

微型振動試驗機 之性能評估

利用控制方塊流程進行頻率響應函數（轉移函數）測試，可應用於各種量測或測試設備之性能評估，有助於瞭解其適用之測試條件與限制。

♪ 國立屏東科技大學機械工程學系教授 王栢村
國立屏東科技大學機械工程學系研究生 黃宗淇
金頓科技股份有限公司 研發處處長 李昆達

環境試驗項目主要包含振動、衝擊、落下試驗等，而振動試驗主要以振動試驗機進行測試，且廣泛應用到諸多產業，如 3C 產業、國防科技、機械元件、汽機車零組件等。使用振動試驗機進行試驗前，需先確定其相關組件之特性及適用範圍，如此才能確保實驗品質。

本文將對微型振動試驗機之相關組件作性能測試，包含功率放大器(Power Amplifier)、激振器(Shaker)、垂直與滑動平台傳輸比、垂直平台平坦度測試等四個項目，文中將針對這四項之測試原理、步驟及結果加以說明，提供微型振動試驗機相關組件之試驗方法，以供未來使用參考之依據。

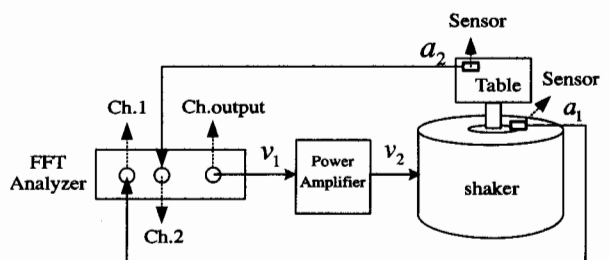
微型振動試驗機之簡介

本文使用頻譜分析儀及加速度計對微型振動試驗機相關組件進行實驗，表一為實驗儀器及型號。圖一為微型振動試驗機之實驗接線示意圖，圖二為微型振動試驗機整體訊號傳遞過程及經由快速傅立葉(Fast Fourier Transform, FFT)轉換後之流程圖，其訊號傳遞步驟如下：

- (1) 如圖二首先由頻譜分析儀產生一白噪音(white noise)之隨機訊號，以電壓訊號(v_1)傳至功率放大器
- (2) v_1 通過功率放大器放大訊號傳至激振器，此時亦為電壓訊號(v_2)
- (3) v_2 傳遞至激振器，此時可使激振器產生作動，再以加速度計貼附於激振器測試面上，可量測得激振器測試面加速度訊號(a_1)

表一 實驗儀器及型號

儀器名稱	型號
微型振動試驗機	KING DESIGEN 2kgf
功率放大器	AMP-300W-E
頻譜分析儀	SigLab model 20-42
加速度計	Kistler Type:8732A500 PCB MODEL:352B10
實驗模態分析軟體	ME scope VES



圖一 微型振動試驗機之實驗接線示意圖

- (4) 如果激振器測試面積太小需加垂直輔助平台擴大測試面積，則同上述(3)，只需將加速度計改貼附於平台測試面，即可量測得平台測試面加速度訊號(a_2)
- (5) 經由頻譜分析儀進行快速傅立葉轉換，將原來時間域下 v_1 、 v_2 、 a_1 、 a_2 、等訊號，轉換為頻率域下之 V_1 、 V_2 、 A_1 、 A_2 訊號，由頻率域下之 V_1 、 V_2 、 A_1 、 A_2 訊號之輸入與輸出關係，得知各別頻率響應函數 H_{V_2, V_1} 、 H_{A_1, V_2} 、 H_{A_2, A_1} 作為本實驗之應用評估。

