

## 小型奈米碳管加勁複合材料平板揚聲器之最佳化設計與製造

賴峯民<sup>1</sup> 施煒聖<sup>2</sup> 陳政宏<sup>2\*</sup> 樓譯仁<sup>1</sup> 馮筱庭<sup>1</sup>

<sup>1</sup>大葉大學材料科學與工程系（彰化縣大村鄉學府路 168 號）

<sup>2</sup>大葉大學工業工程與管理系（彰化縣大村鄉學府路 168 號）

\*r0115032@mail.dyu.edu.tw

### 摘要

本文主要研發一具質量輕、厚度薄、頻寬廣的全音域之小型奈米碳管加勁複合材料平板揚聲器。本文研製二種揚聲器的規格分別為30mm×18mm×7mm及50mm×14mm×7mm(長×寬×高)。利用ANSYS套裝軟體進行揚聲器的聲壓分析，並配合粒子群演算法搜尋揚聲板在不同長寬比下的平板揚聲器之最佳製造參數(包括巴沙木與奈米碳管的厚度比、懸邊系統的彈性係數及激振板的大小)，使得各音域聲壓差平方和的最小化，同時改變激振結構以產生最大推力下，使得聲壓曲線達到最平滑且聲壓最佳，讓研發的揚聲器達到省電、動感且渾厚而不失真。

並根據最佳製造參數結果來選定材料及設計製造懸吊系統的模具，製作懸吊系統，並組裝成小型奈米碳管加勁複合材料平板揚聲器，同時理論分析與實驗值進行比較，以證實最佳化理論的正確性。

**關鍵字：**懸吊系統、平板揚聲器、最佳化、奈米碳管、製造參數

### 1. 前言

目前的 3C 產品上所使用的揚聲器多為傳統圓錐形揚聲器，傳統揚聲器(圖 1)因受限於尺寸的大小，使得 $f_0$ 值的提高，造成喇叭在低頻嚴重失真，現在的消費者愈來愈注重揚聲器所帶來的聽覺效果，而傳統的揚聲器已無法滿足現代人的需求，故本文將研發全音域之小型奈米碳管加勁平板揚聲器(圖 2)，以滿足消費者及產品開發設計的需求。

一般傳統型揚聲器的主要由振動系統、支撐輔助系統及磁迴路系統三大部份所構成，其構造圖如圖 1 所示，揚聲器之所以會發出聲音是因為線圈與振膜相連，當給予線圈一電流時，線圈便會帶動振膜振動，而振膜推動周圍的空氣進而使揚聲器發出了聲音。揚聲器的好壞最簡單的是以聲壓頻譜曲線來決定此揚聲器的優劣，曲線愈平滑愈好，本文研究之評判標準亦為此。

本文研究的小型平板揚聲器的激振器 K 型激振器(2004)，此激振器的優點為質量輕、厚度薄、激振力量大、可任意改變激振器形狀、位置及大小，此激振器非常適合應用在小型揚聲器的開發上。本研究將進行理論分析與實驗量測來驗證其結果的正確性，針對奈米碳管加勁複合材料揚聲板與懸邊系統來進行討論，並利用耐久實驗來穩定揚聲器整體的品質，在進行產品模組化時，使揚聲器在長期使用下依然有良好的音質。

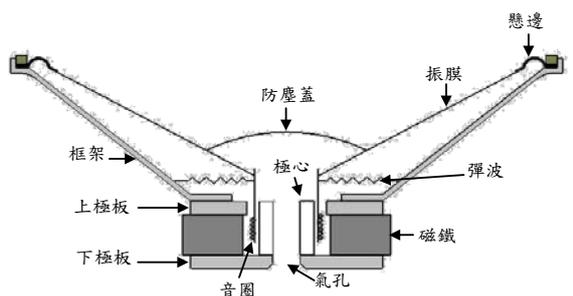


圖 1 傳統圓錐型揚聲器

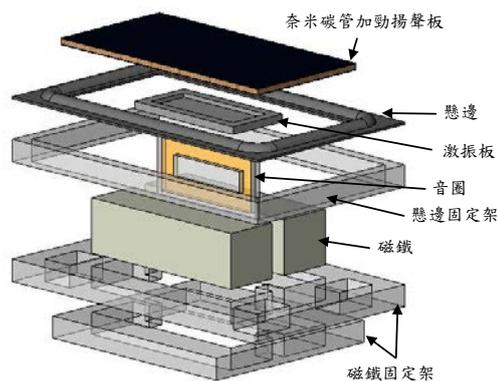


圖 2 小型平板揚聲器示意圖

## 1.2 文獻回顧

揚聲器裝置最早出現的紀錄約為 100 多年前，由 Alexander Graham Bell 所研發出的專利，也就是 telephone receiver(1876)，Gander(1984)發表了關於動圈式激振器的完整架構說明，以實驗測出不同情況的頻率響應圖，有利於電腦模擬測試揚聲器聲壓，施妮君(2006)利用有限元素法進行磁場分析與激振力的模擬，使激振效率達到最佳，並找出最佳激振器的製造參數。聲壓方程式方面，Morse(1986)中推導出了聲壓方程式，Tan(1997)中討論了藉由促動器(actuator)的主動控制對平板聲場的影響。在揚聲板的設計上，蘇鎮隆(2004)應用振動平板材料組成不同邊界設計減緩聲壓曲線的大幅振盪，使曲線更平滑，並以有限元素法分析平板振動行為，探討聲音變化的原因，改變結構設計，提升揚聲器效能。施志鴻[8]提到懸邊勁度較小者自然頻率較早出現，因懸邊系統彈性支撐強度較小所以振幅較大，聲壓值亦較大。

