

以樂音指標探討不同因素對二胡音質之影響

翁榮源¹、徐茂濱²、李十三³

摘 要

有鑑於演奏者或製琴師經常以「亮不亮」來描述琴音，然而目前本研究團隊先前已建立的二胡的樂音指標中（純淨度、渾厚度、HLT 音量均衡度與 HLC 尖銳度）尚無亮度指標可供評量，故本研究延續先前樂音指標之建立，觀察得知較「亮」的琴音與 2000~8000Hz 頻帶之音量多寡有關，進而訂定出二胡之亮度樂音指標。

本研究亦探討各種客觀因素對二胡音質的影響。在時間因素方面，多數的胡琴之純淨度會隨著時間的增加而變差；在濕度因素方面，多數的胡琴在濕度約 40% 時之整體表現較在濕度 70% 時為差；琴皮浸泡處理後，其渾厚度（低頻）與純淨度之表現均較佳；當琴皮有裂縫時，會使得整體表現變差，尤其是低頻音量所佔之比重會過多，使得聲音聽起來的感覺非常「悶」；從琴皮聲振實驗中，證實琴皮之最低共振頻率，一般約在 850~1050Hz 之間，並非如過去所認為在 450~500Hz 之間。

關鍵詞：二胡、聲音品質、樂音指標、心理聲學、亮度、濕度、浸泡

一、前言

在歷史演進的過程中，國樂並非是一成不變的，它或多或少都經歷許多改變，近代由於受到西方文化與科學的影響，導致中國人思維的改變，國樂受到西方音樂的影響逐漸加深，二十世紀中，民族音樂大師劉天華先生將西洋樂器的演奏技巧導入二胡的領域中並加以改革，因而激勵有志於民族音樂的人不斷地去改革，使得中國樂器能保有原來的特色，同時具備西方樂器的優點。

近年來中國大陸與台灣雖然已有許多製琴師從事二胡的製作，但是在二胡改良方面，仍有許多人抱持著傳統觀念，不願意將研究所得公諸於世，使得研製的心得無法交流、製作的技術難以承襲，另有些人由於受限於該製琴領域未能與其他專業技術配合，故使得二胡在樂器改良方面或停滯不前、或進步有限。

國外對小提琴之研究歷史已有三百五十年。1977 年 Hutchins[1] 蒐集 1975 年至 1993 年間關於小提琴聲學研究之各領域之論文一百二十餘篇，提供給後人極為豐富的參考資料。1963 年 Schelleng[2] 利用類比電路的方式研究小提琴振動發生的情形。1981

¹台灣科技大學機械工程研究所 碩士研究生

²台灣科技大學機械工程研究所 副教授

³民族樂器有限公司 製琴師

年 Hutchins[3]利用雷射光射向曲面鏡，曲面鏡再將雷射光射至不同方向，有的雷射光射至面板上，有的雷射光射至待測物後反射至面板上，由於待測物體表面之變化而產生相差，最後在面板上形成光干涉的情形，而反應出物體表面形狀的變化，藉以瞭解小提琴表面之振動情形，而得到全像圖

(Hologram)。1986年 Roberts[4]最早利用有限元素法對小提琴從面板到完整的琴身進行研究分析。對於小提琴之聲音品質方面，1991年 Dünnwald[5]所提出的文獻中，他錄製七百多把不同品質的小提琴，並且使用濾波器將琴音的雜音濾除而保留純音部份，而且定義三個聲音指標，包括鼻音現象、聲音刺耳與聲音乾淨等三個聲音指標。

國內對傳統弦樂器中二胡研究至今已將近八十年，劉天華最早吸收西洋樂器的演奏技巧帶入國樂，並且進行二胡技法的研究及樂曲的創作。鄭德淵[6~7]將各種中國樂器的沿革與發展、擦弦樂器…等作有系統的整理，其中有關二胡的部份提到運弓與弦質對音質的影響、各個元件的形式與功能，之後將國內外對於樂器之相關論文與樂器改良加以歸納整理。林昱庭[8]首先利用分析儀器的方式，比較南胡之不同弦長的音色差異，以確立南胡的空弦弦長；同時利用電腦硬體、軟體等工具，藉由頻譜分析方式進行中國樂器的聲學研究[9]；並匯集幾位二胡演奏家，試圖找出主客觀之間的關係，但並未做進一步客觀的剖析[10]。田英志[11]利用由問卷調查的方式得到主觀評價，並且聯結客觀分析之數據，制定出二胡的樂音指標（包括純淨度、厚實度與音量均衡度），並且提出產生狼音原因與改良方法。莊肯堯[12]制定出二胡的尖銳度指標，並且將厚實度指標加以改良而制定出渾厚度指標，另外對影響琴音甚鉅的蟒皮與琴碼，也分別探討其對音質之影響。

在樂器上結合聲學與心理聲學的研究已開始受到重視，Fletcher[13]詳細將所有西洋樂器的聲學特性加以整理與解釋；David[14]除了說明聲音與聽覺的特性之

外，也嘗試利用心理聲學的角度來闡述音色、樂器特性與音響環境。Zwicker[15]探討心理聲學的基本理論，包括遮蔽效應、時間效應等，並且整理各種用來描述人類對聲音的心理感受指標，這些指標包括響度（Loudness）、銳度（Sharpness）、變動強度（Fluctuation Strength）、粗糙度（Roughness）與純音調（Tonality）等。

1. 二胡的樂音指標

1.1 建立客觀的樂音指標

建立樂音指標的第一步，首先必須先成立聆聽評審團（jury），其成員應包括演奏家、製琴師、音樂老師等，對其進行訪談與問卷調查，並整理目前對二胡聲音的一些主觀評價意見，重點在於要儘可能的詳實調查在主觀評價方面的敘述，才能為未來尋找及定義客觀的聲音指標上，提供明確的方向。

收集完主觀的聲音評價後，便可根據主觀評價上的好壞，找出數個在性能上差異性較大的胡琴來進行客觀評價，以便找出主客觀評價之間的關係。而在進行初步的聲音指標定義時，這些待量測的胡琴，其主觀評價的差距越大越好，如此才易於找到主客觀之間的關係，然後定義出聲音指標。最後再利用問卷調查的方式來驗證初步擬訂的樂音指標是否與主觀評價相符，如果有不夠完善的地方，則須進一步修正，讓樂音指標能更精確地表達出主觀的感受。