功率放大器之性能測試

1. 測試原理

由頻譜分析儀產生一白噪音之隨機訊號，以電壓訊號(V_1)輸入至功率放大器，通過功率放大器後以電壓訊號(V_2)輸出，由電壓輸入及輸出之頻率響應函數及相位角關係，即可得知功率放大器之放大倍率(gain)及傳輸比，其頻率響應函數 H_{V_2, V_1} 如式(1)

$$|H_{2,1}| = \left| \frac{V_2(f)}{V_1(f)} \right| = \text{Gain} \quad (1)$$

2. 測試步驟

功率放大器性能評估之實驗架設及接線如圖三與圖四所示，由頻譜分析儀所產生頻寬20kHz之隨機波，並以電壓形式傳至功率放大器，以得知頻譜分析儀電壓輸入(V_1)與功率放大器電壓輸出(V_2)之 H_{V_2, V_1} ，其測試步驟如下：

- (1) 頻譜分析儀之量測及訊號擷取設定如表二。
- (2) 利用圖四之接線方式，由頻譜分析儀產生0.2V、頻寬為20kHz之隨機波。
- (3) 分為兩個訊號，一個訊號接回至頻譜分析儀之 Ch.1 作為電壓輸入(V_1)。
- (4) 另一訊號接至功率放大器，再由功率放大器輸出接回至頻譜分析儀之 Ch.2 作為電壓輸出(V_2)。
- (5) 由電壓輸入(V_1)與輸出(V_2)，即可得知 H_{V_2, V_1} 。
- (6) 再調整功率放大器之放大倍率(Gain)大小進行測試，以得知結果。

3. 測試結果

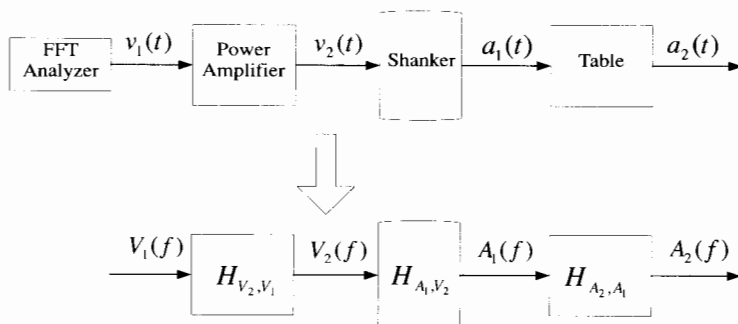
由頻譜分析儀產生之訊號作為電壓輸入(V_1)及功率放大器電壓輸出(V_2)可得到 H_{V_2, V_1} 結果，並調整功率放大器之放大倍率大小對 H_{V_2, V_1} 之影響，結果如圖五，其討論如下：

- (1) 圖5(a)可知功率放大器最大放大倍率為10倍，最小放大倍率為8.3倍。
- (2) 圖5(a)可知最大與最小放大倍率在頻寬0~20kHz區間，其響應相當好。
- (3) 圖5(b)可知在最大與最小放大倍率20Hz之前響應較差。