演算法方面，粒子群最佳化演算法(Particle Swarm Optimizer, PSO)是 1995 年由 Eberhart and Kennedy 所提出的進化計算技術 (Evolutionary Computation)。陳紘煒(2005)利用 Mindli 理論來推導複合材料殼構件的力學行為分析，並應用粒子群演算法(PSO)來搜尋複合材料殼構件的最佳化疊層角度，李東穎(2006)使用粒子群演算法(PSO)，找出改善小型平板揚聲器中音谷現象的最佳製造參數。Dorigo (1991)基於觀察群居昆蟲的覓食行為提出了群蟻演算法(Ant Colony Optimization, ACO)，許雅真(2006)利用分層一階剪變形理論來推導複合材料板的位移與強度分析，並應用群蟻演算法求出疊層板位移之最佳化。

## 1.3 研究流程

本研究主要利用 FORTRAN 來撰寫最佳化方法並配合 ANSYS 有限元素分析軟體來進行揚聲器聲壓曲線的模擬，找出最佳的製造參數。實驗方面，利用 LMS 聲壓頻譜儀量測聲壓曲線與理論值驗證，採用粒子群演算法來進行揚聲器的參數搜尋，揚聲器的製造參數主要有揚聲板厚度、懸邊彈性係數、激振板的大小進行搜尋，並利用最佳化製造參數，使各個區域的聲壓曲線較平滑，以達到全音域揚聲器的目標。利用耐久實驗來穩定揚聲器整體的品質，使揚聲器在長期使用下仍然有良好的品質，最後將進行揚聲器的模組化，有利於產品的開發及製造。

## 1.4 聲壓理論

假設聲源的力是簡諧激振的模式，且其簡諧激振響應的解採用穩態解。考慮聲音接收處是位於垂直中心點  $r$  處，接收時間考慮使用的頻率區間(20Hz~20kHz)，則各頻率之聲壓值表示如(1)式：

$$p(\text{frequency}) = \frac{-\omega^2 \rho_{\text{air}}}{2\pi} \sum_i (A(x_i, y_i) \times \cos(\theta_i - kr_i)) \frac{\Delta S}{r_i} \quad (1)$$

通常量測聲音使用的尺度是分貝(Decibel, dB)，分貝基本上是一個對數尺度(Log Scale)，原因為聲音的動態範圍很大，而人耳對聲音的感覺也較為接近對數尺度，聲壓位準(Sound Pressure Level, SPL)可表示成(2)式：

$$SPL = 20 \log\left(\frac{P_{rms}}{P_{ref}}\right) (\text{dB}) \quad (2)$$

其中  $P_{rms}$  為量測點聲壓之均方根值， $P_{ref} = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$  為聲壓參考值，一般在測量聲壓的儀器看到的聲壓曲線即為頻率響應曲線，X 軸為頻率(Hz)，Y 軸為聲壓值(dB)，揚聲板與點聲源間的距離示意圖如圖 3。

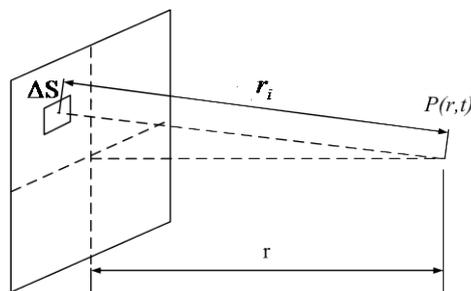


圖 3 揚聲板與點聲源間的距離示意圖

## 2. 研究方法

本文將採用粒子群演算法及電腦輔助工程分析軟體 ANSYS 來進行小型平板揚聲器的研究。粒子群演算法是根據自然界生物群體活動的現象，如魚群、鳥群的集體搜尋食物及移動，自 1990 年開始，便有許多學者利用自然界生物的群體行為來開發最佳化的技術，能有效縮短搜尋時間，引用至今都具有不錯的效果。揚聲器模型分析採用電腦輔助工程(CAE, Computer Aided Engineering)軟體來進行，ANSYS 為有限元素法(Finite Element Method)發展而成，其分析是透過電腦的高速運算核心計算，進行產品製程的分析。

### 2.1 粒子群演算法

粒子群最佳化(Particle Swarm Optimization; PSO)，由 Eberhart and Kennedy 1995 年所提出，其概念主要是觀察鳥群及魚群集體捕食行為而衍生。

PSO 其搜尋過程是利用每一個粒子在解空間中對一個最佳的粒子來進行搜索，來達到近似最佳解的目的，其原理為粒子(鳥)在搜尋的過程中，並不知道目標值(食物)的位置，但粒子可以知道目標值距離自己多遠，而粒子群知道目前距離目標值最近的一個粒子，只要跟隨距離目標值最近的粒子，即能更接近

目標值，圖 4 為粒子搜尋示意圖。

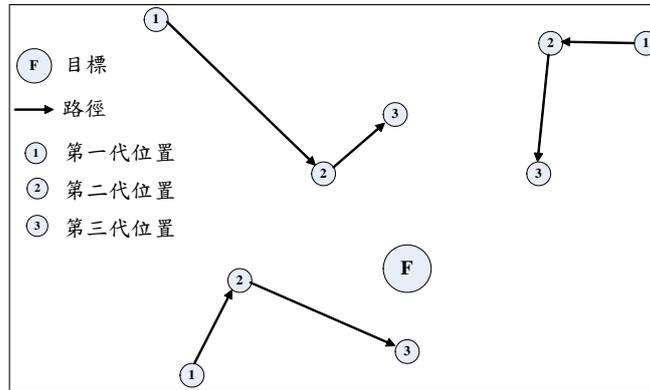


圖 4 粒子群演算法搜尋示意圖

在求解空間中，每一粒子都有其初始位置(X)及移動距離(V)，來決定其方向及位置，計算每個粒子所求得的適應值(Fitness Value)，以適應值來找出目前最佳的粒子，並跟隨目前最佳的粒子進行搜尋，其搜尋步驟如下說明，圖 3.2 為粒子群演算法之流程圖：

