

## 二胡穿透力之客觀指標的探討

鍾欣樺<sup>1</sup>、徐茂濱<sup>2</sup>、林昱廷<sup>3</sup>、李十三<sup>4</sup>

### 摘要

有些二胡會被詬病其「穿透力」不足，本研究針對長期令人困惑之穿透力做一嘗試性之探討，初步推斷影響二胡「穿透力」的主要因素為 2000 與 4000Hz 之間的聲壓大小，並據以製定「穿透力」之樂音指標。

**關鍵詞：**二胡、聲音品質、樂音指標、穿透力、弦樂器

### Abstract

Some of the erhu instruments have sometimes been criticized of lacking of “penetration” in their performance. This study investigated in details the long-been-puzzled “penetration” and came to a conclusion that “penetration” is strongly affected by the sound between 2,000 and 4,000 Hz. Based on this finding, a definition for the “penetration index” was established accordingly and supported by subjective evaluations.

**keywords:** erhu, sound quality, musical sound index, penetration, stringed musical instruments.

---

<sup>1</sup>台灣科技大學機械工程研究所碩士研究生

<sup>2</sup>台灣科技大學機械工程研究所副教授

<sup>3</sup>台灣藝術大學中國音樂學系教授

<sup>4</sup>民族樂器有限公司製琴師

## 前言

二胡樂音穿透力的不足是存在已久一直無法克服的問題。至於什麼是樂音的穿透力，以及什麼是造成樂音穿透力不足的原因，即為本研究之主題。

音樂家們對於樂音的穿透力有各自不同的看法，主要分為以下兩種說法：

(1) 突出性的說法：樂團在演奏中，某一樂器在樂團中的表現突出，似乎與音色頻率有關。

(2) 傳遠性的說法：穿透力強的樂器其聲音不見得大聲，但卻能傳得夠遠，而穿透力弱的樂器可能在近距離時聽起來很大聲，但卻傳不遠。

根據第二種說法，穿透力跟音量的大小沒有絕對的關係；例如在聽音樂會時，在距離較遠的地方或是某個角度會有聽不到某一樂器之聲音的情形，從聲學的角度來看，或許與方向性有關，而多數的音樂家都傾向於傳遠性的說法。

以上說法大多是主觀的推論，缺乏由量測歸納而得的結論，故本研究即以儀器量測的方式進行，以冀找出影響穿透力的真正原因。

國外對於小提琴之研究已有三百五十年之歷史，與中國傳統樂器胡琴家族最為接近。1977年時Hutchins[1]蒐集1975年至1993年間關於小提琴之相關文獻，並加以分類整理，提供後人豐富的參考資料。小提琴聲音品質方面，1991年Dünnwald[2]所提出的文獻中，他錄製了七百多把不同品質的小提琴，並利用濾波器將雜音濾除而僅保留純音的部份，且定義出三個樂音指標，分別為聲音乾淨、鼻音現象、聲音刺耳三個樂音指標，再利用問卷調查方式進行評估琴的好壞。

匯集了幾位專業二胡演奏家，試圖找出主觀與客觀之間的關係[3]。田英志[4]利用問卷調查方式從受測聆聽者中得到主觀評價，並且聯結客觀分析之數據，建立起二胡的樂音指標(包括純淨度、厚實度與音量均衡度)，且提出二胡狼音的產生原因與改良方法。莊肯堯[5]建立起二胡的尖銳度指標，並改良厚實度指標而得出渾厚度指標。此外也利用建立的樂音指標，探討不同特性的蟒皮與琴碼對二胡樂音品質之影響。翁榮源[6]建立了二胡的亮度指標，他並利用已建立之各項二胡樂音指標，以評估二胡在各種客觀因素下(包括：時間因素、濕度因素…等)之樂音表現，及不同地方特色琴在各種樂音指標衡量上的差異。

近年來樂音在物理上聲學上的關聯性已逐漸受到重視；Howard[7]嘗試利用心理聲學的角度來闡述音色與樂器特性。Zwicker[13]除了探討心理聲學的基本理論(包括遮蔽效應、時間效應等)，也整理了各種用來描述人對聲音的心理感受指標，這些指標包括響度(Loudness)、銳度(Sharpness)、粗糙度(Roughness)、變動強度(Fluctuation Strength)與純音調(Tonality)等。

