2395$ ，經由式(3)驗證後確認為重擊效應，由表 6 得知除 S08 外，其餘地透過式(3)驗證後確認為重擊效應，此外，在驗證過程中發現， f_1 與 f_2 皆為地鐘第一個及第二個發聲頻率。

5 結論

本篇針對有無鑲面、不同融銅溫度與不同冷卻方式所製作的九種地鐘進行聲音特性探討，以聲音量測軟體進行分析，求得地鐘之聲音頻譜、時間頻譜與衰減率，並利用基音頻率、頻率比與持續度進行評估，綜合探討結論如下：

1. 鑲面差異的部分，有鑲面之地鐘，其基音頻率相對較高，無鑲面之地鐘則呈現頻率比較大的趨勢。
2. 融銅溫度差異的部分，融銅溫度較高之地鐘擁有較低的基音頻率，同時也會有較大的頻率比趨勢以及持續時間較長之現象。
3. 冷卻方式差異的部分，在有鑲面之情況下，地鐘聲音持續時間長短依序為砂冷、水冷與空冷。
4. 重擊效應的產生會導致著稱模態的出現。

本文比對有無鑲面與不同熱處理方式之地鐘聲音特性，未來可用來作為製作良好聲音品質地鐘之參考依據。

6 致謝

本文感謝三希典藏有限公司許萬全總經理提供銅鐘，以及科技部專題研究計畫的部分經費補助，計畫編號：MOST 105-2622-E-020-001-CC3。

7 參考文獻

- [1] R. Perrin, G. M. Swallowe, T. Charnley and C. Marshall, "On the Debossing, Annealing and Mounting of Bells," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 227, pp 409-425, 1999.
- [2] R. Perrin and G. M. Swallowe, "Rayleigh's Bell Model Revisited," *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference*, Sweden, pp 347-350, 2003.
- [3] Jianzheng Cheng and Congqing Lan, "Experimental Studies on Sound and Vibration of a Two-Tone Chinese Peace Bell," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 261, pp 351-358, 2003.
- [4] 王栢村、郭紋利，「指拔振動特性與敲擊聲音之探討」，*台灣聲學學會第二十六屆學術研討會論文集*，台北，第 258-264 頁，2013。
- [5] 王栢村、李雨軒、張志偉，「銅鑼振動與聲音特性之探討」，*第十屆 CSSV 學術研討會*，第 245-252 頁
- [6] R. Perrin, B. Deutsch, A. Robinson, R. Felce, T. R. Moore and G. M. Swallowe, "Normal Modes of the Elephant Bell," *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference*, Sweden, pp 343-346, 2003.
- [7] William A. Hibbert, David B. Sharp, Shahram Taherzadeh and Robert Perrin, "Partial Frequencies

and Chladni's Law in Church Bells," *Open Journal of Acoustics*, Vol. 4, pp 70-77, 2014.

- [8] 王栢村、楊昶昱、吳俞憲、林政璋、黃家賢,「民俗童玩木製青蛙之聲音特性探討」, 第二十三屆中華民國振動與噪音工程學術研討會, 台北, 291-B-3, 2015。
- [9] 王栢村、黃家賢、徐秀娟、李之光,「具簡諧倍頻音鐵琴組之打擊樂器聲音品質探討」, 台灣聲學學會103年會員大會暨第27屆學術研討會, 台南, 論文編號:A2, 2014。
- [10] 王栢村、吳祥瑞、徐秀娟、高正賢,「不同打擊樂器聲音特性探討」, 中華民國聲學學會第二十四屆學術研討會論文集, 新北, 248-C10, 2011。