步驟一：設定參數，決定粒子數、慣性權重、學習因子，並隨機產生初始位置及初始速度。

步驟二：計算每個粒子的適合度，找出群體中的 pBest 及 gBest，並代入粒子速度與位置更新(3)(4)式。

$$V_{id}^{new} = W \times V_{id}^{old} + C_1 \times rad_1 \times (P_{id} - X_{id}^{old}) + C_2 \times rad_2 \times (P_{gd} - X_{id}^{old}) \quad (3)$$

$$X_{id}^{new} = X_{id}^{old} + V_{id}^{new} \cdot \Delta t \quad (4)$$

在(3)式中參數  $V_{id}^{new}$  為粒子更新後的移動距離， $V_{id}^{old}$  為粒子上一次的移動距離， $X_{id}^{new}$  為粒子目前的位置， $X_{id}^{old}$  為粒子上一次的位置， $W$  為慣性權重， $C_1$ 、 $C_2$  為學習因子， $rad_1$ 、 $rad_2$  為 0~1 的隨機亂數， $P_{id}$  為 pBest， $P_{gd}$  為 gBest， $\Delta t$  為時間(本文設定為 1)。

步驟三：判斷是否達到終止條件(迭代數)，若未達終止條件即重覆步驟二。

步驟四：達到終止條件即停止搜尋。

本研究目標為全域聲壓差平方和的最小化，生壓曲線分為四個區域(圖 3.6)，其目標函式與限制式如(5)式及(6)式：

$$\text{目標函式} \quad \text{Min} = \sum_{n=1}^4 \alpha_n \times SPL_n^2(P_i, Q_j, R_k, S_l) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{限制式} \quad & SPL(f_o) > 75dB \\ & f_o (Hz) < 700Hz \end{aligned} \quad (6)$$

其中  $\sum_{n=1}^4 (\alpha_n \times SPL_n^2)$  為加權後 4 個區域聲壓差值平方的總合， $\alpha_1 \sim \alpha_4$  為各區域的權重值， $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 1$ ，將

其表示為  $\sum_{n=1}^4 (\alpha_n \times SPL_n^2) = \alpha_1 \times \Delta SPL_1^2 + \alpha_2 \times \Delta SPL_2^2 + \alpha_3 \times \Delta SPL_3^2 + \alpha_4 \times \Delta SPL_4^2$ ， $f_0$  為第一頻的聲壓值，如圖 5 所示。

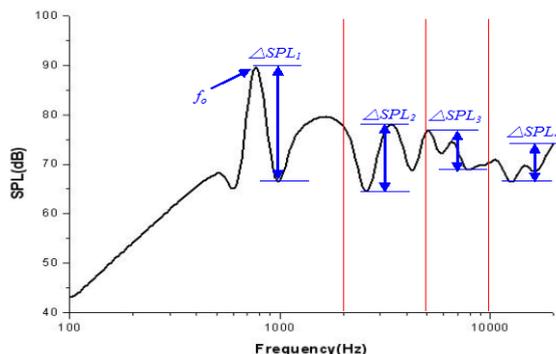


圖 5 四區域聲壓差值示意圖

## 2.2 電腦輔助工程分析

本文利用電腦輔助分析軟體 ANSYS 進行模型的建構與分析模擬，將 ANSYS 分析結果與實驗結果進行比對，確認模型建構與邊界條件設定的正確性。

在有限元素分析上，可將一複雜模型簡化以減少電腦運算的時間，揚聲板以平面元素(Shell91)表示，懸邊部份本文以彈簧元素(Combin14)表示，激振器的質量，以質量節點元素(Mass21)表示，Shell91(圖 6)是用來建立疊層板的元素，可輸入疊層數(最多可輸 100 層)、角度及厚度等，此元素為 8 節點(NODE)元素，每節點有 6 個自由度，Combin14(圖 7)為彈簧元素，此元素由 2 個節點所構成，可輸入彈簧的彈性係數(K 值)，可進行 2D 及 3D 的模擬，Mass21(圖 8)為質量元素，可輸入單一節點質量，來模擬激振器的整體質量，圖 9 為有限元素模型示意圖。