## 1 對二胡方向性的探討

大多數的音樂家傾向於傳遠性的說法，這種說法從聲學的角度來看，似乎與方向性較有關係，因此本研究首先探討二胡的方向性。進行方向性的實驗時，我們不希望量測值受到氣溫、地面或其他物體的反射音干擾，從而影響實驗結果的準確性，因此需要一個無響室，以模擬無限遠空間的自由聲場。

以往在錄製二胡之樂音時，大多是由演奏者以手運弓來完成，然而即使是由專業的二胡樂師演奏，每次所演奏出來的音高頻率都可能會有差異，導致每次紀錄的頻率數據不一致。為了改善前述之缺點，並避免任何外在因素可能會影響此二胡方向性實驗的結果，本研究另外自行設計製作出一個自動運弓擦弦的機構(圖 1-1)以妥善控制量測的狀況。

本自動運弓擦弦機構的優點為：

(1) 進行方向性的實驗時，若以演奏者來演奏，必然會影響到實驗結果，弓擦弦機構除了可排除人為因素的影響之外，還可確保實驗量測時，弓擦弦機構每轉一個角度時都係對同一圓心旋轉。

(2) 於量測時能令按壓深度、拉弓力道及拉弓速度等參數保持定值，維持拉出聲音的穩定性，並得到較精確的量測數據。

(3) 量測時，在運弓擦弦機構上可將音高(基音頻率)調整為定值，以便能讓任何不同時間點所量測出來的數據都能互相比較。

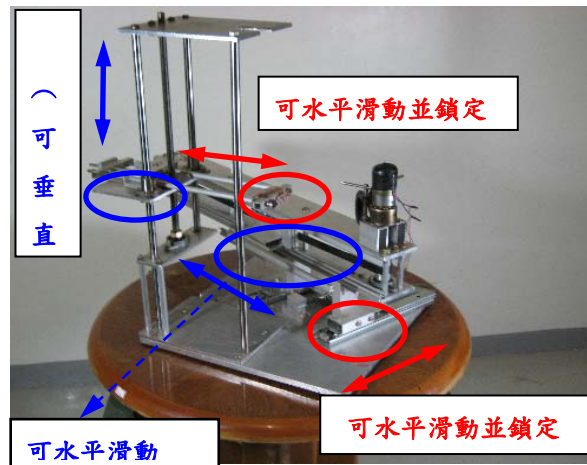


圖 1-1 自動運弓擦弦機構

### 實驗分析與結果討論

根據前述傳遠性的說法，可得知穿透力與音量的大小沒有絕對的關係。有關在聽音樂會時，坐在較後排的聽眾在某個角度會有聽不到聲音的情形發生，從聲學的角度來看，似乎是屬於方向性的問題。一般而言，我們對聲源的方向性有下述情況之預期：在低頻時各個角度之聲壓值相當平均，無方向性可言，如圖 1-2 所示；相對在高頻時，可以明顯發現在某些角度上之聲壓幾乎為零或極小，如圖 1-3 所示。

由音樂家及演奏者的主觀評價得知，二胡在高音時之穿透力特別明顯，因此實驗中我們以 a2 音(880Hz)為例，將兩把琴以每 2 度之間隔量測一次，並將琴筒音窗之軸線方向設定為聲軸 0 度，共計量測 180 次，在無響室中完成 360 度之聲壓量測。將量測完之數據做一彙整，我們可以由頻譜得知，各個角度除了基音外尚其他的泛音，如圖 1-4 所示，我們將兩把琴之基音與各個泛音在各個角度上的聲壓繪出來，如圖 1-5 至圖 1-10 所示。

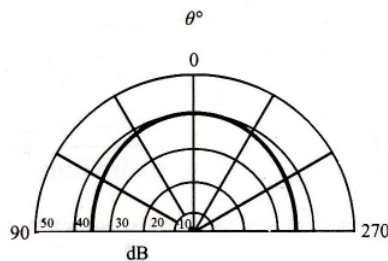


圖 1-2 屏障活塞聲源方向性(低頻  $ka=2$  時)

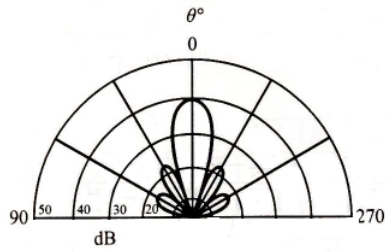


圖 1-3 屏障活塞聲源方向性(高頻  $ka=10$  時)

