

二胡樂音之聲音品質分析

徐茂濱¹、田英志²

¹台灣科技大學機械工程研究所 副教授

²台灣科技大學機械工程研究所 碩士

台灣科技大學機械工程研究所

台北市基隆路四段 43 號

電話：(02) 2733-3141 轉 6439

E-mail：mphsu@mail.ntust.edu.tw

摘要

二胡是中國傳統樂器中最主要的擦弦樂器，自從劉天華先生將西洋樂器的演奏技巧導入二胡的領域加以改革，使得二胡擺脫了過去伴奏或合奏的角色，成為具有獨奏性的樂器，而且在近幾年逐漸取代古箏的地位，成為目前最受歡迎的中國樂器。

目前對於二胡樂音評量方式，僅限於在主觀上的判斷，所以我們依照目前的聲音品質理論與步驟，找出了分析二胡樂音的三個客觀聲音指標（純淨度、厚實度與音量均衡度），希望能經由客觀的量測來評估一把二胡之樂音特性。

我們利用問卷調查來檢視聲音指標，結果發現純淨度與音量均衡度的定義與問卷調查結果相當符合；至於厚實度方面，我們必須先將厚實度的聲音樣本之音量調整到相同大小，而後再次進行問卷調查，以確定對於厚實度定義之修正是否正確。

【關鍵字】：二胡、聲音品質、聲音指標

一、前言

二胡是中國傳統樂器中最主要的擦弦樂器，自從劉天華先生將西洋樂器的演奏技巧導入二胡的領域加以改革，使得二胡擺脫了過去伴奏或合奏的角色，成為具有獨奏性的樂器，而且在近幾年逐漸取代古箏的地位，成為目前最受歡迎的中國樂器。

雖然二胡已成為目前主流的樂器之一，但是仍有許多缺點有待解決，而目前對於二胡的

改良大多利用主觀判斷的方式來尋找問題的癥結，再以嘗試錯誤法來解決問題，若能輔以電子儀器與電腦設備，再加上現有的量測與分析技術，對二胡進行研究與改良，讓製造出來的二胡品質更為精良與穩定，使得二胡能夠如同小提琴般進行量產，又能維持一定的水準，如此不但讓二胡因價格低廉而易於推廣，也因為掌握了控制二胡音色的要素，便可以依照使用者的需求來製作合適的二胡。

不論是任何二胡的改良，最終都要能確定其改良是否成功，而目前對於二胡樂音評量的方式僅限於主觀的判斷上，對於二胡改良的幫助並不直接。若能以現有主觀的判斷為基礎，讓客觀的判斷能合理對應主觀的判斷，就可以利用客觀量測來判斷改良是否有效，也能針對主觀的評價找出客觀上應予改良的方向。有鑑於此，訂定出一套客觀的二胡樂音判斷標準，是進行二胡改良前的首要工作。

聲學與心理聲學配合樂器的研究已開始受到重視，Fletcher[1]詳細的將所有西洋樂器的聲學特性加以整理與解釋；David[2]除了概略的說明聲音與聽覺的特性之外，也試著從心理聲學的角度來闡述音色、樂器特性與音響環境。

國外對於提琴家族的研究已經超過三十多年，其中 Hutchins[3~5]將 1975 年至 1993 年間關於小提琴各領域的聲學研究加以分類整理，提供後人極為豐富的參考資料。而後在 1995 年提出了與聲音品質相近的文章，介紹提琴家族樂器中各項可量測的物理特性，包括楊氏係數、提琴結構、材料疲勞等與高品質小提琴的聲音之間的相關性。最後在 1998 年特別針對小提琴振動板的「主木共振」與振動板之間的「空氣共振」詳細的加以探討，並指出這些共振能加強小提琴基音與前面兩三組泛音之音量，讓音色能夠更加清晰渾厚。