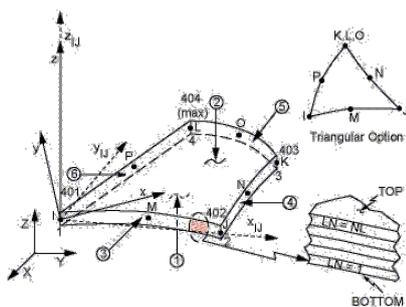


圖 6 Shell91 元素

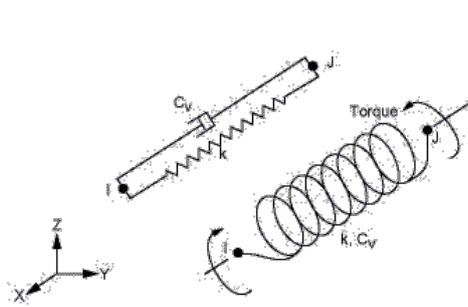


圖 7 Combin14 元素

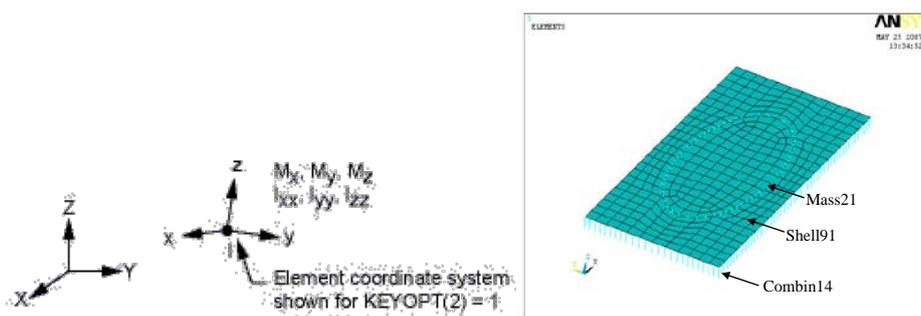


圖 8 Mass21 元素

圖 9 有限元素模型示意圖

本文研究小型揚聲器聲板的激振板形狀分別為長方形(圖 10(a))、橢圓形(圖 10(b))及條狀形(圖 10(c))三種，在有限元素模型邊界條件設定方面，將揚聲板的上、下兩邊的  $UX$ 、 $ROTY$  及  $ROTZ$  方向固定，揚聲板的左、右兩邊的  $UY$ 、 $ROTX$  及  $ROTZ$  方向固定，在激振板方面，將激振板的  $UX$  和  $UY$  方向固定，並在激振板上設定  $COUPLE$ ， $COUPLE$  設定值為 0.01，整體阻尼(Damping)設定為 0.06，邊界條件設定如圖 11 所示。

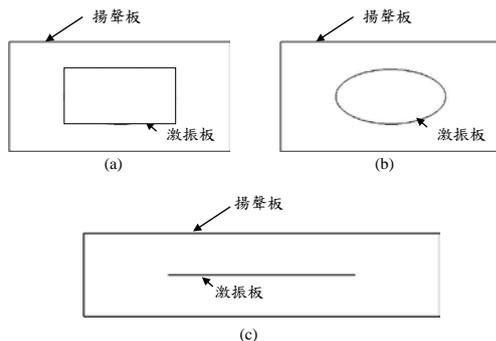


圖 10 激振板形狀示意圖

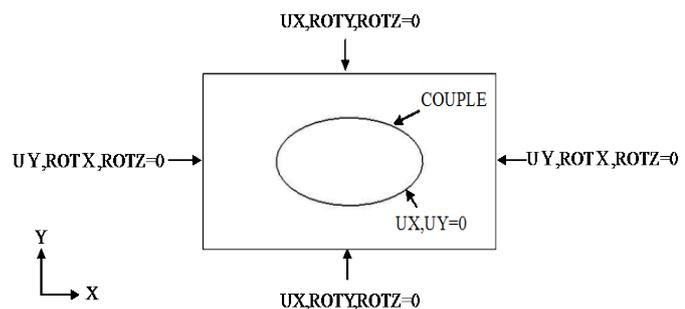


圖 11 邊界條件示意圖

### 3. 小型平板揚聲器製作與量測方法

本文揚聲器的製作包含了揚聲板、懸邊、音圈及固定框架等部份，以下分別說明其製作及組裝方法：

#### 3.1 小型平板揚聲器製作與組裝

本文說明其製作及組裝方法，其步驟如下：

##### 1. 奈米碳管加勁複合材料平面揚聲板之製作：

奈米碳管(Nano-Carbon Tube)是非常好的加勁材料，可用來加強質量輕的夾心層之強度，如要將奈米碳管粉末應用在材料的加勁上，需利用靜電槍或混合環氧樹脂方式，直接噴塗在低剛性材料的表面上，此種技巧稱之為塗裝(Coating)，塗裝之實驗器材需準備巴沙木(飛機木)、奈米碳管、燒杯、攪拌機、電子秤、絹板、刮刀、環氧樹脂、硬化劑，其塗裝技巧及步驟如下說明。

步驟一：取環氧樹脂倒入燒杯中，將的奈米碳管加入燒杯中，放至攪拌機中攪拌數分鐘(圖 12)，使奈米碳管與環氧樹脂混合均勻。

步驟二：將巴沙木置於乾淨的A4 紙上，並將 絹板置於巴沙木上方，將適量混合後的樹脂以縱向或橫向方式倒成一直線，再用刮刀以縱向或橫向方式反覆塗裝均勻，如圖 13 所示。

步驟三：將塗裝後的巴沙木上覆蓋一層離型布，放入熱風烤箱烘烤，使其自然冷卻至室溫取下即完成。

##### 2. 懸邊熱壓成型之製作：

要使揚聲器能夠有寬廣的頻率，懸邊材質的選用很重要，懸邊的軟硬是影響揚聲器 $f_0$ 的高低，因本文所製作的揚聲器是屬於全音域的揚聲器，所使用的懸邊需要具有彈性、足夠的支撐性及不易變形等特性，

故本文將懸邊材料利用熱壓成型的方式改變懸邊的幾何形狀，藉此技術來降低懸邊的彈性係數，其熱壓成型的步驟如下說明：

步驟一：將欲熱壓成型之材料(此以 PU 皮革為試片)剪裁成符合模具之大小。

步驟二：加熱完畢，取出模具使其自然冷卻至適溫，以免造成懸邊產生應力集中而變形。

步驟三：將模具中之懸邊取出，如圖 14 所示，圖中右邊為熱壓成型後之材料。



圖 12 樹脂混合奈米碳管攪拌示意圖

圖 13 奈米碳管塗裝過程

圖 14 熱壓成型懸邊示意圖

### 3. 複合材料音圈之製做：

本文所採用之 *K* 型激振器，使用複合材料來製作其音圈片，以達到更輕更薄的效果，在重量減輕下亦可獲得更大的推力，其碳纖維音圈之製作方式如下說明：

步驟一：音圈片的製作上採用編織複合材料，裁成適當大小，在熱壓模具塗上脫模蠟，在複合材料片的上下覆蓋一層離形布，放置於熱風烤箱中加溫，完成複合材料音圈片。

步驟二：利用接著劑將線圈黏貼於音圈片上，待接著劑乾燥後即完成複合材料音圈，如圖 15 所示。

### 4. 固定架框架及激振板之製作：

在固定框架及激振板的製作上，使用 CNC 銑床來製作，使用材料為厚度 2mm 的壓克力板，完成之固定框架與激振板，如圖 16 及圖 17 所示，若為條狀形激振板則使用複合材料熱壓成型，與音圈一體成形，如圖 18 所示。