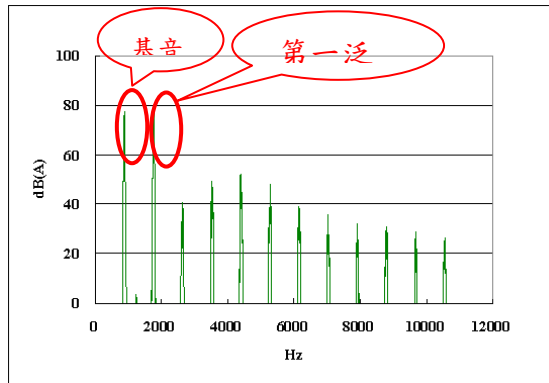


圖 1-4 二胡基音與各泛音之頻譜圖

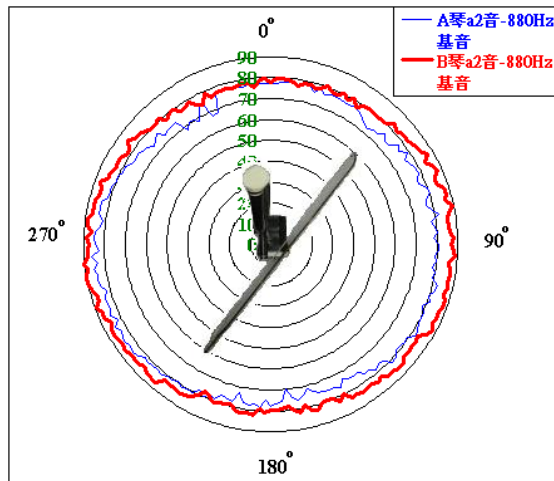


圖 1-5 A、B 琴在 a2 音基音之方向性

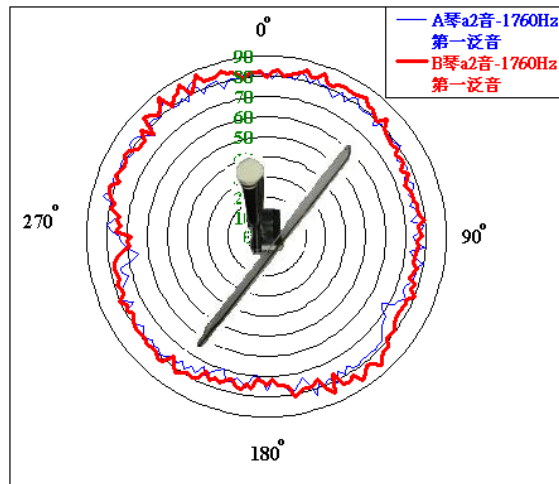


圖 1-6 A、B 琴在 a2 音第一泛音之方向性

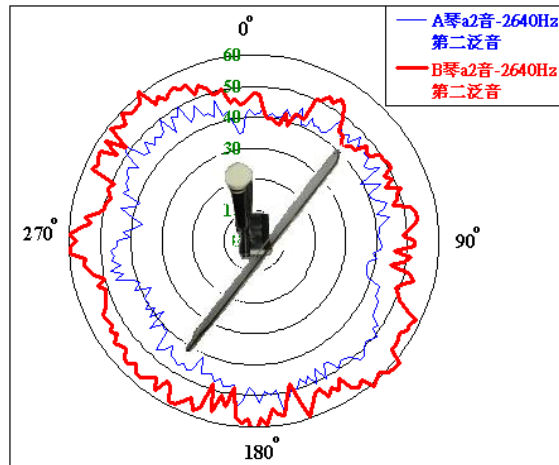


圖 1-7 A、B 琴在 a2 音第二泛音之方向性

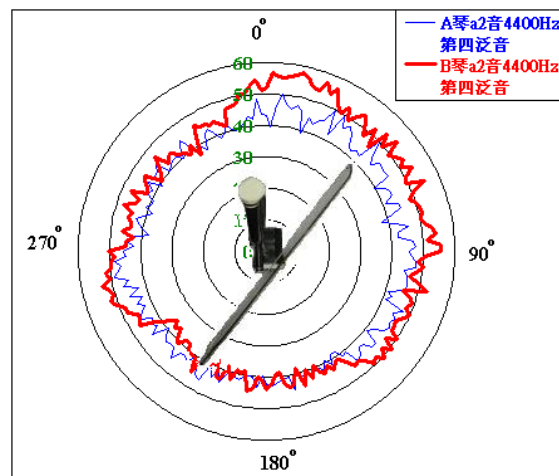


圖 1-8 A、B 琴在 a2 音第四泛音之方向性

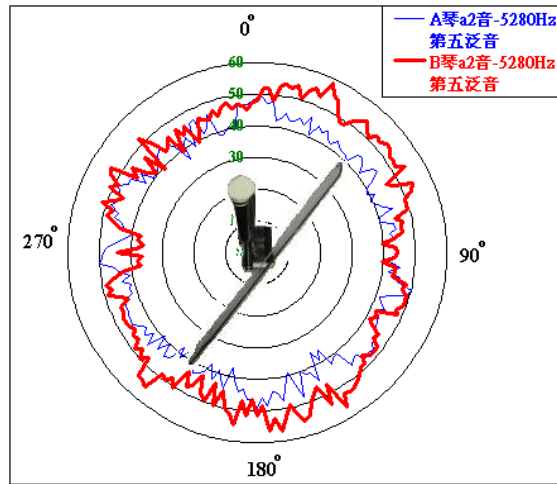


圖 1-9 A、B 琴在 a2 音第五泛音之方向性

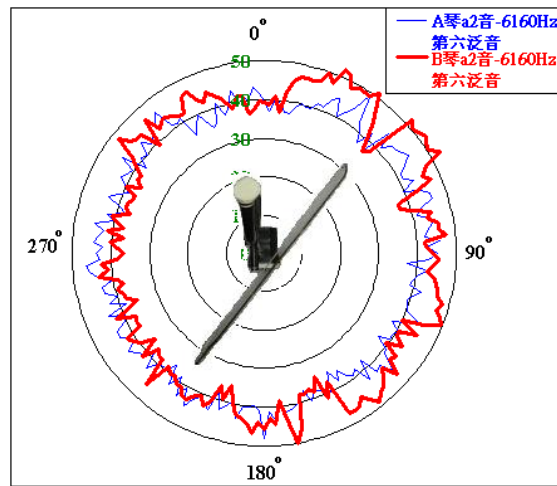


圖 1-10 A、B 琴在 a2 音第六泛音之方向性

由圖 1-5 與圖 1-6 中我們可以發現到基音與第一泛音除了在某些角度上有音量的差距外，整體聲壓值還算相當平均，沒有方向性可言。至於第二泛音(2640Hz)，由圖 1-7 中得知雖然看不出方向性的問題，但是可以發現到穿透力強的琴在第二泛音中幾乎每個角度上之聲壓值均明顯比穿透力差的琴來得高。至於第五與第六泛音(在 4000Hz 至 6000Hz 頻帶間)，可發現穿透力強的琴在某些角度的聲壓值特別大，如圖 1-9 與圖 1-10 所示，而穿透力較差的琴之此二泛音在各方向上的聲壓值則相當平均。