劉天華先生是最早開始進行二胡研究與改良的學者，董榕森[6]將劉天華先生從樂器、樂曲到演奏技巧的各項改良加以紀錄整理，可從中了解到目前二胡既定的型制。國內其實已經有人開始著手研究與改良二胡，鄭德淵[7][8]首先將中國樂器的音響理論、製作方式以及各種改良紀錄下來，並提供未來可能的改良方向；整合二胡、中胡以及高胡，將樂器的音色、型制統一起來。之後又將國內外針對樂器研究的論文加以整理歸納，將國外改良樂器的經驗加諸於國內樂器之改良。林昱廷[9~11]首先利用科學分析的方式，試圖找出南胡最適合的空弦弦長；而後利用電腦分析中國傳統樂器的聲學特性，並利用麥金塔電腦來建立中國樂器音色的數位檔案；除此之外還針對南胡之聲頻進行研究，並匯集了好幾位二胡演奏家，試圖找出主觀與客觀之間的關係。

在聲音品質的研究方面，Zwicker[12]將過去所有的聲學觀念加以彙整，並闡述人耳對聲音的物理反應，也整理了各種用來描述人對聲音的客觀物理量。Lyon[13]更明確地介紹聲音品質如何運用在產品上，提出設計產品音質的步驟與方式。

二、聲音品質與聲音指標

聲音品質 (Sound Quality) 是近幾年才開始受到市場重視，以前對於產品聲音的改良，大都只考慮到產品聲壓 A 加權值 (A-Weighting) 的大小，只要將產品聲壓降低即可。但是產品聲音相對於聽覺，就如同產品外型相對於視覺，若是設計得宜，皆可讓產品更有競爭力，而且聲音上的差異比起視覺上的表現，更不容易抄襲，也更容易成為產品的重要特色之一。

第一節 聲音品質之定義

聲音品質可定義為聽覺對人各方面的滿足程度，而影響聲音品質的三種不同之改變量分別是：物理 (聲場)、心理聲學 (聽覺感知)、心理 (聽覺評價)。

當聲音產生了一種令人不舒服的、煩惱的、擾亂性的聽覺感受時，即可稱為此聲音品質不佳，聲音品質與產品不協調；若聲音不再令人煩惱，而令人產生愉悅的聲音感受，或者與產品有積極的關連性，則可說其聲音品質很好。

從前皆是以消極的方式來處理聲音品質，只要使產品聲音不會使消費者感覺到不悅或是被干擾就可以了。而現在更要以積極主動的方式來創造、設計出聲音品質，使產品之聲音可以清楚傳達其使用的狀態、特性，甚至能讓使用者與產品所發出的聲音產生互動，使得消費者可因為產品的聲音特性來吸引消費者購買的慾望，或是引領市場潮流的走向。

第二節 建立聲音指標

聲音品質的分析中最重要的一步驟，就是建立產品專屬的聲音指標。聲音指標就是為了建立主觀評價與客觀量測數據之間的橋樑，讓針對產品聲音所產生的主觀評價，能夠確實的轉換到客觀上所能理解的角度，使得在進行產品聲音改良上有明確的依據，能夠檢驗出所改良的結果是否能夠符合主觀判斷的期望。

既然聲音指標是主觀與客觀評價之間的橋樑，所以針對產品主客觀評價的資料收集就顯得極為重要了。建立聲音指標的第一步，就是針對使用者以及製造者進行訪談，整理出目前對產品聲音的主觀評價，更重要的是要盡可能的詳實調查對於主觀評價的敘述，未來才能在尋找及定義客觀的聲音指標時，提供明確的方向。

收集完主觀聲音評價之後，便可針對主觀評價上的好壞，找出數個在主觀評價上有相當

差異的產品，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，這些待量測的產品，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，等到初步的聲音指標之定義完成了以後，才能依照需求找出差異較小的產品來進行量測與比較，並藉此修正原本定義的聲音指標，讓客觀評價的結果能更為精確。

最後也是最重要的步驟，就是建立評審團（jury test），成員包括產品使用者、製造者、產品改良者、聲音專家等，對聲音指標進行驗證，並提供改良的方向，讓聲音指標能更精確。

三、二胡聲音指標之建立

第一節 二胡樂音主觀評估之探討

建立聲音指標的第一步就是要徹底瞭解產品聲音的主觀感受。經過與演奏家與製琴師的多次討論，最終對二胡歸納出其中三項最主要的主觀評估標準，包括純淨度、厚實度與音量均衡度，並定義出各項主觀判斷之意義：