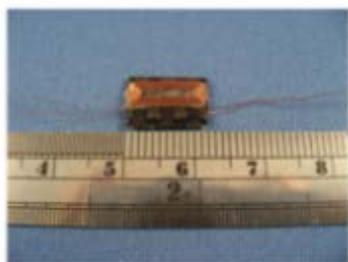


圖 15 複合材料音圈

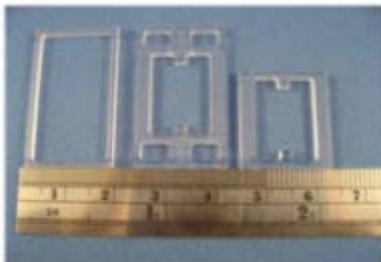


圖 16 懸邊及磁鐵固定框架



圖 17 長方形與橢圓形激振板

### 5. 條狀形揚聲器組裝步驟：

在條狀形揚聲器組裝中，其設計不同的地方在於激振板的部份，其組裝步驟如下：

步驟一：將懸邊中心挖空，使其固定於懸邊框架上，將奈米碳管揚聲板裁剪成所需大小，並黏貼於懸邊上。

步驟二：將複合材料音圈片黏貼於揚聲板上(圖 18)，待接著劑乾燥。

步驟三：將磁鐵固定於框架上，即完成條狀形揚聲器的組裝，如圖 19 所示。

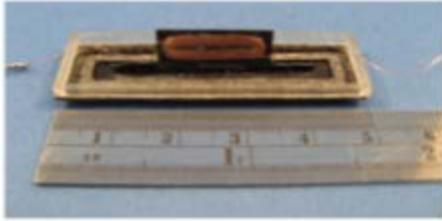


圖 18 條狀形音圈固定示意圖

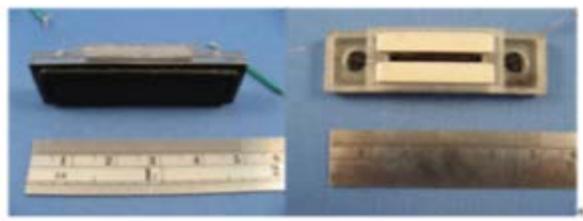


圖 19 條狀形揚聲器組裝完成示意圖

### 3.2 聲壓曲線之量測

聲壓曲線量測方面，在無響室使用 LMS 聲壓頻譜儀來進行聲壓曲線的量測，其量測步驟如下說明：

步驟一：將 LMS 聲壓頻譜儀(圖 20)進行內部校正及外部校正。



圖 20 LMS 聲壓量測軟體



圖 21 聲壓量測示意圖

步驟二：將麥克風及揚聲器固定於無響室內，並將麥克風置於距離揚聲器 10cm 或 30cm 並對準揚聲器中心位置，如圖 21 所示。

步驟三：在 LMS 軟體上設定曲線名稱、輸入電壓、頻率範圍及取樣點數，進行聲壓曲線的量測。

步驟四：將聲壓曲線數據輸出存檔即完成量測。

## 4. 結果與討論

本文依據自行開發的小型平面揚聲器進行理論分析、最佳化設計及實驗量測，為了確保本文 ANSYS 分析的正確性，會以實驗量測數據與分析結果進行比較，並以 PSO 方法設計不同激振樣式的最佳懸邊材料、奈米塗佈厚度及激振面積或長度。最後以最佳化設計參數進行實體量測與應用。

### 4.1 不同激振板形狀與不同幾合懸邊形狀之比較

製作揚聲板 24mm×12mm 大小的揚聲器(揚聲器規格 30mm×18mm×7mm)，並分別使用長方型激振板與橢圓形激振板，而長方形激振板與橢圓形激振板的長與寬一致(圖 22)，利用相同的懸邊材料，將懸邊材料以熱壓成型方式，改變懸邊形狀(圖 23(a)方形懸邊，圖 23(b)半圓形懸邊圖，圖 23(c)三角形懸邊)，進

行實際的聲壓量測做比半圓形懸邊 $f_0$ 值小且平滑度較佳，橢圓激振板之 $f_0$ 值較小，平滑度亦較佳。圖 24 及圖 25 為不同懸邊樣式及激振板樣式的聲壓曲線之實驗結果比較。