由以上客觀數據中顯示，穿透力強的二胡在 4000Hz 至 6000Hz 間之某些角度上的聲壓值特別大，但這結果與我們原先預期有關方向性的結果不盡相關，所以看來二胡聲音的穿透力與其方向性似乎並無明顯密切的關係。我們因此將探討二胡穿透力不足的研究方向回歸到觀察頻譜的特色。

## 2 穿透力強的樂器間比較

由上一節中可知二胡的方向性與二胡的穿透力並無強烈之關聯性，所以我們將從二胡的頻譜來著手，繼續探討是什麼原因造成二胡聲音穿透力的不同。

有鑑於音樂家或演奏者常會以「穿透力」來描述某些樂器的聲音特質，所以本章節將挑選出一些音樂家所公認穿透力較強的樂器與二胡作比較，進而從頻譜中找出其共通

性。一般認為穿透力強的樂器有嗩吶、柳琴、小喇叭、短笛、高胡與板胡等等。本研究因時間關係，只挑選了三個穿透力強的樂器來與二胡做比較，分別為小喇叭、短笛與高胡。

### 客觀分析結果

由主觀評價得知這些樂器的穿透力都比二胡強，所以我們以下列四種狀況來分析比較各樂器之頻譜。

#### (1) 穿透力差的二胡與小喇叭之比較

以 f1 與 b1 兩個音為例，如圖 1-11 與圖 1-12 所示(其他音請參閱本論文[9])，可明顯看出，小喇叭在 4000Hz 以上的聲壓值雖然比二胡低，但有個共通點就是小喇叭不管在那個音，其 2000Hz 與 4000Hz 頻帶間的聲壓值幾乎全部比二胡來得高。