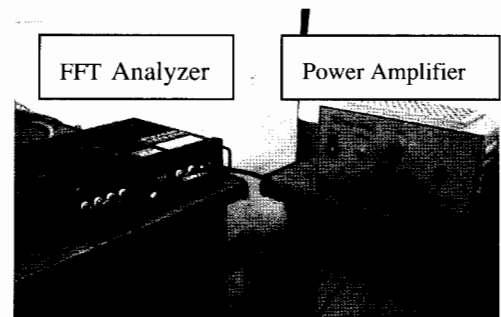
激振器之性能測試

1. 測試原理

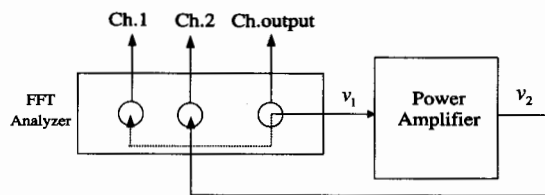
由通過功率放大器之電壓訊號(V_2)當作輸入，



圖二 微型振動試驗機之訊號傳遞及經FFT轉換後流程圖



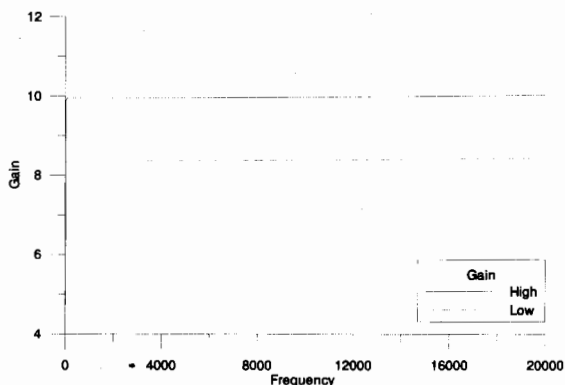
圖三 功率放大器性能測試實驗照



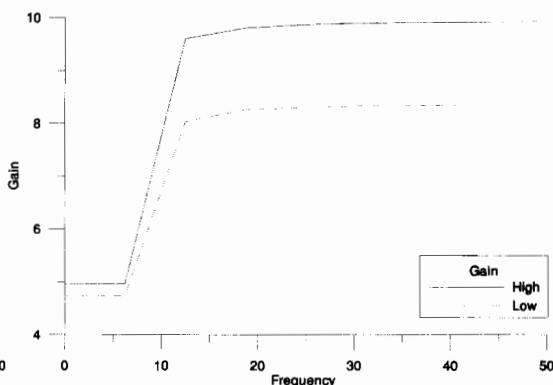
圖四 功率放大器性能測試接線示意圖

表二 頻譜分析儀之量測及訊號擷取設定

頻寬範圍	振動位準	解析度	觸發	平均次數
0~20000Hz	0.2V	8192 條	Free Run	500 次
加權函數		重疊處理		
Hanning		Max Overlap		



(a) 0~20 kHz 測試結果



(b) 0~50Hz 測試結果

圖五 功率放大器 Gain 測試結果

激振器測試面所量測之加速度訊號(A_1)做為輸出，由電壓輸入及加速度輸出，即可得知激振器之頻率響應函數，其頻率響應函數 H_{A_2, V_1} 如式

(2)

$$|H_{1,2}| = \left| \frac{A_1(f)}{V_2(f)} \right| \quad (2)$$

2. 測試步驟

激振器性能測試之實驗架設及接線示意圖如圖六與圖七所示，由頻譜分析儀所產生頻寬 10kHz 之隨機波，經由功率放大器以電壓形式傳至激振器，以得知功率放大器電壓輸入 (V_2) 與激振器加速度輸出 (A_1) 之 H_{A_1, V_2} ，其測試步驟如下：

- (1) 頻譜分析儀之量測及訊號擷取設定如表二，頻寬更改為 10kHz。
- (2) 如圖七，由頻譜分析儀產生 0.2V、頻寬為 10 kHz 之隨機波。
- (3) 通過功率放大器分為兩個訊號，一個訊號接回至頻譜分析儀之 Ch.1 作為電壓輸入 (V_2)。
- (4) 另一個訊號接激振器，再由加速度計量測激

振器響應作為輸出 (A_1)，並接回至頻譜分析儀之 Ch.2。

- (5) 由電壓輸入 (V_2) 及加速度輸出 (A_1)，即可得知其 H_{A_1, V_2} 特性。
- (6) 在激振器上增加重量 351g 及 651g 以測試激振器負載性能。

3. 測試結果

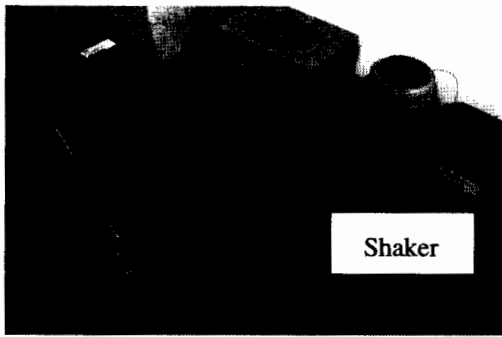
由頻譜分析儀產生訊號，且通過功率放大器之電壓訊號作為輸入 (V_2) 與激振器加速度輸出 (A_1) 之 H_{A_1, V_2} 結果如圖八所示，其討論如下：