1.2 均衡度樂音指標

1.2.1 HLT 音量均衡度樂音指標

田英志[12]述及在二胡的音域中，高音與低音之音量相差越小，其音量均衡度就越好。由於低音之基音與泛音數量較多且振幅也較大，故聲音的音量自然就較大；至於高音則因其基音與泛音的數量較少，故音量自然較小，又加上外弦在第二把位（E2音）之後的音階，高頻泛音的音量明顯不足，所

以聲音音量相對於低音而言就更是小了很多。二胡的有效音域約有十八個音階，但在演奏上或作曲上很少會用到最後四個音階，所以此音量均衡度之定義則以前 14 個音階來進行分析。

將各個音階的聲壓值取絕對平均差的平均值，即為均衡度值。絕對平均差(與資料集內平均值的絕對差距)的平均值是一種測量資料集內變異的方式，若資料集內的變動越大，則此值也會跟著增大。均衡度值越高，代表該琴之整體聲壓起伏大，也表示音量均衡度較差。

$$\text{總均衡度值} = \frac{1}{14} \sum_{i=1}^{14} |SPL_{average} - (SPL_{tone})_i| \quad (3-1)$$

$$SPL_{average} = \frac{1}{14} \sum_{n=1}^{14} SPL_n \quad (3-2)$$

$SPL_{average}$: 所有音階之音量的平均值 (dBA)

SPL_{tone} : 各單音之音量 (dBA)

1.2.2 Zwicker 音量均衡度樂音指標

若將各個音階的響度值取絕對平均差的平均值，即以響度為計量基礎的均衡度樂音指標。響度均衡度值愈高，代表人耳之聽覺感知該琴整體音量起伏大，也表示響度均衡度較差。

$$\text{響度均衡度值} = \frac{1}{14} \sum_{i=1}^{14} |N_{average} - (N_{note})_i| \quad (3-3)$$

$$N_{average} = \frac{1}{14} \sum_{n=1}^{14} (N_{note})_n \quad (3-4)$$

$N_{average}$: 所有音階之響度的平均值 (sone)

N_{note} : 各單音之響度 (sone)

1.3 尖銳度樂音指標

1.3.1 HLC 尖銳度樂音指標

莊肯堯[12]提到有些二胡在拉奏時常會出現尖銳的聲音，尤其在拉奏第二把位之後的音階 (E2 音以後) 時特別明顯。經過演奏家及製琴師在實際聆聽多把琴之後，認為聲音之所以聽起來尖銳，主要係因在 8,000Hz 至 12,000Hz 之間的音量佔整體音量之比例過高所致，因此定義尖銳度樂音指標為 8,000Hz 至 12,000Hz 之間的音量佔整體音量之比例，由公式 3-5 所示。此外，一把琴通常在高音時，較容易出現「尖銳」的聲音，所以尖銳度指標是以 A3 音、B3 音與 C3 音等三個音階來進行分析。

$$\text{HLC 尖銳度值}(\%) = \frac{P_{high}}{P_{total}} \quad (3-5)$$

其中

$$P_{high} = \sqrt{10 \left(\frac{SPL_{8000}}{10} \right) + 10 \left(\frac{SPL_{10000}}{10} \right) + 10 \left(\frac{SPL_{12000}}{10} \right)} \times P_{ref} \quad (3-6)$$

$$P_{total} = \sqrt{10 \left(\frac{SPL_{total}}{10} \right)} \times P_{ref} \quad (3-7)$$

SPL_{8000} : 8000Hz (1/3 Octave) 頻帶之音量值

SPL_{10000} : 10000Hz (1/3 Octave) 頻帶之音量值

SPL_{12000} : 12000Hz (1/3 Octave) 頻帶之音量值

P_{high} : 8k, 10k, 12k 1/3-Octave band 之絕對聲壓值的總合

P_{total} : 總音量之絕對聲壓值

1.3.2 Zwicker 銳度樂音指標

Zwicker[15]所述及的銳度模型，描述銳度時須要先給予一個量化的數值，以作為其他聲音的參考與比較，為了定義此數值，故以中心頻率為 1,000Hz，60dB 的窄頻 (頻帶寬度為 1 Bark) 噪音為參考聲音，此銳度值定義為 1 acum。

Zwicker 銳度之計算式 (3-8) 中，分母部份之積分式得到總響度，分子部份之積分式中，必須再乘上權重因子 $g(z)$ 及臨界頻帶率。權重因子 $g(z)$ 為臨界頻帶率的函數，當臨界頻帶率超過 16 Bark (3,000Hz) 以上時，函數曲線開始上揚，當臨界頻帶率達到 24 Bark 時，該函數值為 16 Bark 時之函數值的四倍大小，由權重因子之定義也可知聲音的尖銳與否，主要是由高頻音所支配。

$$S = 0.11 \frac{\int_0^{24\text{Bark}} N' g(z) z dz}{\int_0^{24\text{Bark}} N' dz} \quad \text{單位：acum} \quad (3-8)$$

$g(z)$ ：權重因子 (Weighting factor)

$$g(z) = 1 \quad z \leq 16$$

$$g(z) = 0.066 \cdot e^{0.171z} \quad z > 16$$

S ：Zwicker 銳度值 (sharpness)

N' ：比響度 (specific loudness)

1.4 亮度樂音指標

演奏者或製琴師經常以音色「亮」否來描述聽覺感受，由主觀評價中得知亮度較佳的琴，其中頻 (2000Hz) 與高頻 (4000Hz 與 8000Hz) 佔總音量比重會大於亮度較差的琴，因此琴音在 2000 Hz~8000Hz 頻帶音量佔總音量的比重將主導聆聽者對亮度的感覺。