表 3-1 主觀評估標準之客觀定義

主觀評估標準	客觀定義
純淨度	基頻與倍頻之外的頻率所產生的聲音，都叫做雜音；雜音的分貝值越高，其聲音的純淨度就越差。高把位的聲音其雜音也較大，人耳也比較容易聽出來，但不論如何，純淨度較佳的琴，其雜音的音量也較小。琴的整體結構越紮實，其雜音就越小，聲音也越純淨；高把位的音色，因為主要音頻之振幅大幅被壓縮，所以雜音也就相對地會突顯出來，音色聽起來也就不太純淨。
厚實度	在整體基音與泛音中，頻率較低的基音與泛音比例越高，聲音聽起來越覺得渾厚。密實度指的是聲音的密度高，亦即聲音的音量（分貝）大。若要讓二胡擁有密實度好的音色，唯有將振動系統的阻尼降低，讓演奏的力道儘可能的轉換成聲音的音量，如此發出來的聲音其密實度才高。使用密度較高或較粗的琴弦或較厚的琴皮，讓演奏時的低頻聲音振幅較大，讓人感覺到聲音較為渾厚；但若使用過厚或過粗的琴弦與琴皮，則會增加系統的阻尼，降低共振頻率的振幅，讓聲音的密實度（即整體的分貝）下降，如此會連帶影響聽眾對音色厚實度的感覺。
音量均衡度	高音階音量與低音階音量相差越小，其音量均衡度就越佳。低音的基音與泛音的數量較多，故其聲音的音量自然較大；相對的高音其基音與泛音的數量較少，其聲音的音量自然較小，又加上高把位的高音其振幅減少很多，所以聲音音量相對於低音而言會小了很多。

為了容易找出二胡的客觀聲音指標，所以我們先讓製琴師以及演奏家挑選出在主觀感受上差距較大的幾把琴，以便在進行客觀數據上的比較時，能較易分析出主客觀之間的關係。我們依照這三個主觀評估項目，將四把琴分成較好、中等以及最差三個等級，排列如下表：

表 3-2 二胡樂音主觀評價表

主觀評價	較好	中等	最差
純淨度	301-02	501-01	S-1538
渾厚度	301-01	501-01	S-1538
聲音均衡度	501-01	301-02	S-1538

第二節 純淨度聲音指標

利用濾波器將基頻與倍頻濾掉，就可以得到雜音的頻譜圖，並可藉此得到雜音的聲壓值，用此方式將被評估的三把二胡聲音加以分析並過濾之後，所得的結果如圖 3-1。

我們將雜音的部分整理成圖 3-2，可以發現雜音的音量越大，則主觀的純淨度評價越差，尤其是在高音的部分，雖然每把琴的雜音都有升高的趨勢，但是 S-1538 這把琴的高音雜音音量特別大聲，加上其高音音量特別小聲，使得其高音雜音特別明顯，影響到其純淨度方面的評價。