#### (2) 穿透力差的二胡與短笛之比較

以 f2 與 b2 兩個音為例，如圖 1-13 與圖 1-14(其他音請參閱本論文[9])，由頻譜中各個音的比較來看，可以明顯發現雖然短笛在 4000Hz 以上之聲壓值比二胡來得低；但與小喇叭一樣有個共通性就是短笛在 2000Hz 與 4000Hz 頻帶間，d2 音(為短笛的最低音)除外之其他音的聲壓值幾乎都比二胡來得高。

#### (3) 二胡與高胡之比較

以 b1 與 e2 兩個音為例，如圖 1-15 與圖 1-16 所示(其他音請參閱本論文[9])，比較高胡與二胡的頻譜可知高胡的整體峰值在趨勢上與二胡較為接近，但在聲壓值方面，不管是 2000Hz 至 4000Hz 之間的頻帶或是 4000Hz 以上之頻帶，高胡之聲壓值都比二胡來得高。

#### (4) 穿透力強與弱的兩把二胡之比較

最後再觀察穿透力強與弱的兩把二胡的頻譜，以 f1 與 c2 兩個音為例，如圖 1-17 與圖 1-18 所示(其他音請參閱本論文[9])，可以發現穿透力強的二胡之每個音在 4000Hz 以上的頻帶聲壓值未必比穿透力差的二胡來得高，但穿透力強的二胡在 2000Hz 至 4000Hz 間之頻帶的聲壓值明顯的比穿透力差的二胡來得高。

由以上觀察分析可知，不管是短笛、小喇叭、高胡或是穿透力較強的二胡，其在 2000Hz 至 4000Hz 間之頻帶的聲壓值都比穿透力較差的二胡來得高。綜合以上客觀的分析結果，我們可以推斷影響穿透力的因素主要集中在 2000Hz 與 4000Hz 頻帶之間。