本研究利用 1/1 八音程頻帶來分析二胡的聲音，經由計算得知 2000 Hz~8000Hz 頻帶之聲壓佔整體聲壓百分比，其公式如下所示。

$$\text{亮度值} = \frac{P_{2k-8k}}{P_{total}} \quad (3-9)$$

$$P_{2k-8k} = \sqrt{10 \left(\frac{SPL_{2000}}{10} \right) + 10 \left(\frac{SPL_{4000}}{10} \right) + 10 \left(\frac{SPL_{8000}}{10} \right)} \times P_{ref}$$

(3-10)

P_{2k-8k} ：2000 Hz~8000Hz 之絕對聲壓值

P_{total} ：全頻之聲壓值 (250Hz 至 8000Hz)

P_{ref} ： 20×10^{-6} N/m²

2. 客觀因素對二胡音色影響

製琴師以其多年的製琴經驗，體認影響二胡音色最主要的元件是蟒皮，其中時間與濕度因素對蟒皮的影響、琴皮的調質處理與琴皮缺陷等均會對於二胡的樂音品質產生影響。本節將針對不同的胡琴琴，探討在不同的客觀因素下對二胡音色的影響。

2.1 時間因素對於音色的影響

演奏者或製琴師主觀上認為二胡之音色會隨著時間的增加而改變，但是其影響性缺乏科學方法之驗證，本節將探討時間因素對二胡在音色上的影響，並且分析其優缺點。

本實驗共量測六把琴，分別編號為 A 琴、B 琴、C 琴、D 琴、E 琴與 F 琴等。另外，琴皮厚度差異較大的胡琴分別是 A 琴、C 琴與 F 琴，C 琴的厚度最厚 (0.63mm)，A 琴厚度適中 (0.55mm)，F 琴的厚度最薄 (0.38mm)。

本實驗次數總計三次，第一次實驗之時間為民國 94 年 4 月，第二次實驗之時間為民國 94 年 7 月，第三次實驗之時間為民國 94 年 12 月。實驗期間 (4 月~12 月)，六把琴皆存放於室內環境。

2.1.1 主觀評價

第一次實驗的主觀評價方面，演奏者認為 A 琴的雜音較大，聽起來覺得「悶」而且音量小，靈敏度也差一點；B 琴的雜音較

大；C 琴的雜音量中等，內弦與外弦的平均音量較小；D 琴與 E 琴的雜音量中等；F 琴聽起來覺得比較「悶」、不夠「圓潤」，同時靈敏度也不夠。

第二次實驗的主觀評價方面，演奏者認為 A 琴音色表現中等，純淨度較佳；B 琴音色表現比較好，但是純淨度較差；C 琴在高音時音色之表現比較好，純淨度較佳；D 琴音色之表現較差，高音時音量較小，而且高音的音量較不均衡；E 琴音色之表現比較較差，高音的音量比較不均衡，而且有狼音發生；F 琴高音的音量比較不均衡。

第三次實驗的主觀評價方面，演奏者認為 A 琴的雜音較大；B 琴、C 琴、D 琴與 E 琴等四把琴的音量比較接近，但是都有雜音產生，甚至拉空弦時雜音也較多；F 琴聲音特別「薄」，沒有特別的雜音，第三把位與前面兩個把位的音量差別很大，感覺高音音量比較少。

依據製琴師與演奏者的主觀感受，演奏者拉琴時與製琴師在蒙皮製作過程中，都認為 A 琴在整體上而言，在各音域中的音色表現皆優於 C 與 F 兩把琴，只有在空弦 D1 音時之音量表現較差一點；C 琴則因其厚度過厚，在音色上容易令人產生「悶」與「不亮」的感覺；至於 F 琴則因為其蟒皮在三把琴當中最薄，不但音色易令人感覺較「尖銳」，且純淨度表現也較差。

2.1.2 客觀指標分析

從客觀分析的數據中，除了 B 琴之外，其他五把琴的純淨度會隨著時間增加而呈現遞增趨勢，代表純淨度變得愈差，因此時間因素對二胡音色之影響中，主要在純淨度之表現方面。製琴師認為純淨度變得愈差，主要是由於運弓時在琴弦上的氧化層與弓毛磨擦所致，使得雜音量增加；另外，六把琴的尖銳度也會隨著時間增加而呈現遞增趨勢，代表尖銳度變得愈差，如圖 3-1 至圖 3-6 所示。