圖 1、地鐘之表面結構差異及敲擊位置示意圖

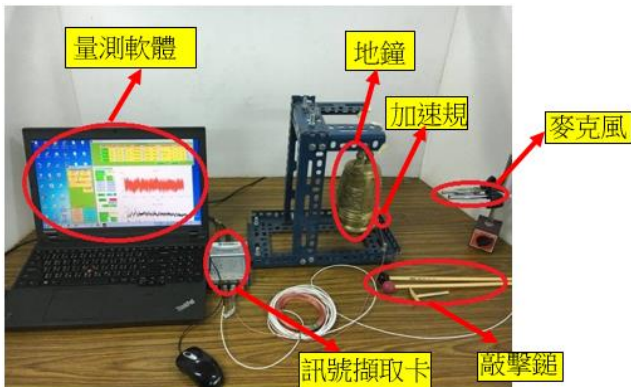


圖 2、地鐘聲音量測分析之實驗架設圖

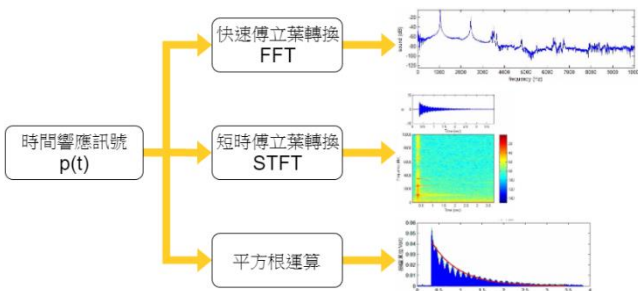


圖 3、時間響應訊號處理流程圖

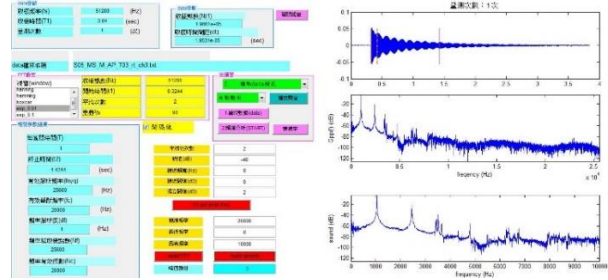
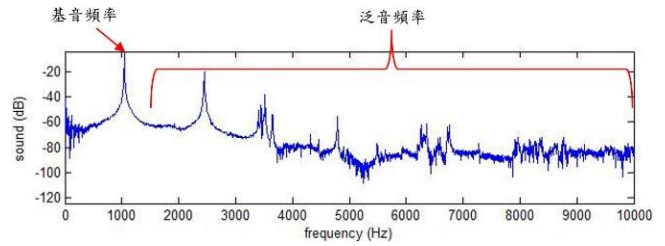
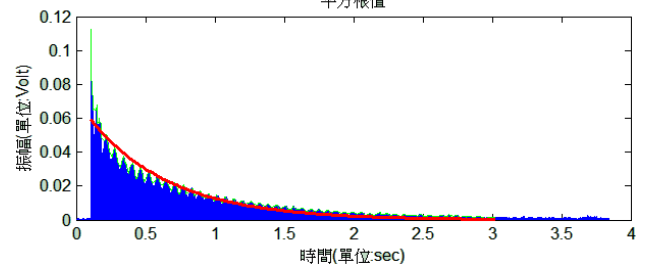


圖 4、聲音量測軟體設定介面



(a) 自身功率頻譜密度函數圖



(b) 聲音衰減率圖

圖 5、S05 地鐘之聲音頻譜圖

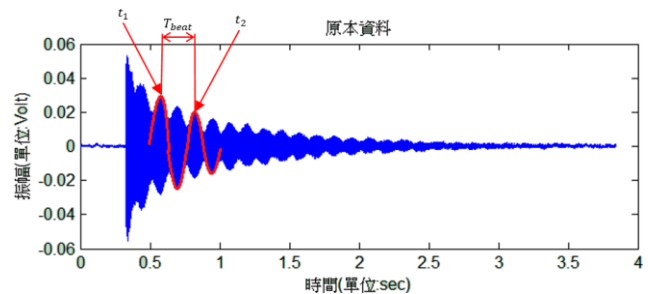


圖 6、重擊週期示意圖

表 1、九種地鐘之物理性質總表

地鐘	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09
融銅溫度	低	低	低	高	高	高	低	低	低
冷卻方式	空冷	砂冷	水冷	空冷	砂冷	水冷	空冷	砂冷	水冷
有無鑲面	有	有	有	有	有	有	無	無	無
重量(g)	1506.9	1502.4	1328.1	1521.9	1240.2	1517.7	1567.6	1652.3	1625.8

