

小提琴拉弓演奏與撥奏之聲音特性探討

王栢村¹、張釗銘¹、楊昶昱¹、吳盈輝²

¹ 國立屏東科技大學 機械工程系

² 國立內埔高級農工職業學校 機械科

wangbt@mail.npust.edu.tw

摘要

小提琴屬於四弦的弓弦樂器，是現代管弦樂團弦樂組中最重要的樂器之一，小提琴主要的特點在於有豐富且廣泛的音律，透過不同的演奏方式會產生不同的聲音特性，因此本文透過聲音量測分析進行小提琴之聲音特性探討。首先，透過頻譜分析儀及聲音量測軟體進行實際量測分析，可分別取得拉弓演奏或撥奏琴弦時的時間域響應及其對應的時頻圖與聲音頻譜，進而探討不同演奏方式對聲音特性之影響。結果顯示拉奏與撥奏的發聲頻率幾乎一樣，有差別的地方主要為聲音持續時間的長短以及衰減率之差異，在拉奏可以精確控制聲音長短，撥奏如同打擊樂器，聲音出現快，消失也快，拉奏所測得的高頻峰值也比撥奏明顯。另外，針對不同琴弦進行探討可發現細弦高頻峰值較粗弦明顯，且越粗的弦波峰越密，衰減率也有變大的趨勢。本文透過聲音量測分析的手法，探討拉弓演奏或撥奏不同狀態下的小提琴琴弦之聲音特性，此方法未來可提供弦樂器與相關樂器之研究。

關鍵詞：小提琴、時間域圖、頻譜圖、時頻圖。

1. 前言

小提琴在古典音樂中是重要且常見的樂器，小提琴的音色獨特且具有魅力，依照每個小提琴的製作方法不同，每把小提琴的聲音又有優劣高低之分。在悠久的製琴歷史中，許多有名制琴師所製出的名琴被大家廣為稱頌，認為名琴音色溫暖、寬厚、純淨、且穿透力強，但至今，對於名琴的說法都沒有確切的依據，僅憑著人耳所聽見的印象去判斷音色的好壞。

為了得知小提琴之聲音特性，透過實際的聲音量測進行探討，王等人[1]針對竹製打擊樂器進行聲音量測分析，得知竹管樂器組的音準頻率誤差在 0.57-2.29% 之間，可判斷此竹琴音準不佳，且透過衰減率分析可得知竹材料主要為高衰減率特性材料。Mellody and Wakefield[2]透過觀察時頻圖的趨勢來了解小提琴的聲音特性，結果顯示各峰值頻率與第一個峰值頻率比值呈現整數倍的關係，且在是否抖音時的低頻頻率之峰值幾乎沒有影響。Kičák [3]透過聲音量測探討共鳴孔對音箱鼓的影響，對不同尺寸直徑的共鳴孔分別進行聲音量測，將量測之訊號經頻率分析後探討其結果，最後驗證赫姆霍茲共振現象。王等人[4]由實驗探討木製青蛙之聲音特性，分別從不同邊界與不同敲擊方式等方面進行實驗，將量測取得之時間域響應，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，結果顯示桌面邊界效應會使低頻率峰值有提高之現象。

透過分析與實驗的手法了解小提琴之聲音與振動特性。Runnemalm and Molin[5]針對小提琴進行實驗模態分析，得知 400 至 600 Hz 的模態有共振的現象，且在第四個模態振型是屬於空氣模態所產生之聲音。Elejabarrieta et al.[6]針對吉他的共鳴箱進行有限元素分析之模態分析，結果顯是音箱為最低頻率之模態，因此吉他共鳴箱內部之空氣會影響低頻之振動模態，且也會影響其自然頻率。Fletcher and Rossing[7]透過電子儀器掃描振動之小提琴探討其振動特性，並研究小提琴之發聲機制，結果顯示小提琴主要發聲機制為弦的振動，其聲音主要頻率為 1 Hz 至 5000 Hz。

本文透過聲音量測分析求得到小提琴之時間域圖、頻譜圖與時頻圖，進而探討小提琴琴弦的發聲機制，藉此了解琴弦影響小提琴聲音之可能因素，盼望此次實驗結果可用於小提琴聲音的研究上。