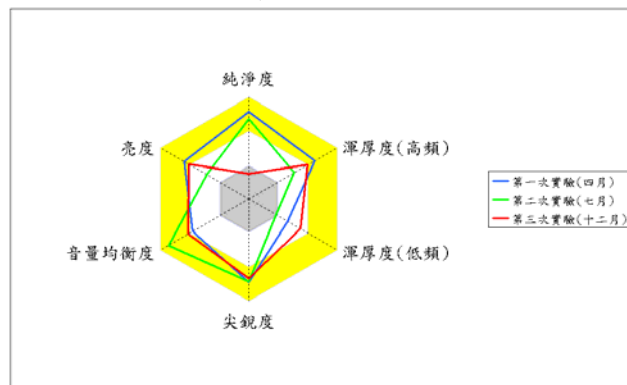


圖 3-1 A 琴之樂音指標雷達圖

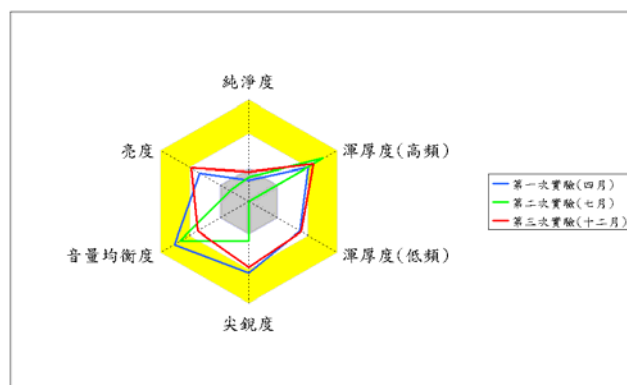


圖 3-2 B 琴之樂音指標雷達圖

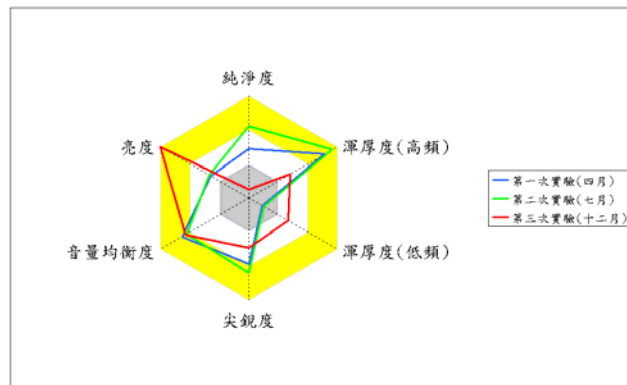


圖 3-3 C 琴之樂音指標雷達圖

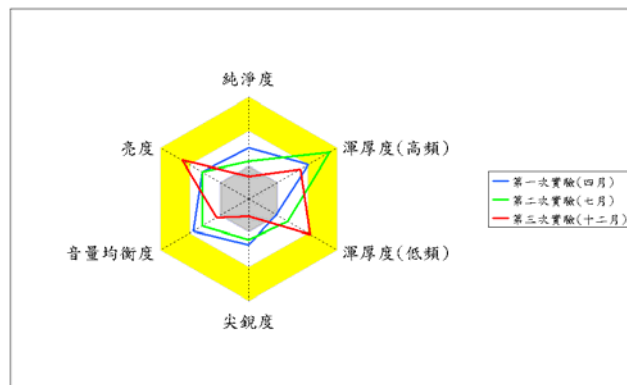


圖 3-4 D 琴之樂音指標雷達圖

驗，實驗完成後將四把琴同時置入防潮箱內。為了評估短時段乾燥對琴皮的影響，經過一天的乾燥後，防潮箱內的相對濕度約為50%，接著將四把琴從防潮箱內取出進行第二次實驗，量測完成後再將四把琴置入防潮箱內。為了評估長時段乾燥對木頭的影響，經過一週的乾燥後，防潮箱內的相對濕度已降至40%，接著將四把琴從防潮箱內取出進行第三次量測。

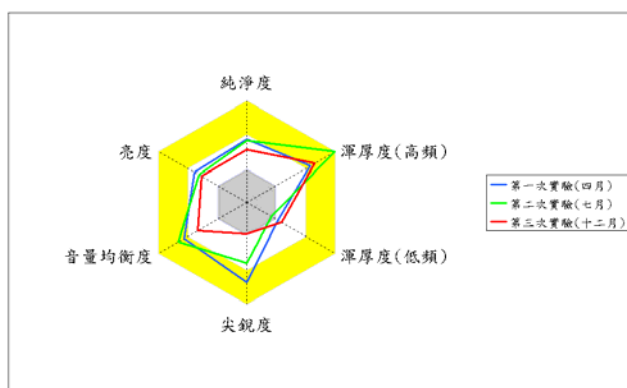


圖 3-5 E 琴之樂音指標雷達圖

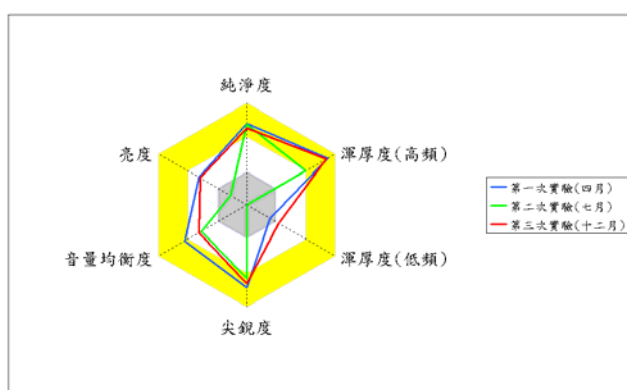


圖 3-6 F 琴之樂音指標雷達圖

2.2 濕度因素對於音色的影響

一般演奏者是將二胡存放在室內，過去並未有濕度對琴音之影響的相關研究。此外製琴師認為琴皮與木材的乾燥速率不同，乾燥時兩者乾縮的程度也不同，若乾燥的時間短，琴皮已經充份乾燥而緊縮，然而木材卻尚未充份乾燥，所以琴皮會呈現緊繃的感覺；若乾燥的時間長，木材已經充份乾燥而收縮，琴皮就會呈現鬆塌的感覺。因此本節將針對濕度因素對四把胡琴進行實驗，並且探討濕度其對二胡音色的影響。

2.2.1 濕度實驗

本實驗將四把琴（堅毅琴、李維琴、無名琴與八十琴），分別在不同的濕度條件下進行實驗。首先將四把琴存放在相對濕度70%~80%範圍內之室內環境中，存放一週以模擬自然潮濕的狀況，然後進行第一次實

2.2.2 主觀評價

第一次實驗的主觀評價方面，演奏者認為堅毅琴的音色乾淨、音色的「亮度」適中、音色表現不「悶」與拉奏容易；李維琴的音色乾淨、音色表現很「亮」、很「甜」與拉奏容易，該把琴是製琴師剛製作完成的新琴；無名琴的雜音大、音量大、音色「悶」與拉奏容易；八十琴的音色乾淨、音色表現很「亮」。

第二次實驗的主觀評價方面，演奏者認為堅毅琴的雜音少、音色較「亮」，並且聲音聽起來會有「甜」的感覺；李維琴的音色較「亮」，並且聲音聽起來會有一點「甜」的感覺，另外拉奏容易；無名琴的音色較「悶」並有鼻音產生；八十琴在音色表現很「亮」、音色較尖銳（空弦時）。

第三次實驗的主觀評價方面，演奏者認為堅毅琴的音色乾淨、音量表現均衡、音色不會尖銳，但是音色變「悶」；李維琴的音色乾淨、音色很「甜」、第三把位的音色很「亮」，但是第二把位（E2 音）不「亮」、渾厚度沒有改變，且音量上有一點不均衡；無名琴的音色有一點雜音、音色「悶」、音量上不均衡與音色不會尖銳；八十琴的音色「亮」、音色尖銳、音量表現均衡與高音區的雜音大，製琴師認為該把琴的琴皮較為僵硬。