表 2、聲音量測分析之實驗儀器型號表

儀器	型號
訊號擷取卡	NI9234
紅色敲擊槌	ME-104/MS
麥克風	LW33326
加速規	27AM1-10

表 3、九種地鐘之時間頻譜圖與聲音頻譜圖總表

	時間頻譜圖	聲音頻譜圖 Gpp(f)
S01		
S02		
S03		
S04		
S05		
S06		
S07		
S08		
S09		

表 4、九種地鐘之聲音特性數據總表

		f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	時間常數
S01	頻率 Hz	1188	1208	3017	3064	3259	3453	3494	0.4902
	頻率比	1.00	1.02	2.54	2.58	2.74	2.91	2.94	
	聲壓 dB 值	100	93.20	80.91	83.88	69.79	66.60	66.33	
S02	頻率 Hz	1113	1144	2848	2863	-	3530	3573	0.6250
	頻率比	1.00	1.03	2.56	2.57	-	3.17	3.21	
	聲壓 dB 值	100	96.86	78.52	75.91	-	47.47	49.32	
S03	頻率 Hz	1122	1144	2658	-	-	3502	3559	0.5747
	頻率比	1.00	1.02	2.37	-	-	3.12	3.17	
	聲壓 dB 值	100	101.55	91.53	-	-	73.39	58.84	
S04	頻率 Hz	1072	1088	2772	2802	-	3492	3561	0.5814
	頻率比	1.00	1.01	2.59	2.61	-	3.26	3.32	
	聲壓 dB 值	100	84.34	85.06	71.33	-	70.13	70.77	
S05	頻率 Hz	1044	1053	2450	-	-	3400	3447	0.6369
	頻率比	1.00	1.01	2.35	-	-	3.26	3.30	
	聲壓 dB 值	100	88.19	88.11	-	-	59.33	64.53	
S06	頻率 Hz	1042	1075	2672	2716	-	3559	3673	0.6289
	頻率比	1.00	1.03	2.56	2.61	-	3.42	3.52	
	聲壓 dB 值	100	88.61	88.88	86.77	-	69.02	62.68	
S07	頻率 Hz	1070	1092	2853	2889	-	3572	3674	0.6211
	頻率比	1.00	1.02	2.67	2.70	-	3.34	3.41	
	聲壓 dB 值	100	97.16	79.29	95.84	-	56.32	62.20	
S08	頻率 Hz	1095	-	2916	-	-	3784	3852	0.5988
	頻率比	1.00	-	2.66	-	-	3.46	3.52	
	聲壓 dB 值	100	-	75.14	-	-	54.14	59.32	
S09	頻率 Hz	1119	1135	2991	-	-	3719	3811	0.4608
	頻率比	1.00	1.01	2.67	-	-	3.32	3.41	
	聲壓 dB 值	100	85.88	83.61	-	-	62.39	51.61	

備註：聲壓 dB 值已經過加權處理

表 5、不同地鐘之聲音特性比較組合

	有無鑲面 之比較	不同融銅溫度 之比較	不同冷卻方式 之差異
配對一	S01,S07 (空冷,融銅溫度高)	S01,S04 (有鑲面,空冷)	S01,S02,S03 (有鑲面,融銅溫度高)
配對二	S02,S08 (砂冷,融銅溫度高)	S02,S05 (有鑲面,砂冷)	S04,S05,S06 (有鑲面,融銅溫度低)
配對三	S03,S09 (水冷,融銅溫度高)	S03,S06 (有鑲面,水冷)	S07,S08,S09 (有鑲面,融銅溫度高)

表 6、地鐘之重擊效應驗證表

地鐘	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S09
第一個發聲頻率 f_1 (Hz)	1188	1113	1122	1072	1044	1042	1070	1119
第二個發聲頻率 f_2 (Hz)	1208	1144	1144	1088	1053	1075	1092	1135
重擊頻率 f_{beat} (Hz)	10	15.5	11	8	4.5	16.5	11	8
起始時間 t_1 (s)	0.2995	0.1111	0.2396	0.2237	0.5822	0.5484	0.3132	0.3261
終止時間 t_2 (s)	0.4055	0.1785	0.3332	0.3431	0.8217	0.6127	0.4039	0.4494
重擊週期 T_{beat} (s)	0.106	0.0674	0.0936	0.1194	0.2395	0.0643	0.0907	0.1233
重擊週期之倒數 $\frac{1}{T_{beat}}$ (Hz)	9.43	14.84	10.68	8.38	4.18	15.55	11.03	8.11

Discussions on Sound Characteristics of Bells for Different Decoration and Heat Treatment

Bor-Tsuen Wang¹, De-Jiang Liu², Sheng-Lin Chen², Chang-Yu Yang²

¹Professor, ²Student

Department of Mechanical Engineering
National Pingtung University of Science and Technology

Ying-Hui Wu³

³Machinery Division National Nei-Pu Senior Agricultural-Industrial Vocational School

ABSTRACT

Bell is a typical Chinese cultural product and frequently used in temple for religious purposes. Bell reveals different design of decoration on the surface. Different material formulation and heat treatments may affect the percussion sound quality of the bell. This work aims to use the same

copper material and make nine bells for with and without decoration on the surfaces as well as different copper melting temperatures and heat treatments so as to investigate the percussion sound characteristics among the nine bells. The bells are suspended and struck with mallet to generate percussion sound that is measured by the microphone via FFT analyzer. The time domain response and its corresponding time-frequency plot as well as sound spectrum can be obtained. Results show other than the bell's physical properties decorations on the surface and material heat treatment will result in different sound characteristics. The bells made with high melting temperature produce low fundamental frequencies and longer lasting sound, while the bells with the decoration on the surface reveal higher fundamental frequencies. The experimental approach and analysis method in this work to explore the percussion sound of different bells can be adopted for future study, and the differences regarding the sound spectrum among the bells for decorations and material treatments can be useful for the bell design and manufacture.

Keywords: bell, sound measurement, sound spectrum.