2. 聲音量測分析

本章節主要說明小提琴之聲音量測方法，並且透過拉奏及撥奏之不同激發方式進行量測，進而探討小提琴之聲音特性。圖 1 為小提琴與弓弦之結構示意圖，小提琴共有四條不同粗細之弦，由細至粗分別是 E 弦、A 弦、D 弦與 G 弦，小提琴面版屬於圓弧狀，因此在小提琴中間處厚度較厚，邊緣處厚度較薄，小提琴總長為 59.5 cm；圖 2 為小提琴之聲音量測實驗儀器架構圖，將小提琴放至桌面上，利用麥克風與聲音量測軟體針對小提琴進行聲音量測，將取得之時間響應訊號輸入至振動噪音量測軟體內，進行快速傅立葉轉換及短時傅立葉轉換後，求得聲音頻譜與時間頻譜圖(時頻圖)，並將時間響應訊號透過衰減率分析求得聲音衰減率，藉此探討小提琴之聲音特性與發聲機制。



圖 1 小提琴與弓弦之結構示意圖

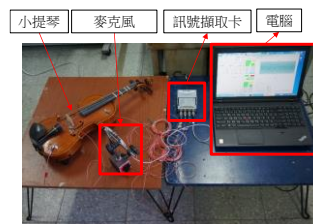


圖 2 小提琴之聲音量測實驗儀器架構圖

3. 小提琴之聲音特性探討

本節主要針對小提琴四條不同粗細之琴弦進行聲音量測分析，探討小提琴琴弦之聲音特性，瞭解琴弦的粗細對聲音之影響，並利用拉奏與撥奏所發出之聲音，比較拉奏與撥奏的聲音特性差異，後續將拉奏之聲音響應訊號分成三個時域分別進行分析，進而探討小提琴在拉奏時各時域之聲音特性。

3.1 小提琴不同琴弦之差異

透過聲音量測分析求得聲音頻譜與時頻圖，進而探討小提琴之聲音特性，表 1 為小提琴琴弦拉奏之聲音頻譜圖與時頻圖總表，由聲音頻譜圖中可發現細琴弦在高頻率峰值較粗琴弦明顯，而越粗的琴弦波峰越密，在時頻圖中也可以得知其現象，且時頻圖中可發現四條琴弦發聲之時間長度與拉奏的時間長短幾乎一致，但在較低頻率之聲音會持續一小段時間之現象。表 2 為小提琴撥奏之衰減率圖總表，由表中可以得知越粗的琴弦其衰減率也越大。表 3 為小提琴拉奏之發聲頻率總表，由表 3 中可得知四琴弦頻率比皆為整數之倍頻，因此琴弦皆具備簡諧倍頻音之聲音特性，四條琴弦由細到粗分別是 E、A、D 與 G，越粗的琴弦發聲頻率越低。

表 1 小提琴琴弦拉奏之聲音頻譜圖與時頻圖總表

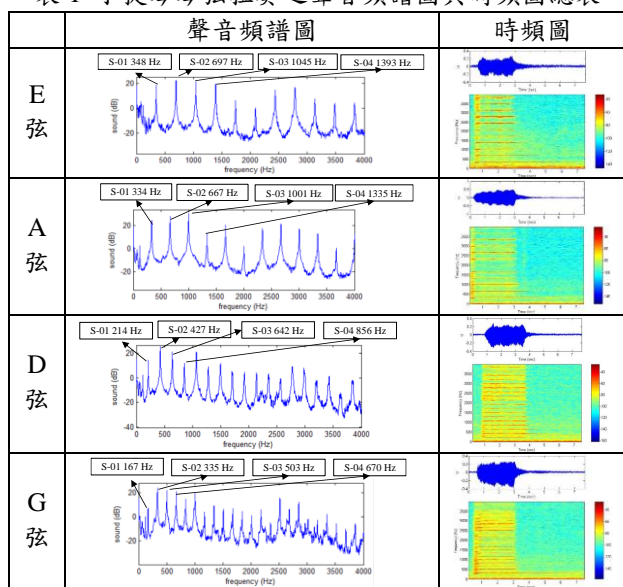


表 2 小提琴撥奏之衰減率圖總表

	衰減率圖	衰減率
E 弦 撥奏		2.11
A 弦 撥奏		2.06
D 弦 撥奏		3.64
G 弦 撥奏		8.58

表 3 小提琴拉奏之發聲頻率總表

	頻率數	發聲頻率 (Hz)	聲音壓力位準 (dB)	頻率比
E 弦 拉奏	S-01	348	18.66	1
	S-02	697	22.42	2.00
	S-03	1045	21.34	3.00
	S-04	1393	19.2	4.00
A 弦 拉奏	S-01	334	27.02	1.00
	S-02	667	30.33	2.00
	S-03	1001	32.46	3.00
	S-04	1335	13.04	4.00
D 弦 拉奏	S-01	214	16.86	1.00
	S-02	427	25.65	2.00
	S-03	642	22.7	3.00
	S-04	856	13.1	4.00
G 弦 拉奏	S-01	167	5.191	1.00
	S-02	335	24.46	2.01
	S-03	503	22.54	3.01
	S-04	670	21.16	4.01