2.2.3 客觀指標分析

從圖 3-7 至圖 3-10 中，得知：

- (1) 堅毅琴在濕度 50% 時整體表現較在濕度 70% 時與在 40% 時為佳。
- (2) 李維琴、無名琴與八十琴等三把琴在濕度 40% 時整體表現均較在濕度 70% 與 50% 時為差，與製琴師認為乾燥環境會使得該三把琴的表現變得愈差的想法是一致的。由此得知，演奏者拉奏該三把琴時，宜在濕度 70% 時的環境中進行。
- (3) 堅毅琴、李維琴與八十琴等三把琴在濕度 40% 時整體表現均較在濕度 70% 與 50% 時為差，與製琴師認為乾燥環境會使得該三把琴變得愈尖銳的看法是一致的。由此得知，演奏者若不欲琴音過於尖銳，宜在濕度 70% 時的環境中演奏。

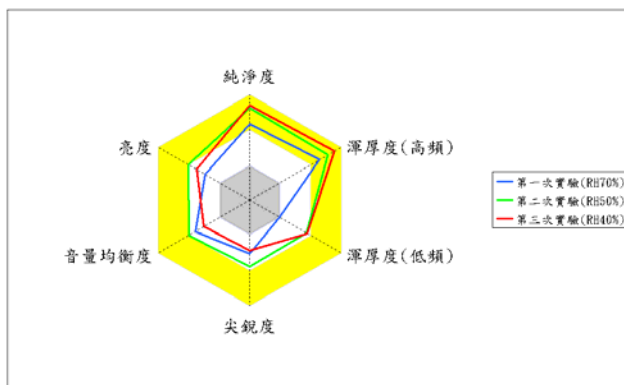


圖 3-7 堅毅琴之樂音指標雷達圖

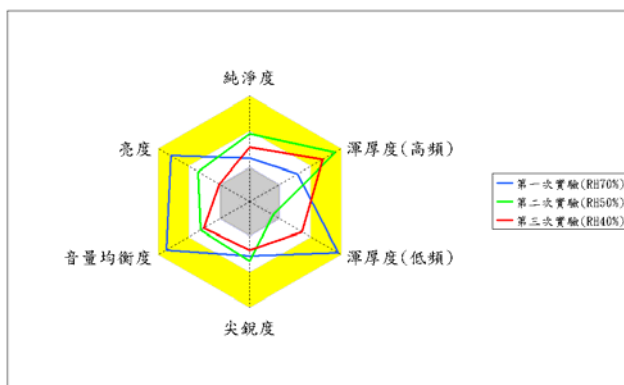


圖 3-8 李維琴之樂音指標雷達圖

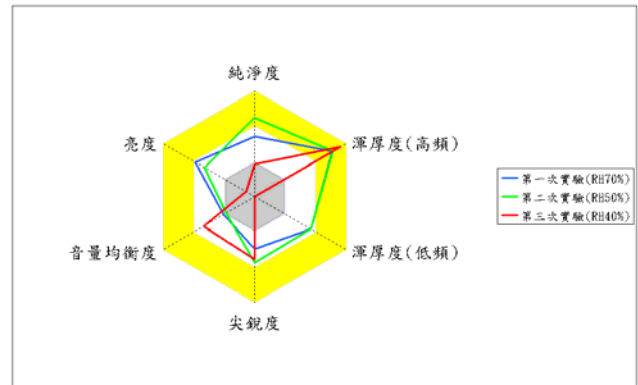


圖 3-9 無名琴之樂音指標雷達圖

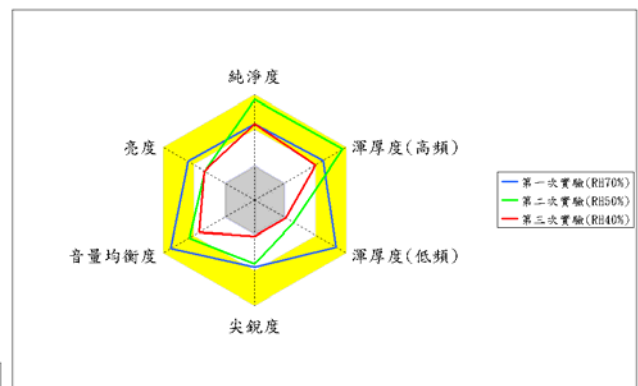


圖 3-10 八十琴之樂音指標雷達圖

2.3 浸泡處理對於音色的影響

製琴師製作琴皮時會將蟒皮施以浸泡處理，並且認為可以達成調整皮質及改善音質的目的，但是其效果缺乏科學方法之驗證，本節將針對琴皮的施以浸泡處理與未施以浸泡處理分別進行實驗，並且利用二胡樂音指標對琴音進行分析，最後探討上述兩種情況對二胡音色的影響。本實驗將挑選出兩把胡琴，一把施以純水浸泡處理，另一把則未施以浸泡處理，這兩把琴除了琴皮處理的不同外在其他特性上皆相近，故選用這兩把琴。

2.3.1 主觀評價

根據演奏者的主觀感受，認為琴皮施以浸泡處理後，只有在空弦（D1 音）時會有明顯的雜音產生，整體而言該把琴的聲音聽起來感覺乾淨，因此其純淨度表現優於未施以浸泡處理的琴；至於未施以浸泡處理的

琴，其每個音階聽起來都有明顯的雜音產生。

2.3.2 客觀指標分析

得知琴皮之浸泡處理與未浸泡處理時的整體表現，發現浸泡處理的琴皮，該把琴的整體表現較佳，從各樂音指標觀之，亮度與渾厚度（低頻）均表現較佳，其純淨度表現尤其佳，與演奏者主觀上認為該把琴較乾淨的感受是一致的；而未浸泡處理的琴皮，該把琴的整體表現差，從各樂音指標觀之，渾厚度（高頻）與尖銳度均表現較佳，如圖 3-11 所示。