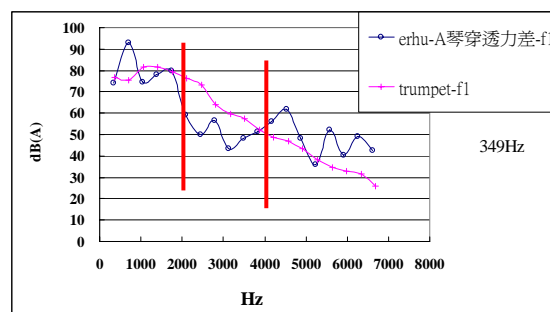


圖 1-11 二胡與小喇叭之 f1 音頻譜圖

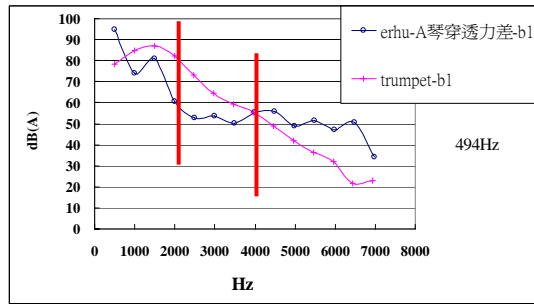


圖 1-12 二胡與小喇叭之 b1 音頻譜圖

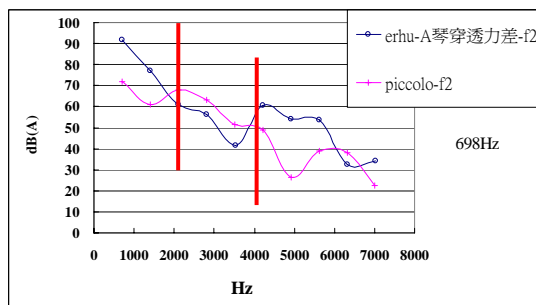


圖 1-13 二胡與短笛之 f2 音頻譜圖

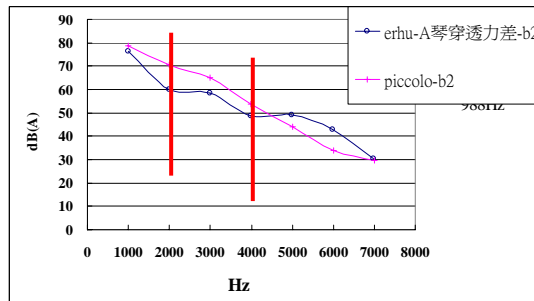


圖 1-14 二胡與短笛之 b2 音頻譜圖

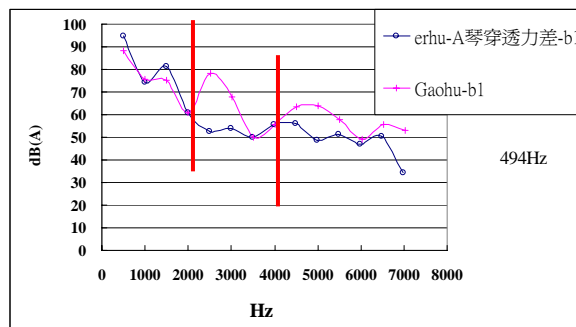


圖 1-15 二胡與高胡之 b1 音頻譜圖



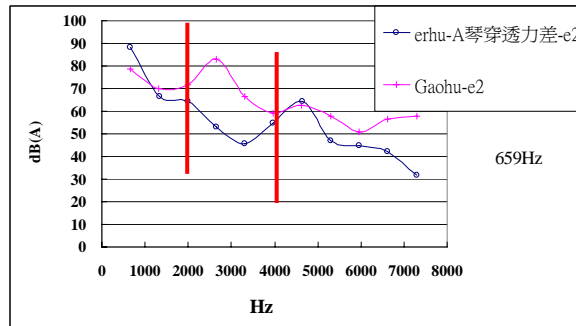


圖 1-16 二胡與高胡之 e2 音頻譜圖

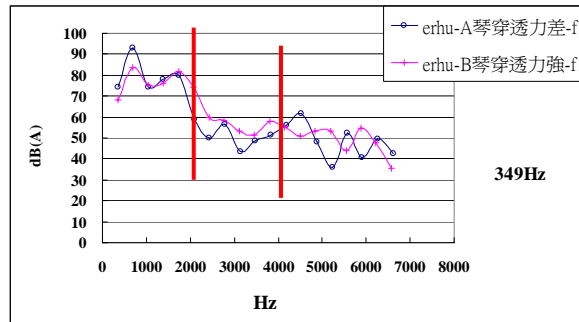


圖 1-17 兩把二胡之 f1 音頻譜圖

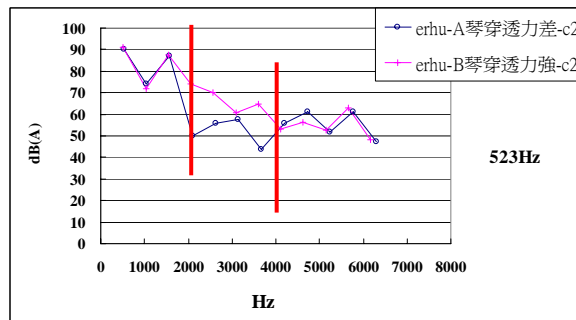


圖 1-18 兩把二胡之 c2 音頻譜圖

### 3 建立客觀的樂音指標

在建立客觀的樂音指標前，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、音樂老師及本研究團隊等，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，重點在於要儘可能詳實調查主觀評價方面的敘述，將資料整理成能反映主觀評價並具有特定意義的方式後，才能為尋找及定義客觀的樂音指標提供明確的方向。

收集完主觀評價之資料後，便可根據主觀評價之好壞，找出數把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。而在進行初步的樂音指標定義時，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。樂音指標定義完成後，仍須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，如果有不盡完善的地方，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。

#### 4 「穿透力」樂音指標之建立

我們由客觀數據結果觀察，影響二胡聲音的「穿透力」之主要因素是在 2000 至 4000Hz 間頻帶之聲壓值，「穿透力」弱之琴音在該頻帶間的聲壓均明顯不足。因此推論琴音在 2000 至 4000Hz 頻帶間之聲壓值將主導聆聽者對「穿透力」強與弱的感覺。

我們另外觀察穿透力較強之諸樂器(例如短笛及小喇叭)的頻譜線性迴歸圖得知，穿透力強的樂器在各頻率之聲壓均較接近其線性迴歸線，如圖 1-19 與圖 1-20 所示，而穿透力較差的二胡在 2000 至 4000Hz 之間頻帶的聲壓明顯的低於自身的線性迴歸線(圖 1-21)。

在初步定義「穿透力」樂音指標之步驟中，先求出單一個音(如 d1 音之聲壓)在 2000Hz 至 4000Hz 頻帶與自身線性迴歸線之聲壓間之差值  $\Delta SPL$ ，再將此聲壓差值除以 2000Hz 至 4000Hz 頻帶間之泛音數，得到此單音之平均聲壓差值  $\Delta SPL_{avg}(A)$ 。再將各個音(d1~c3)之平均聲壓差值加總後再除以全部單音的數目。最後，為了以正值表示穿透力的大小，再加上 10dB(A)而得到「穿透力」的樂音指標值(簡稱穿透力值或 PNTR)。

$$\Delta SPL_{avg}(A) = \frac{\Delta SPL}{N_{ovr}} \quad (1-1)$$

$$\text{穿透力值 PNTR} = \frac{\sum_{i=d1}^{c3} [\Delta SPL_{avg}(A)]_i}{14} + 10 \quad (1-2)$$