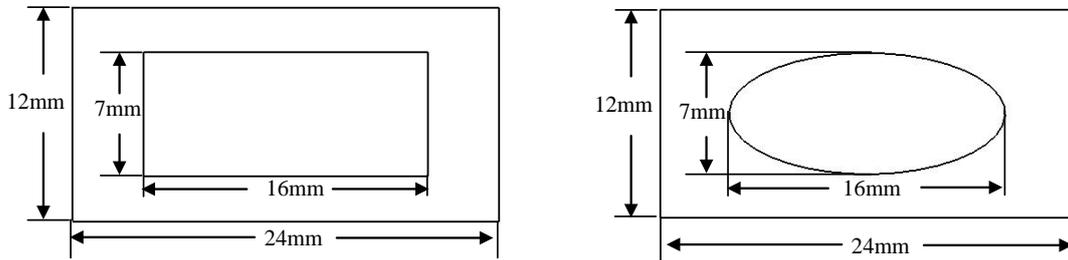


圖 22 揚聲板與激振器示意圖

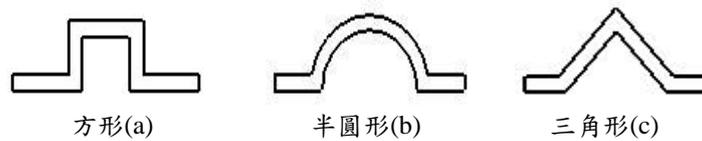


圖 23 懸邊形狀示意圖

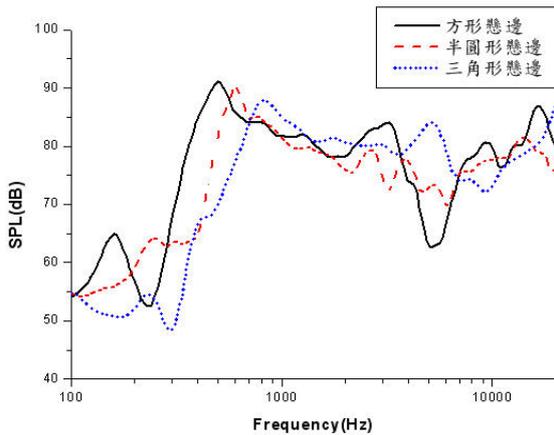


圖 24 不同懸邊聲壓曲線比較(橢圓形激振板)

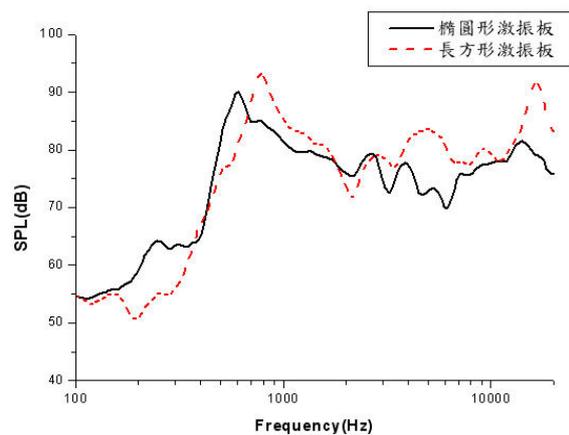


圖 25 不同激振板聲壓曲線比較

#### 4.2 巴沙木揚聲板與奈米碳管塗裝揚聲板之比較

本研究中利用奈米碳管塗裝技術來加強揚聲板的勁度，使聲壓曲線在高頻時的曲線更平滑，本文分別用巴沙木與奈米碳管塗裝之揚聲板製作條狀形揚聲器，揚聲板大小為 44mm×8mm，懸邊使用半圓形黑色 PU 皮革，激振長度為 34mm 進行聲壓實驗，由實驗結果顯示(圖 26)，使用奈米碳管塗裝之揚聲板在高頻的部份其聲壓曲線較為平滑，頻率響應範圍較寬廣。

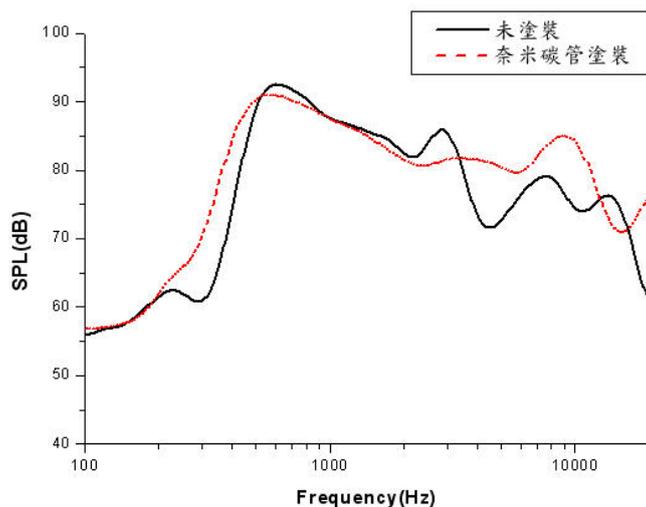


圖 26 不同揚聲板之聲壓比較圖

### 4.3 設計方法一(條狀形揚聲器之設計)

條狀形揚聲器設計中以巴沙木與奈米碳管的厚度、懸邊彈性係數及激振長度比為製造參數，其巴沙木與奈米碳管的材料常數為表 1。本文的條狀形平面揚聲器設計之揚聲板之大小為 44mm×8mm (揚聲器規格 50mm×14mm×7mm)，圖 27 為揚聲器參數設計示意圖，懸邊彈簧分佈於揚聲板上，a' 為激振長度。

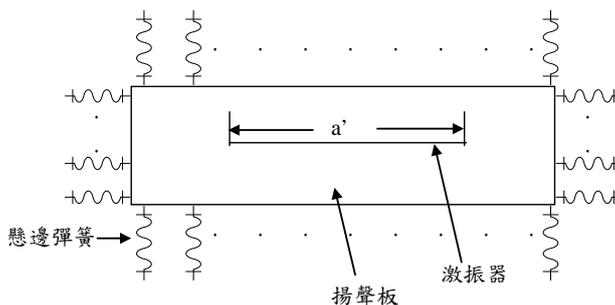


圖 27 揚聲器參數設計示意圖

本文設計之研究目標為全域聲壓差距最小化，聲壓曲線切割為四個區域，分別為 100Hz~3000Hz、3000Hz~6000Hz、6000Hz~13000Hz 及 13000Hz~20000Hz，製造參數編碼如表 2~表 4，其目標函式及限制式如(7)(8)式：

$$\text{目標函式} \quad \text{Min} = \sum_{n=1}^4 \alpha_n \times \text{SPL}_n^2(P_i, Q_j, R_k) \quad (7)$$

$$\text{限制式} \quad \text{SPL}(f_o) > 75\text{dB} \quad (8)$$

$$f_o(\text{Hz}) < 700\text{Hz}$$

$P_i = [P_1 / \dots / P_7]$  為巴沙木與奈米碳管厚度比樣式， $i$  從 1~7。

$Q_j = [Q_1 / \dots / Q_{13}]$  為懸邊彈簧之彈性係數， $j$  從 1~13。

$R_k = [R_1 / \dots / R_7]$  為激振板(a')的長度， $k$  從 1~7。

本文利用變異數分析來決定各區域之權重值，使用變異數來定義聲壓曲線的平滑度，變異數愈小代表曲線愈平滑，本文聲壓值的變異數為取 $f_0 \sim 20\text{kHz}$ 之聲壓值。表 5 為四個區域之權重值及聲壓值的變異數，由變異數結果顯示，權重值為  $\alpha_1=0.2$ 、 $\alpha_2=0.3$ 、 $\alpha_3=0.3$ 、 $\alpha_4=0.2$  時之變異數最小，故此設計方法將利用權重值進行全域聲壓曲線的最佳化設計。