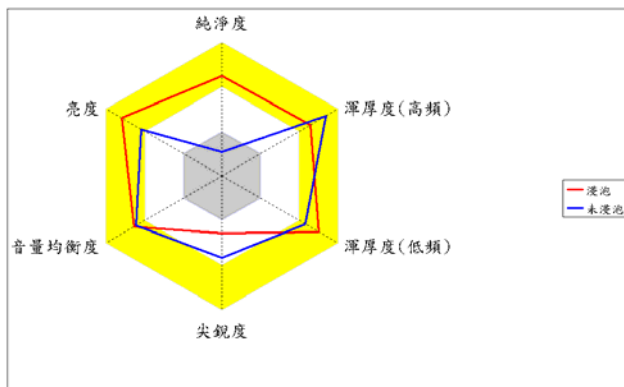


圖 3-11 琴皮的浸泡與否之樂音指標雷達圖

2.4 琴皮缺陷對於音色的影響

製琴師認為早期二胡演奏者或是聽眾偏好「悶」的音色，除了文化、習慣的因素外，另一重要因素就是當時的物質條件差，在物質條件缺乏的情況下即使二胡的琴皮已鬆塌，演奏者通常仍然會持續地拉奏，久而久之也就習慣了這種琴音，破皮琴的音色表現就很像琴皮鬆塌時「悶」的感覺。另外，有一些演奏者反而喜歡破皮琴的音色，認為該把琴的音色很適合演奏傳統樂曲。本實驗將挑選一把破皮之胡琴來進行分析，如表 4-48 所示。破皮琴是在蒙皮後，因為琴皮本身的缺陷而造成琴皮的裂縫，蒙皮之前裂縫並未產生，因此該把琴的琴皮仍具有蒙皮所留下的張力，故選用該把琴做為琴皮缺陷的實驗，並且利用二胡樂音指標對琴音進行分析，探討破皮琴的音色表現。

2.4.1 主觀評價

演奏者認為破皮琴的雜音大，而且音色表現很「悶」。

2.4.2 客觀指標分析

從圖 3-12 得知破皮琴之整體表現與 26 把琴之平均表現，發現破皮琴的琴皮缺陷，會使得該把琴的整體表現變差；破皮琴除了渾厚度（高頻）表現較佳之外，在其他的樂音指標上表現均較差；破皮琴的渾厚度（低頻）表現較差，與演奏者主觀上認為該把琴表現較「悶」是一致的；另外破皮琴的純淨度表現較差，與主觀之認定也一致。

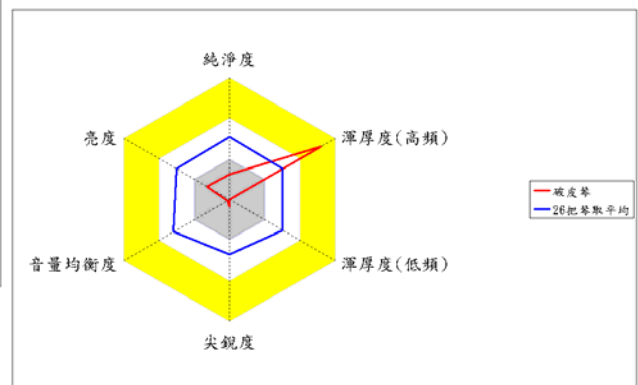


圖 3-12 破皮琴之樂音指標雷達圖

2.5 琴皮的振動

為了釐清在不同情況下對琴皮振動之影響，首先針對受測琴進行琴皮的敲擊實驗，並在不同情況下進行錄音量測，以便分辨琴皮本身的共振頻率與琴筒之空腔共振頻率，以作為模態測試之參考依據。

2.5.1 琴皮振動實驗

本實驗為了釐清在不同情況下對琴皮振動之影響，首先針對受測琴進行琴皮的敲擊實驗，受測琴之編號分別為 M-1 琴、Y-5 琴與 Y-6 琴等。本實驗分別在不同情況下對琴皮進行敲擊，其實驗依序為：

- (1) 第一次實驗中，M-1 琴之音窗仍嵌在琴筒內，進行錄音實驗。
- (2) 第二次實驗中，將 M-1 琴之音窗拆除後，進行錄音實驗。
- (3) 第三次實驗中，將海棉置入 M-1 琴之琴筒內，進行錄音實驗。
- (4) 第四次實驗中，將質量塊黏著於 M-1 琴之琴皮正中央，進行錄音實驗。
- (5) 第五次實驗中，將 Y-5 琴與 Y-6 琴進行錄音實驗，而這兩把琴的蒙皮張力分別是 10kg 與 8kg。

同時，本實驗也利用山衛公司所提供之雷射都卜勒振動分析儀 (LDV) 對琴皮進行模態測試，以瞭解琴皮之實際振動情形。

2.5.2 量測結果分析

- (1) 從圖 3-13 中得知 M-1 琴在無音窗時，其第一個峰值為 493.9Hz；在有音窗時，其第一個峰值為 476.4Hz，這是因為音窗的細框對空腔振動產生阻尼效應，使得頻率下降，而且第一個峰值的音量也會稍微降低。
- (2) 從圖 3-14 中得知 M-1 琴在充填海棉後，會使得第一個峰值的音量幾乎消失，這是因為充填海棉後會使得空腔消失，由此可推斷在未充填海棉時，第一個峰值 (493.9Hz) 乃由空腔內之空氣振動所造成。
- (3) 從圖 3-15 中得知 M-1 琴的琴皮加質量塊後，第一個峰值 (489.9Hz) 的頻率與未加質量塊時之峰值的頻率 (492.6Hz) 幾乎不變，但是第二個峰值的頻率會從 1009Hz 降至 907.1Hz，此現象再次印證第二個峰值的頻率為琴皮之第一個共振頻率，質量塊不但會使得琴皮的共振頻率降低，也會使得共振之振動量減少。
- (4) 從圖 3-16 中得知，當琴皮張力不同