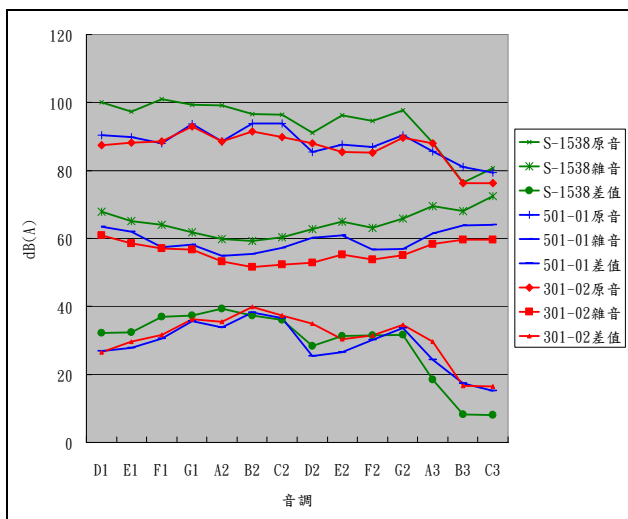


圖 3-1 二胡原音、雜音與差值比較圖

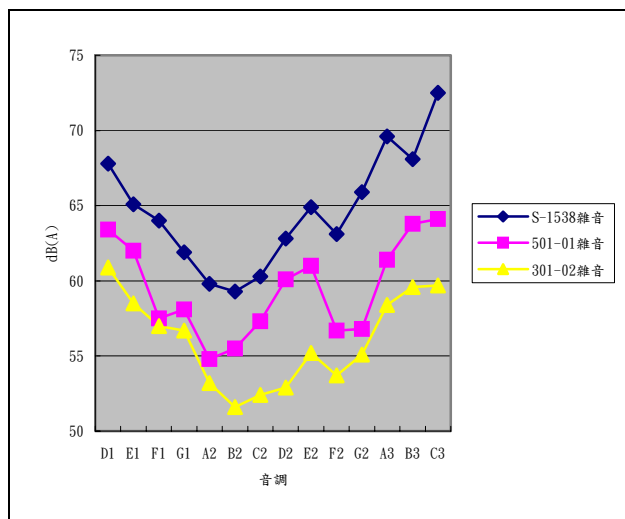


圖 3-2 二胡雜音比較圖

第三節 厚實度聲音指標

我們利用 1/1 Octave band 來分析二胡 D1 的聲音，並將頻帶區分為低頻（250Hz~500Hz）、中頻（1000Hz~2000Hz）及高頻（4000Hz~8000Hz）三部份，並將結果繪製成圖 3-3，可以發現厚實度比較好的琴，低頻部與中、高頻部的聲音音量差距較大，301-01 與 501-01 的低、中頻音量差距僅有 2.6dB(A) 與 3.1dB(A)，而 S-1538 的差距就有 8.6dB(A)，即使總音量最大，但是低頻的音量還是較弱。

而在中高頻的部分，也可以發現 S-1538 的高頻音量明顯不足，就會產生所謂悶的聲音，且音量都集中在中頻的區域，也會使得樂器的表現受到影響。反觀好琴在低、中與高頻的聲音之分布都相當均勻，就不會讓人有悶或燥的感覺。

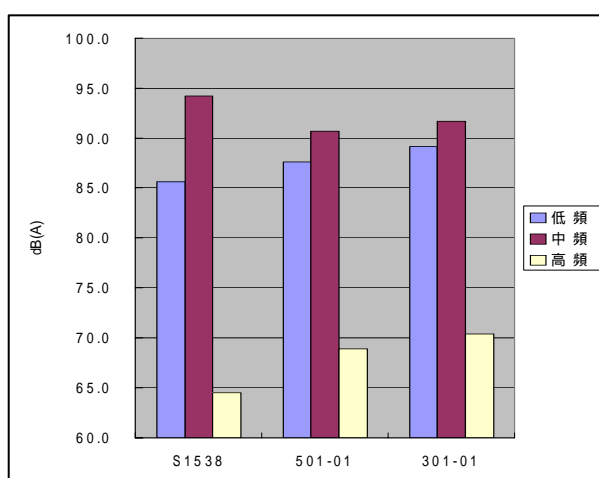


圖 3-3 二胡厚實度比較圖

第四節 聲音均衡度聲音指標

首先我們將三把琴每一個音階的聲壓值列於表 3-3，然後對每把琴的聲壓取其絕對平均差的平均值，絕對平均差（與資料點平均值的差距）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。由結果可觀察出每把琴的聲壓變化幅度，數值越高的表示其聲壓起伏較大，也代表著聲壓均衡度較差。S-1538 的絕對平均差的平均值高達 5.6，而另外兩把都在 3.3~3.5 左右，可見得 S-1538 的聲音均衡度的確較差。