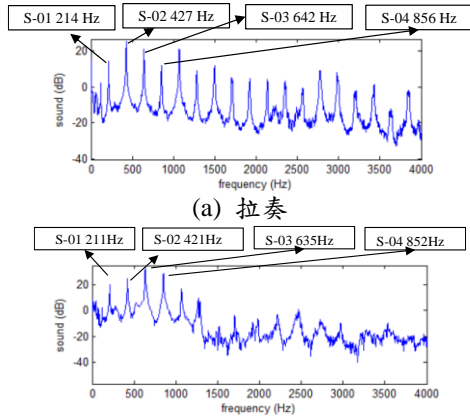
3.2 拉奏與撥奏琴弦對聲音特性之影響探討

依照不同演奏方法，會發出不同的聲音及音色，為探討小提琴聲音特性是否因不同演奏方法而有所改變，因此透過觀察與對比拉奏與撥奏琴弦之頻譜圖與時頻圖進而探討其差異性。圖 3 為小提琴之拉奏與撥奏琴弦示意圖，在小提琴發聲上有用弓弦拉奏與手指撥奏兩種方式，利用琴弓摩擦琴弦發出聲音稱為拉奏，利用手指撥琴弦發出聲音稱為撥奏。

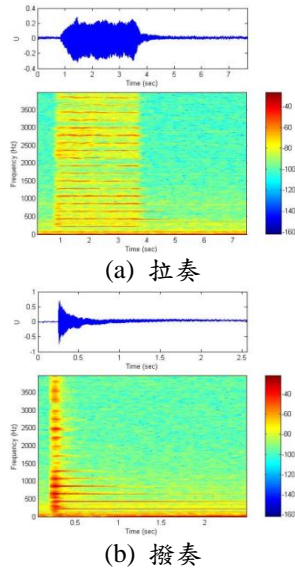
圖 4 為 D 弦拉奏與撥奏琴弦之聲音頻譜圖，由圖中可以發現拉奏高頻之峰值較撥奏明顯，且撥奏的聲音壓力平均比拉奏還要高，但平時所聽到小提琴之聲音主要以拉奏為主；在實際聽小提琴之聲音時，拉奏之聲音遠大於撥奏之聲音，推測是因為拉奏時擁有足夠的時間讓音箱發生共鳴，反之，在撥奏時聲音短暫，使音箱還未產生共鳴而使聲音有較小之現象，因此拉奏時聽起來的聲音才會比撥奏來的大。圖 5 為 D 弦拉奏與撥奏琴弦之時頻圖，表 4 為小提琴之 D 弦拉奏與撥奏發聲頻率總表，由圖 5 中可得知拉奏時從摩擦發出聲音，到聲音維持，最後弓弦離開琴弦之聲音衰減的過程，撥奏時如同一般打擊樂器隨之衰減，在拉奏與撥奏之發聲頻率幾乎一致，基音頻率(S-01)僅有 3 Hz 之差異，不同的只有聲音持續時間的長短以及衰減率之差異。



(a) 拉奏 (b) 撥奏
圖 3 小提琴之拉奏與撥奏琴弦示意圖



(a) 拉奏 (b) 撥奏
圖 4 D 弦拉奏與撥奏琴弦之聲音頻譜圖



(a) 拉奏 (b) 撥奏
圖 5 D 弦拉奏與撥奏琴弦之時頻圖

表 4 小提琴之 D 弦拉奏與撥奏發聲頻率總表

	頻率數	發聲頻率 (Hz)	聲音壓力位準 (dB)	頻率比
D 弦拉奏	S-01	214	16.86	1.00
	S-02	427	25.65	2.00
	S-03	642	22.7	3.00
	S-04	856	13.1	4.00
	S-05	1070	21.69	5.00
D 弦撥奏	S-01	211	23.22	1
	S-02	421	26.76	2.00
	S-03	635	34.58	3.01
	S-04	852	29.31	4.04
	S-05	1068	17.47	5.06