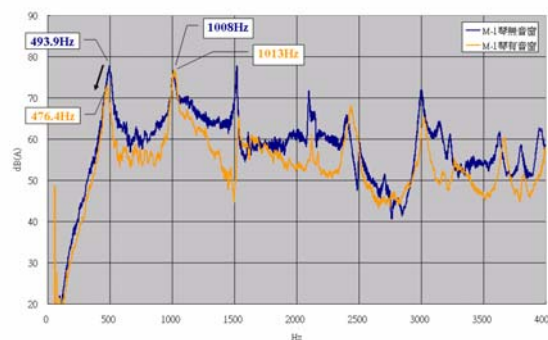


圖 3-13 音窗對琴皮共振頻率之影響

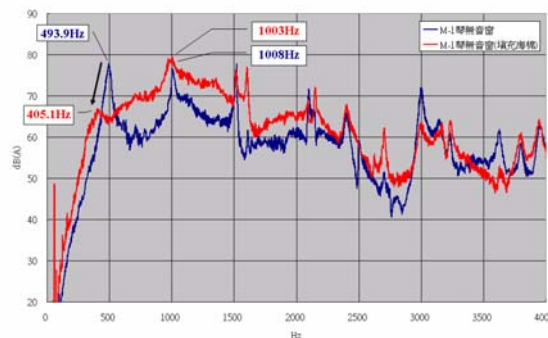


圖 3-14 琴筒充填海棉對琴皮共振頻率之影響

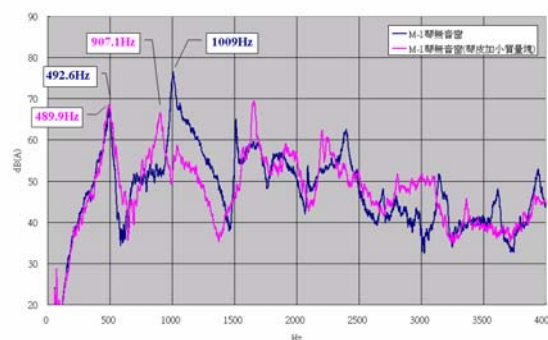


圖 3-15 質量塊對琴皮共振頻率之影響

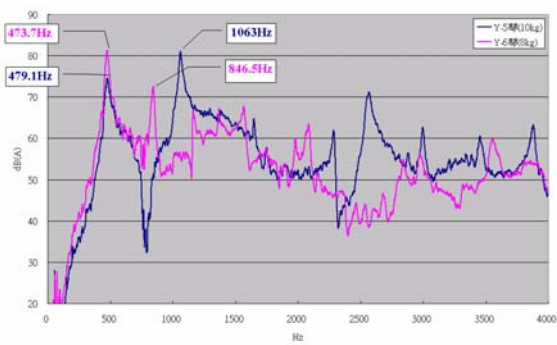


圖 3-16 琴皮張力對其共振頻率之影響

利用雷射都卜勒振動分析儀測量 M-1 琴之琴皮模態，如圖 3-17 至圖 3-23 所示。

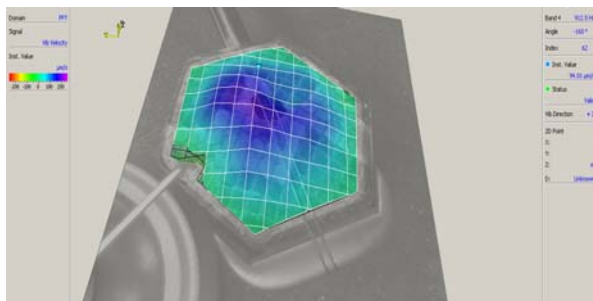


圖 3-17 琴皮在 912.5Hz 時之模態圖 (M-1 琴)

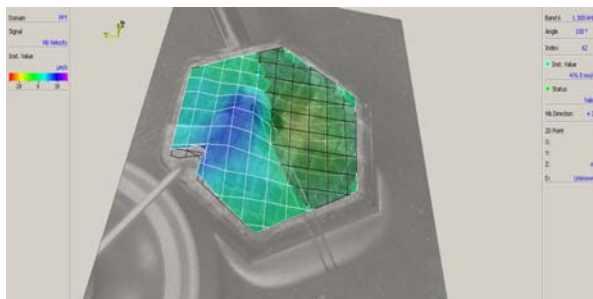


圖 3-18 琴皮在 1300Hz 時之模態圖 (M-1 琴)

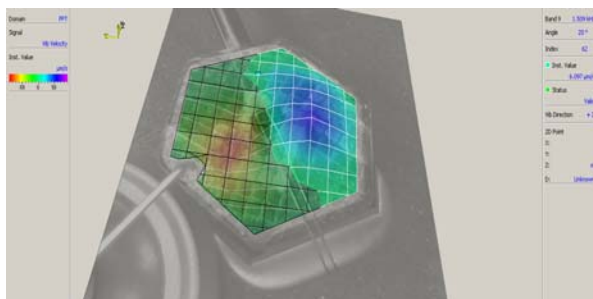


圖 3-19 琴皮在 1509Hz 時之模態圖 (M-1 琴)

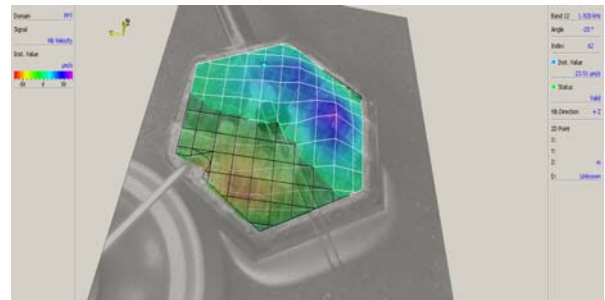


圖 3-20 琴皮在 1928Hz 時之模態圖 (M-1 琴)

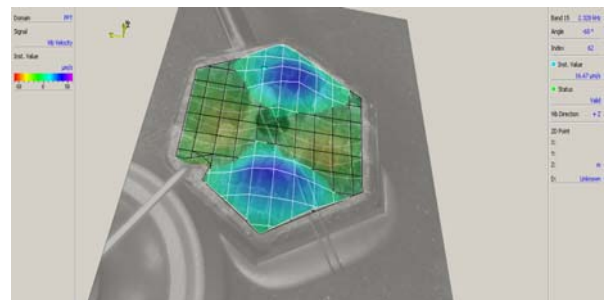


圖 3-21 琴皮在 2328Hz 時之模態圖 (M-1 琴)