表 1 巴沙木及奈米碳管之材料性質

材料參數	巴沙木	奈米碳管
$E_1$	3.18Gpa	8.46Gpa
$E_2=E_3$	0.15Gpa	8.46Gpa
$\nu_{12}=\nu_{13}$	0.02	0.3
$\nu_{23}$	0.05	0.3
$G_{12}=G_{13}$	0.02Gpa	3.25Gpa
$G_{23}$	0.0033Gpa	3.25Gpa
Density	233.74(kg/m <sup>3</sup> )	1053.86(kg/m <sup>3</sup> )

表 2 巴沙木與奈米碳管的厚度編碼

振膜樣式	1	2	3	4	5	6	7
巴沙木厚度(mm)	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7
奈米碳管厚度(mm)	0.066	0.061	0.056	0.05	0.045	0.039	0.033
編碼	0	1	2	3	4	5	6

表 3 激振長度比例編碼

激振板長樣式	1	2	3	4	5	6	7
長軸比例(a')	0.55	0.60	0.65	0.7	0.75	0.80	0.85
編碼	0	1	2	3	4	5	6

表 4 懸邊彈性係數編碼

彈簧樣式	1	2	3	4	5	6	7
總 K 值(N/m)	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
編碼	0	1	2	3	4	5	6
彈簧樣式	8	9	10	11	12	13	
總 K 值(N/m)	5500	6000	6500	7000	7500	8000	
編碼	7	8	9	10	11	12	

表 5 四區域權重值(條狀形)

權重樣式	100Hz ~3kHz	3kHz ~6kHz	6kHz ~13kHz	13kHz ~20kHz	變異數
權重 1	0.2	0.3	0.3	0.2	89.3
權重 2	0.1	0.3	0.3	0.3	100.07
權重 3	0.1	0.4	0.2	0.3	98.04

經最佳化方法迭代後目標值由 349.67 降為 138.688，可增加聲壓曲線的平滑度，其結果如表 6 所示，其中 m 為巴沙木厚度，n 為奈米碳管厚度。

表 6 迭代結果(b/a=0.5)

結果	振膜厚度 (mm)	總 K 值 (N/m)	a'	$\sum_{n=1}^4 (\alpha_n \times SPL_n^2)$
初始解	m=0.45 n=0.061	2000	0.55	349.67
最佳化	m=0.65 n=0.039	4000	0.75	138.688

#### 4.4 最佳化結果驗證

利用條狀形揚聲器之最佳製造參數製作揚聲器，將此揚聲器進行聲壓量測，其理論值與實驗值之比對如圖 28 所示。

本文選用任意製造參數與最佳化結果比對其聲壓曲線，任意解之製造參數如表 6 所示，其聲壓實驗比對結果如圖 29 所示，其中 m 為巴沙木厚度，n 為奈米碳管單層厚度。由圖 29 的結果顯示，最佳化之

製造參數可以使聲壓曲線更為平滑。

表 6 條狀形揚聲器的製造參數

任意製造參數			最佳化製造參數		
振膜厚度 (mm)	總 K 值 (N/m)	激振長度 (mm)	振膜厚度 (mm)	總 K 值 (N/m)	激振長度 (mm)
m=0.5 n=0.05	1500	20	m=0.65 n=0.05	4000	34

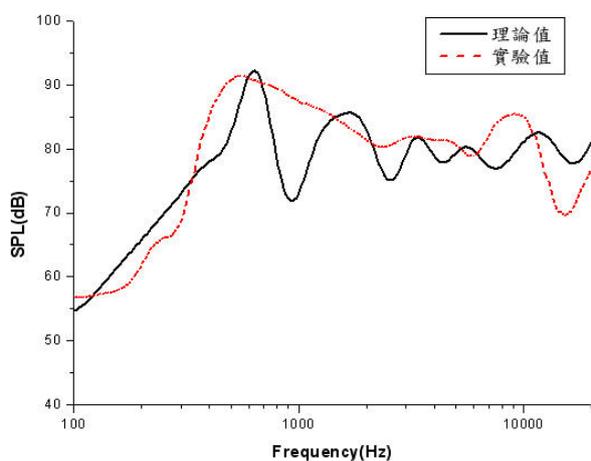


圖 28 條狀形揚聲器之最佳化結果與實驗比對

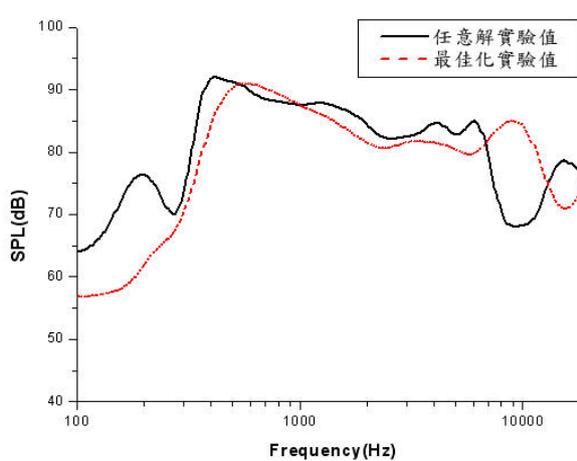


圖 29 任意解與最佳化實驗值比對

#### 4.5 產品模組化

開發完成之小型平板揚聲器可應用在小型 3C 產品上，本文將應用在筆記型電腦上，圖 30 為 NB 電腦內的揚聲器，將本文研發之揚聲器安裝於 NB 上(圖 31)。