表 3-3 二胡聲音均衡度比較表

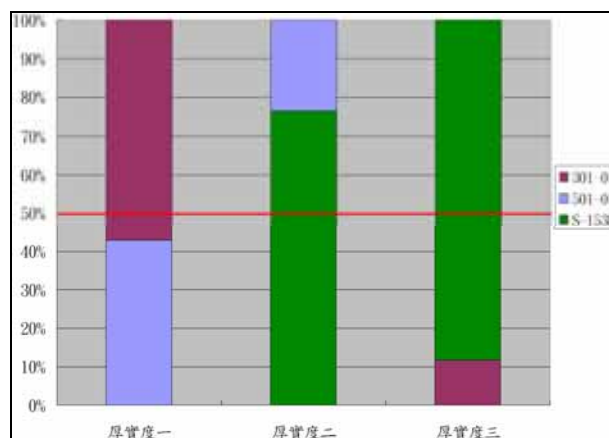
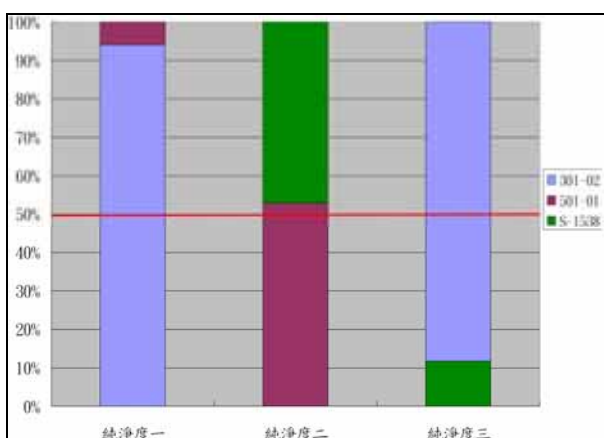
音調	S-1538 (dBA)	301-02 (dBA)	501-01 (dBA)
絕對平均差的平均值	5.6	3.5	3.3

四、二胡樂音問卷調查與結果分析

目前對於樂器好壞的判斷，大都是交由具有多年經驗的音樂家進行主觀的分析與判斷，而此法亦具有相當的準確性。為了讓所定義出來的二胡樂音指標能夠更準確的表現出二胡的好壞，以問卷調查的方式來應證並修正指標的準確性，是必要的過程。我們將問卷調查結果列於圖 4-1。

由統計結果來看，在純淨度方面，301-01 的純淨度最好，大幅度領先其他兩把琴，也與客觀指標的結果相符合，至於另外兩把純淨度的調查結果差別並不大，原因是雜音的差距較小而導致不易區分純淨度的好壞。在厚實度方面，除了 301-01 以及 501-01 的調查結果與客觀指標相近之外，S-1538 的厚實度問卷調查結果皆大幅領先另外兩把，可見音量的大小對於厚實度的影響相當大，除非兩者音量相近，才需要再去考慮低頻音量的大小。最後在音量均衡度方面，調查結果與客觀指標都相當符合，其中 S-1538 大幅度落後另外兩把琴，也與客觀量測結果相符，至於 501-01 以及 301-02 的主觀結果差距較小，與客觀量測之後的微小差距相符合，也印證了音量均衡度這項客觀指標的準確性。

綜合上述結論，純淨度與音量均衡度的客觀指標與主觀調查結果相當符合，可以印證此兩項指標具有相當的準確度；至於厚實度方面，可以發現音量對於整體厚實度的影響不小，是否需要將音量設定在同樣大小進行比較，還是將厚實度拆開成為渾厚度與密實度兩個指標來進行判斷，是可以加以考慮的。