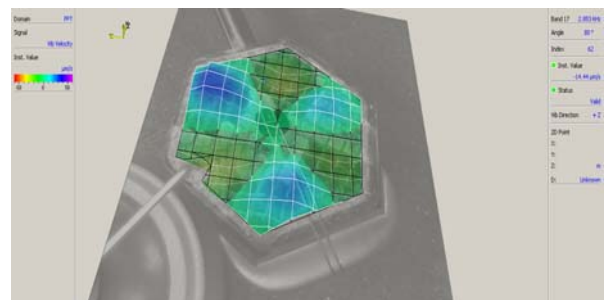


圖 3-22 琴皮在 2853Hz 時之模態圖 (M-1 琴)

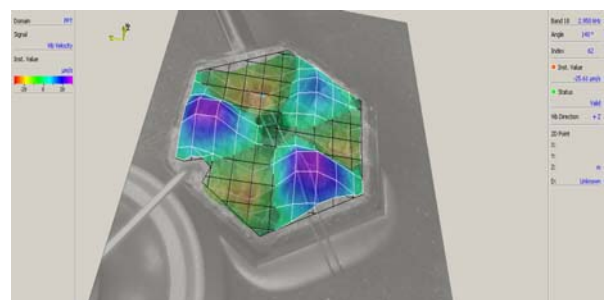


圖 3-23 琴皮在 2950Hz 時之模態圖 (M-1 琴)

3. 結論

根據本研究之結果，我們提出以下幾點結論：

1. 本研究首度建立了分析二胡樂音

2007 中華民國音響學會暨第二十屆論文會
發 表 會 論 文 集
二 〇 〇 七 年 十 一 月 二 十 三 日
最低共振頻率為 1008Hz (若蒙皮
張力較弱,可低至 850Hz)。過去認
為在 450~500Hz 左右之第一共振頻
率為琴皮振動所致,其實有誤!本
研究已證實此頻率實際上係由琴
筒之空腔共振所引起。

的亮度指標,該指標不但具有獨立性,且可以客觀地描述人們對聲音「亮不亮」的感覺,且能充分反應出主觀的看法。此外,也利用心理聲學中響度理論,比較 Zwicker 響度均衡度指標與原有 HLT 音量均衡度指標間的關係;同時也將 Zwicker 銳度指標與原有 HLC 尖銳度指標作比較與說明。

2. 時間因素對二胡音色之影響,主要顯現在純淨度方面,多數胡琴之純淨度會隨著時間增加而變得愈差。
3. 除了堅毅琴在濕度 50% 時整體表現較佳之外,李維琴、無名琴與八十琴等三把琴在濕度 40% 時整體表現均較在濕度 70% 時為差,這一點與製琴師認為過於乾燥之環境會使得音色變得愈差的想法是一致的。
4. 琴皮未經浸泡處理過之琴的渾厚度(高頻)與尖銳度均表現較佳,但是純淨度之表現卻極差;而琴皮施以浸泡處理過之琴的亮度與渾厚度(低頻)則均表現較佳,且其純淨度之表現也極佳,故知琴皮浸泡後的整體琴音表現會較浸泡前為佳。通常製琴師製作琴皮時會將蟒皮施以浸泡處理,並且認為此一步驟可以調整皮質及改善音質,本研究之客觀指標指出此一做法與看法確有道理。
5. 破皮琴的琴皮缺陷,會使得該把琴的整體表現變差。雖然破皮琴之低頻音量佔總音量的比重過多,甚至高於中頻的比重,使得聲音聽起來的感覺會非常的「悶」,但是有時該把琴的音色反而被老一輩的演奏者與聽眾所偏愛。
6. 從琴皮的聲振實驗中,證實琴皮之

4. 參考文獻

- [1] Hutchins, C. M., *Research Papers in Violin Acoustics, 1975-1993*, Published by the Acoustical Society of America through the American Institute of Physics, New York, 1997.
- [2] Schelleng, C. J., "The Violin as a Circuit," *Journal of the Acoustical Society of America*, c, pp. 326-338, 1963.
- [3] Hutchins, C. M., "The Acoustic of Violin Plate," *Scientific American*, Vol. 35, No.3, pp. 170-186, 1981.
- [4] Roberts, G. W., Finite Element Analysis of the Violin, extract from *Vibration of Shells and Their Relevance to Musical Instruments*, section of a doctoral dissertation, University College, Cardiff, Wales, UK, 1986.
- [5] Dünwald, H., "Deduction of Objective Quality Parameters on Old and New Violins," *J. Catgut Acoust. Soc.* 2nd ser, Vol. 1, No. 7, pp. 1-5, 1991.
- [6] 鄭德淵, 中國樂器學, 生韻出版社, 1984。
- [7] 鄭德淵, 音樂音響學(上冊), 樂韻出版社, 1981。
- [8] 林昱廷, 南胡空弦弦長的科學分析研究, 學藝出版社, 1995。
- [9] 林昱廷, 中國傳統樂器聲學特性之分析研究, 行政院國家科學委員會專題研究計劃成果報告, 1997。
- [10] 林昱廷, 南胡聲頻之研究與樂器改良計劃, 行政院國家科學委員會補助專題研究計劃成果報告, 2001。
- [11] 田英志, 二胡樂音之聲音品質與狼音改良, 台灣科技大學機械工程研究所碩士論文, 2004。
- [12] 莊肯堯, 二胡樂音指標之建立與蟒皮對於音色之影響, 台灣科技大學機械工程研究所碩士論文, 2005。
- [13] Fletcher, N. H., and Rossing, T.D., *The Physics of Musical Instruments*, Springer, New York, 1998.
- [14] David, M. H., and James, A., *Acoustics and Psychoacoustics*, Focal Press, Boston, 2001
- [15] Zwicker, E., and Fastl, H., *Psychoacoustics: Facts and Models*, Springer, New York, 1999.

- [16] 蔣再華、李蘇民、鄭伯順、黃嘉若與余秀敏，『規劃建立主觀音聲音品質評估系統』，電信研究季刊，第十九卷，第四期，第 441~453 頁，1989。