圖 30 NB 揚聲器



圖 31 小型平板揚聲器產品化組裝示意圖

### 5. 結論

本文應用奈米碳管塗裝之揚聲板進行小型平板揚聲器之製作，並應用粒子群演算法找出全音域揚聲

器的最佳製造參數，並以實驗來驗證最佳化結果。根據本文研究之結果可歸納出下列幾點結論：

1. 由實驗與模擬分析結果中，可以得知 ANSYS 可應用在揚聲器聲壓曲線的分析上，其模擬曲線與實驗曲線已有一致性的結果。
2. 使用粒子群演算法可以有效的降低各個區域聲壓值的落差。
3. 在相同材料中改變懸邊的幾何形狀下，可發現使用方形懸邊的  $f_0$  頻率較半圓形懸邊與三角形懸邊的  $f_0$  頻率來的低。使用半圓形懸邊其中音谷聲壓差值較小，整體曲線也較為平滑。
4. 使用橢圓形激振板在中音的部份聲壓值較低，使用方形激振板在高頻的部份聲壓值較高，若以整體曲線平滑度來看，使用橢圓形激振器的聲壓曲線較優。
5. 由實驗結果證明，奈米碳管塗裝技術確實能提高巴沙木之勁度，能提高頻率響應範圍，並使高頻處之聲壓曲線趨於平緩，達到更平滑的效果。
6. 由理論值與實驗值比對之結果，發現  $f_0$  處的聲壓值可吻合，在高頻的部份其聲壓曲線的趨勢也有一致性。
7. 在揚聲器的製作上，其較為困難的部份為增加線圈長度及音圈的定位方式，減少音圈與磁鐵摩擦而產生的雜音及溫度。

## 誌謝

本文的研究經費獲得大葉大學 100 年度校內型計畫的經費贊助，在此感謝。

## 參考文獻

- 蘇鎮隆（2004）。複合材料板的聲傳平滑研究。國立交通大學機械工程研究所碩士論文，新竹市。
- 施志鴻（2004）。具彈性支撐複合材料圓板之振動及聲傳研究。國立交通大學機械工程研究所碩士論文，新竹市。
- 許雅真（2005）。應用類啟發式演算法於複合材料板之高勁度設計與輕量化設計。私立大葉大學工業工程與科技管理研究所論文。
- 陳紘煒（2005）。複合材料殼構件的力學行為分析與最佳化設計。私立大葉大學工業工程與科技管理研究所論文。
- 李東穎（2006）。奈米碳管加勁複合材料平板式揚聲器之最佳設計。私立大葉大學工業工程與科技管理研究所論文。
- 施妮君（2006）。平板式激振器之研製。私立大葉大學工業工程與科技管理研究所碩士論文。
- BELL, A. G. (1876), US, Patenet No. 174465
- Meyer, D. G., (1984), Computer Simulation of Loudspeaker Directivity, JAES, Vol.32(5), pp. 294-315.
- Morse, P. M. and Ingrad, K. U. (1986), Theoretical Acoustics, McGraw-Hill, NY, 1968;rpt. Princeton University Press, NJ, pp. 375-379.
- Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colorni, A. (1991), Positive Feedback as a Search Strategy, Technical Report 91-016, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano. IT,
- Wylie, C. R. and Barrett, L. C., (1995), Advanced Engineering Mathematics, McGraw-Hill, New York.
- Kam, T.Y (2004), US Patenet No. US006681026B2.

Tan, C. C. and Hird, C. I. , (1997) , Active Control of the Sound Field of a Constrained Panel by an Electromagnetic Actuator-an Experimental Study, Applied Acoustics, Vol. 52, No. 1, pp. 31-51.

## OPTIMAL DESIGN AND MANUFACTURE OF MINIATURE FLAT-PANEL SPEAKERS STIFFENED BY NANO- CARBON TUBE COMPOSITES

*Feng Min Lai*<sup>1</sup> *Wei Sheng Shih*<sup>2</sup> *Cheng Hung Chen*<sup>2\*</sup> *Yi Ren Lou*<sup>1</sup> *Xiao Ting Feng*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Materials Science and Engineering, Da-Yeh University

<sup>2</sup> Department of Industrial Engineering & Management, Da-Yeh University

\*r0115032@mail.dyu.edu.tw

### ABSTRACT

The main object of this paper is developed a miniature flat-panel speakers stiffened by nano-carbon tube composites which are low frequency sound quality, smooth curve of sound pressure, and reduce the decay rate of high frequency sounds. The several standard of flat-panel speakers stiffened including the 30mm×18mm×7mm and 50mm×14mm×7mm. The paper is used the ANSYS software to solved the sound curve in flat-panel speakers stiffened and used optimal theory to solved optimal manufacture parameters (including the thickness ratio of flat-panel speaker and nano-carbon tubes that in the same weight, boundary condition and spring constant of suspension system, vibration area and location) which make the sound pressure value curve is smooth in global frequency. The flat-panel speakers stiffened which is developed by this project can reach the goals of economize electric power, maximum bearing, the low-frequency had powerful voices and the high-frequency had a better clarity.

According to the best results of manufacture parameters, the materials and molds of suspension system are choused to manufacture suspension systems and fabricate miniature flat-panel speakers stiffened. The experimental and optimal methods are presented to study the optimal sound pressure curve of flat-panel speaker. The optimal methods proved to be accuracy.

**Keywords:** Suspension system, flat-panel speaker, nano-carbon, optimal, sound quality, manufacture parameters