3.3 小提琴拉奏之不同時域的聲音特性探討

本小節主要針對小提琴拉奏之不同時域的聲音特性進行探討，進而瞭解其聲音特性之差異。圖 6 為 D 弦拉奏之時間域圖，圖中將時間域響應訊號，分成 3 個時域，時域 1 為弓弦開始摩擦琴弦振動，時域 2 為琴弦到達穩定之區域，時域 3 是弓弦停止摩擦琴弦至琴弦自然衰減之過程。

表 5 為小提琴拉奏之不同時域聲音頻譜圖與時頻圖總表，從表中可以得知時域 1 之聲音頻譜較為毛躁，是因為琴弦未穩定振動所造成的，且在時頻圖中可得知低頻出現後，高頻才隨之出現；時域 2 聲音頻譜之波型較為平順，是因為琴弦以穩定之振動，且在時頻圖中可看出各發聲頻率皆有出現，隨著拉弓的持續，波型保持穩定；時域 3 為停止弓弦摩擦，其聲音頻譜與第 1 階段頻譜相似，在時頻圖中可以看出高頻率之聲音很快就衰減至零，反之，低頻率之聲音則較慢衰減；表 6 為小提琴拉奏時不同時域之發聲頻率總表，三個時域之發聲頻率幾乎一致，其基音頻率(S-01)誤差為 2 Hz。

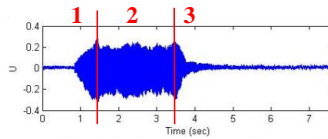


圖 6 D 弦拉奏之時間域圖

表 5 小提琴拉奏之不同時域聲音頻譜圖與時頻圖總表

	聲音頻譜圖	時頻圖
第 1 段		
第 2 段		
第 3 段		

表 6 小提琴拉奏時不同時域之發聲頻率總表

	頻率數	發聲頻率 (Hz)	聲音壓力位準 (dB)
第 1 段	S-01	214	4.332
	S-02	428	16.01
	S-03	640	11.27
	S-04	854	5.956
第 2 段	S-01	213	16
	S-02	427	27.61
	S-03	641	23.76
	S-04	855	15.54
第 3 段	S-01	212	20.16
	S-02	422	23.22
	S-03	636	20.18
	S-04	850	13.02

4. 小提琴不同撥弦位置對聲音之影響探討

本章節主要探討琴弦在不同位置的撥奏對小提琴聲音之影響，藉此瞭解不同位置撥弦之聲音特性。圖 7 為小提琴不同位置撥奏示意圖，將小提琴之琴弦分為前端、中間與後端，並進行聲音量測分析，探討其聲音特性，表 7 為小提琴不同位置撥奏之聲音頻譜圖與時頻圖總表，表 8 為小提琴之不同位置撥奏之發聲頻率總表，從表 7 中可發現聲音頻譜在中間撥奏時較前端及後端偶數頻率有較低的趨勢，是因為在琴弦中間會有節點，因此導致中間撥奏時的聲音頻譜，偶數頻率都有下降之趨勢，在表 8 中可以發現中間撥奏時 S-02 與 S-04 之聲音壓力位準有較低之趨勢，更加確認琴弦在中間撥奏時所發出之聲音，其偶數頻率會較不明顯之現象。