$\Delta SPL_{avg}(A)$ : 單一個音在 2000 至 4000Hz 之間頻帶的平均聲壓差值。

$\Delta SPL$ : 待測琴之聲壓在 2000 至 4000Hz 頻帶與自身線性迴歸線之聲壓間之差值。

$N_{ovr}$ : 在 2000 至 4000Hz 間之頻帶的泛音數目。

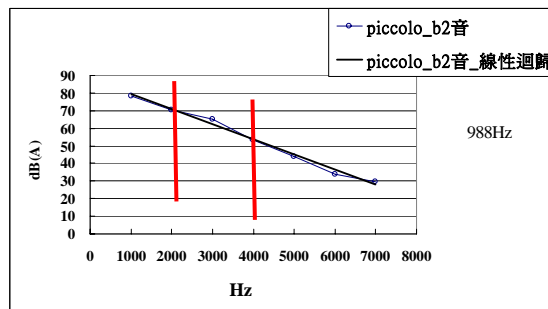


圖 1-19 短笛之 b2 音頻譜圖

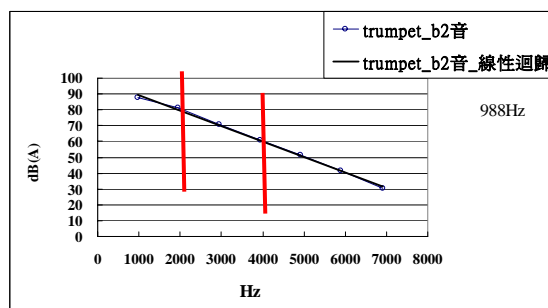


圖 1-20 小喇叭之 b2 音頻譜圖

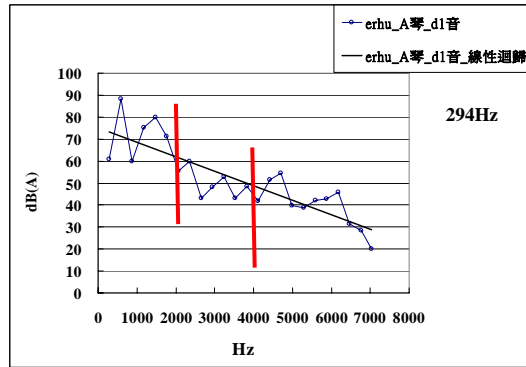


圖 1-21 穿透力較差之二胡之 d1 音頻譜圖

### 主觀評價

進行「穿透力」的問卷調查前，首先將上述之兩把實驗琴做成聲音樣本，而受測地點選擇在一般實驗室中進行，聆聽評審團中之各受測者利用耳機聆聽各個聲音樣本，根據其感受將評判結果填入問卷調查表中。此步驟主要係驗證這兩把琴的主觀評價是否與其客觀「穿透力」之指標值相符(A 琴穿透力值為 2.1dBA, B 琴為 7.6dBA)，結果確認主客觀之評價是一致的，如圖 1-22 所示。

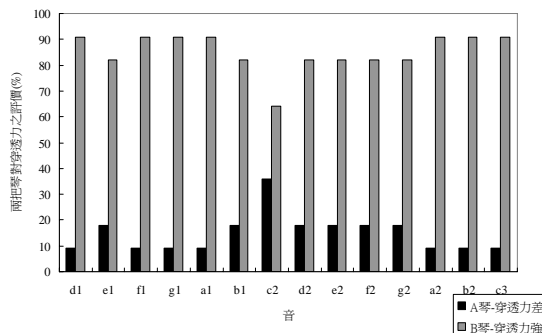


圖 1-22 兩琴之「穿透力」的主觀評價 (%)

由客觀分析中之結論可得知在 2000 至 4000Hz 頻帶間的聲壓差值是影響「穿透力」強與否的主要因素，我們利用聲音品質分析軟體(Sound Quality)將「穿透力」較差的 A 琴之各個音在 2000 至 4000Hz 頻帶間之泛音聲壓值調高約 10dB(A)，將其製作成聲音樣本，受測者再利用耳機聆聽這些音的聲音樣本，並將評判結果填入問卷調查表中。此做法之目的在於進一步確認是否在調高 2000 至 4000Hz 間之聲壓值後即可聽出「穿透力」獲得加強，圖 1-23 之主觀評價結果肯定了我們的想法。