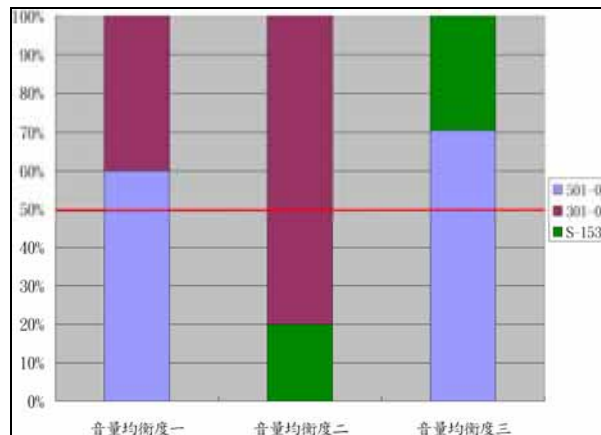


圖 4-1 二胡樂音之問卷統計結果

五、結論與建議

根據本研究之結果，我們提出以下結論：

1. 依照目前的聲音品質理論與步驟，我們找出了分析二胡樂音的三個聲音指標，包括純淨度、厚實度與音量均衡度，能夠經由客觀的聲音指標，評估二胡之樂音特性。
2. 我們利用問卷調查來檢視聲音指標，結果發現純淨度與音量均衡度的定義與問卷調查結果相當符合；至於厚實度方面，我們必須先將厚實度的聲音樣本之音量調整到相同大小，而後再次進行問卷調查，以確定對於厚實度定義之修正是否正確。
3. 經由理論與實驗量測之結果，我們找出二胡產生狼音的原因與改良的方法，並設計出兩種狼音抑制器來抑制狼音的發生，然後將聲音導入指標進行評估，發現純淨度有些微的降低，雜音的音量有些微的增加，但是增加的幅度大部分都小於 3dB(A)；而在厚實度方面，低、中及高頻三個頻帶各增加了 3.9dB(A)、5dB(A)及 2.5dB(A)；最後在音量均衡度方面，其絕對平均差的平均值也從原本的 4.4，降低到了 3.5，所以除了純淨度之外，厚實度與音量均衡度皆有正面的幫助。之後我們會對目前發展的狼音抑制器作進一步的修改，以便使得純淨度也能有所改善。

對於未來研究方向，我們提出以下建議：

1. 由三項整理出來的二胡聲音指標中，可以看出客觀數據上與主觀評價之間的關係，未來只需要依照這些聲音指標所定義的客觀數據進行分析與改良，相信就能改善現有的二胡樂音了。相對的，在進行二胡改良的時候，便可以將改良後之二胡樂音帶入聲音指標中進行判斷，觀察指標是否有改善，如此便可以快速判斷改良是否有效，並確認改良的方向是否正確。
2. 厚實度這項指標有必要區分成渾厚度與密實度兩個指標，密實度專指整體音量之大

小；而渾厚度專指聲音在低頻的表現，未來若能將中高頻的比重對整體音色的影響加以考慮的話，就能更為完整。

3. 還有許多二胡主觀評估標準，包括靈敏度、穿透性、甜美度、鼻音現象、尖與噪等等，也是判斷二胡好壞的指標，若能試圖找出這些聲音指標的定義，除了能客觀判斷二胡樂音的特性之外，也能夠提供改良二胡的方向。

六、參考文獻

- [1] Hutchins, C. M., *Research papers in violin acoustics, 1975-1993: with an introductory essay, 350 years of violin research*, Published by the Acoustical Society of America through the American Institute of Physics, New York, 1997.
- [2] Hutchins, C. M., "Measurable Characteristics of Violin-Family Instruments in Relation to the Sound of a High-Quality Violin," *MRS Bulletin*, Vol. 20, No. 3, pp. 29-31, 1995.
- [3] Hutchins, C. M., "The Air and Wood Modes of the Violin," *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol. 46, No. 9, pp. 751-765, 1998.
- [4] Fletcher, N. H., and Rossing, T. D., *The Physics of Musical Instruments*, Springer, New York, 1998.
- [5] David, M. H., and James, A., *Acoustics and Psychoacoustics*, Focal Press, Boston, 2001.
- [6] 董榕森，劉天華南胡音樂研究，學藝出版社，1992。
- [7] 鄭德淵，中國樂器學，生韻出版社，1984。
- [8] 鄭德淵，音樂音響學（上冊），樂韻出版社，1981。
- [9] 林昱廷，南胡空弦弦長的科學分析研究，學藝出版社，1995。
- [10] 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。
- [11] 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。
- [12] Zwicker, E., and Fastl, H., *Psychoacoustics: Facts and Models*, Springer, New York, 1999.
- [13] Lyon, R. H., *Designing for Product Sound Quality*, Marcel Dekker, New York, 2000.