圖 7 小提琴不同位置撥奏示意圖

表 7 小提琴不同位置撥奏之聲音頻譜圖與時頻圖總表

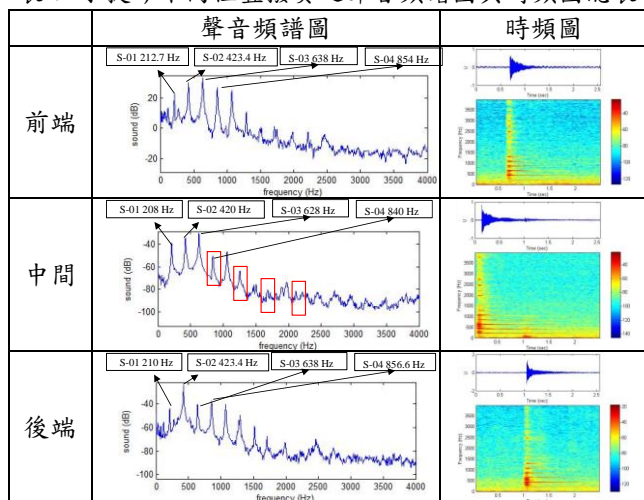


表 8 小提琴之不同位置撥奏之發聲頻率總表

	頻率數	發聲頻率 (Hz)	聲音壓力位準 (dB)	頻率比	衰減率
前端	S-01	212.7	22.38	1.00	5.77
	S-02	423.4	29.8	1.99	
	S-03	638	33.18	3.00	
	S-04	854	26.52	4.02	
中間	S-01	208	28.14	1.00	6.11
	S-02	420	30.74	2.02	
	S-03	628	34.13	3.02	
	S-04	840	15.91	4.04	
後端	S-01	210.7	20.59	1.00	6.33
	S-02	423.4	37.36	2.01	
	S-03	638	23.63	3.03	
	S-04	856.6	25.97	4.07	

5. 結論

本文主要運用聲音量測分析，求得到小提琴之時間域圖、頻譜圖與時頻圖，探討小提琴拉弓演奏與撥奏之聲音特性，與探討小提琴不同琴弦之差異，並且透過不同位置撥弦探討小提琴不同位置激發之聲音特性，綜合以上探討可得到以下結論：

1. 拉奏與撥奏的發聲頻率幾乎一樣，有差別的地方主要為聲音持續時間的長短以及衰減率之差異，在拉奏可以精確控制聲音長短，撥奏如同打擊樂器，聲音出現快，消失也快，拉奏所測得的高頻峰值也比撥奏明顯。
2. 在不同琴弦中可發現細琴弦高頻峰值較粗弦明顯，且越粗的弦波峰越密，其衰減率也有變大的趨勢。
3. 在中間撥奏時較兩端偶數頻率有較低的趨勢，是因為在琴弦中間會有節點，因此導致偶數頻率都有下降之趨勢，並且在頻率總表中更能顯示其趨勢。

6. 參考文獻

- [1] 王栢村，俞均翰，林冠廷，楊博舜，王昱棠，黃家賢，吳盈輝，「竹製打擊樂器之聲音特性探討」，第二十三屆中華民國振動與噪音工程學術研討會，台北，論文編號：B-5，2015。
- [2] M. Melody and G. H. Wakefield, "The time-frequency characteristics of violin vibrato: modal distribution analysis and synthesis," *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 107, No. 1, pp. 598-611, 2000.
- [3] P. Kičák, "Frequency and Dynamics Analysis of Bass Tone of Cajon Box Drum," *34th International Acoustical Conference - EAA Symposium*, Slovakia, 2009.
- [4] 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，論文編號：B-3，2015。
- [5] A. Runnemalm and N. E. Molin, "On operating deflection shapes of the violin body including in-plane motions," *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 107, No. 6, pp. 3452-3459, 2000.
- [6] M. J. Elejabarrieta, A. Ezcurra and C. Santamaria, "Coupled Modes of the Resonance Box of the Guitar," *Acoustical Society of America*, Vol. 111, No. 5, pp. 2283-2292, 2002.
- [7] N. H. Fletcher and T. D. Rossing, *The Physics of Musical Instruments*, 2005.

Discussions on Violin Playing Sound Characteristics for Pull Bow Playing and Picking

Bor-Tsuen Wang¹, Chao-Ming Chang¹,
Chang-Yu Yang¹, Ying-Hui Wu²

¹Department of Mechanical Engineering
National Pingtung University of Science and
Technology

²National Nei-Pu Senior
Agricultural-Industrial Vocational School of
Machinery Division

ABSTRACT

Violin is one of string musical instruments and the most important one in modern orchestra strings. Violin has the rich and wide musicality by different playing skills to produce different sound characteristics. This work measures the violin playing sound and analyzes its sound characteristics. First, with the use of FFT analyzer and sound measurement software to do practical measurement, we can get the time response of sound and its sound spectrum as well as spectrograms for pulling bow playing and picking to compare the sound response. The playing sounds from bow playing and picking have almost the same peak frequencies but different peak amplitudes. The continuity of playing is characterized by the decay rate of sound. The picking sound decays rapidly similar to percussion instruments, while the bow playing sound can control the playing length of sound and reveal higher amplitudes of sound at higher harmonic frequencies. For different strings, the thinner strings reveal higher resonance frequencies than the thicker ones, and the thicker strings reveal the larger decay rates. This work performs practical sound measurement of different playing by bow playing and picking the violin strings. The measurement and analysis approaches can be adopted for other strings instruments as well.

Keywords: violin, time response, spectrum, spectrograms.