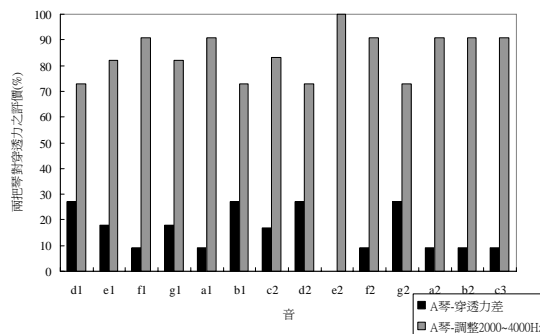


圖 1-23 A 琴在調整 2000 至 4000Hz 之聲壓值後的主觀評價

經由上述的問卷調查結果，讓我們更加確定 2000 至 4000Hz 之頻帶確會影響「穿透力」強與否的感覺。接下來我們另取三把琴代入我們所定義的「穿透力」之指標公式中，將三把琴之「穿透力」的指標值彙整，取數據中差異較大的兩把二胡製作聲音樣本，受測者之聆聽結果(圖 1-24)顯示兩把琴之主觀評價與客觀指標(S3 琴之穿透力值為 2.3dBA, S1 為 6.9dBA)相當一致，證明了「穿透力」的樂音指標確實可以客觀的描述人們對琴音「穿透力」的感覺。

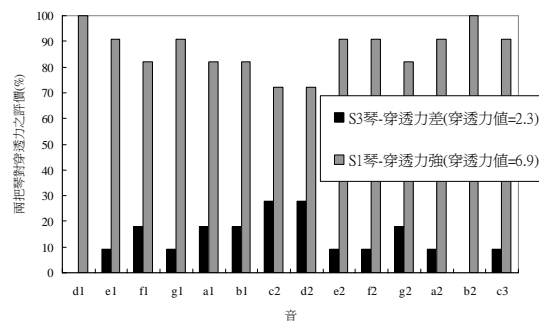


圖 1-24 S3 琴與 S1 琴之主觀評價

## 5 結論

本論文據此針對二胡的聲音進行主觀的評估與客觀的量測分析，從而訂定出二胡的專屬樂音指標。根據本研究之結果，我們提出以下結論：

1. 由於以往在錄製二胡之樂音時，大多是由演奏者以手拉弓來完成，即使是由專業的二胡樂師演奏，每次所演奏出來的音高頻率都會不同，因而導致每次紀錄的數據不一致，不利於爾後之相互比較。為了改善前述之缺點，且避免其他外在因素影響二胡的方向性，本研究在進行方向性的實驗中，自行設計製作出一個自動弓擦弦機構以利於量測。

2. 穿透力較強的琴在 4000 至 6000Hz 之間的某些角度上的聲壓值明顯比穿透力差的琴來得高，穿透力較差的琴在 4000 至 6000Hz 間之聲壓值在各方向上皆相當平均，這兩把琴在高頻時之某些角度上的聲壓值並不如我們所預期般的幾乎為零，故可見二胡之方向性與其穿透力似乎並無直接關聯性。

3. 針對二胡的穿透力，本研究經由一系列的探討，得知影響穿透力強弱的主要因素為在 2000 至 4000Hz 之間的聲壓值。然後也據以定義出穿透力之客觀指標，並獲得主觀評價之一致肯定。

## 6 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] Dünwald, H., "Deduction of Objective Quality Parameters on Old and New Violins," *J. Catgut Acoust. Soc.* 2<sup>nd</sup> ser, Vol.1, No.7, pp. 1-5, 1991.
- [3] 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。
- [4] 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。
- [5] 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。
- [6] 翁榮源，以樂音指標評價不同因素對二胡音質之影響，台灣科技大學機械工程研究所碩士論文，2006。
- [7] Howard, D. M., and Angus, J., *Acoustics and Psychoacoustics*, Focal Press, Boston, 2001.
- [8] Zwicker, E., and Fastl, H., *Psychoacoustics: Facts and Models*, Springer, New York, 1999.
- [9] 鍾欣樺，二胡的穿透力與問之客觀指標的探討，台灣科技大學機械工程研究所碩士論文，2009。