- (1) 圖八(a) 可知在頻寬 0~10 kHz 區間，其整體響應好，在低頻處有較明顯之變化。
- (2) 圖八(b) 可知 H_{V_2, V_1} 頻率在 100Hz 之前響應較差。
- (3) 圖九可知激振器在不同負載下之性能曲線。

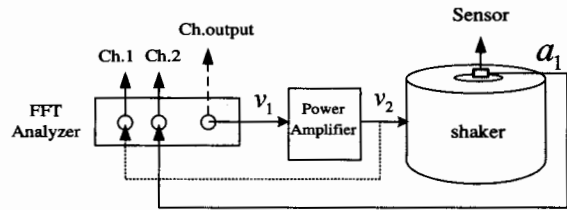
垂直平台與滑動平台之性能測試

1. 垂直平台與滑動平台之傳輸比測試

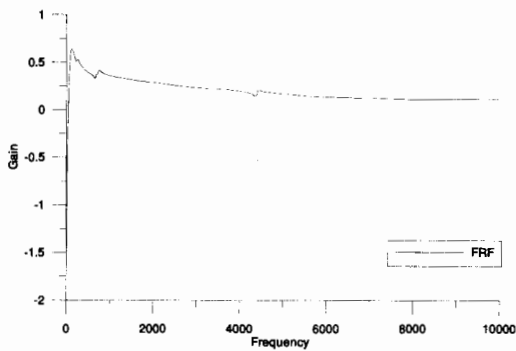
1.1 測試原理



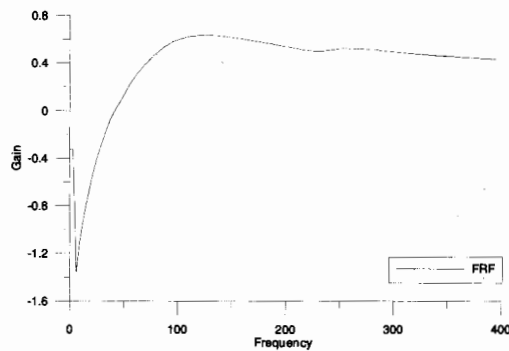
圖六 激振器性能評估實驗照片圖



圖七 激振器性能評估接線示意圖



(a) 0~10kHz 測試結果

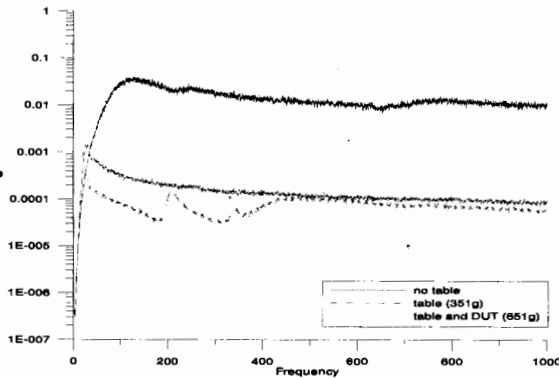


(b) 0~400Hz 測試結果

圖八 激振器之測試結果

表三 激振頻譜設定

頻寬範圍	振動位準	解析度	觸發	平均次數
0~2000Hz	0.2V	2048 條	Free Run	100 次
加權函數		重疊處理		
Hanning		Max Overlap		



圖九 激振器不同負載之性能曲線圖

當振動試驗機執行振動試驗時，平台實際上是處於作業狀態下，故有其需要進行傳輸比測試，亦即使用頻率響應函數原理進行測試，以瞭解平台結構在操作狀態下之振動特性。由激振器測試面加速度訊號 (A_1) 當作輸入，平台測試面加速度訊號 (A_2) 作為輸出，即可得知傳輸比，如式(3)

$$|H_{2,1}| = \left| \frac{A_2(f)}{A_1(f)} \right| \quad (3)$$

1.2 測試步驟

需先進行測試平台之量測點數規劃，包含垂直平台與滑動平台，之後即可進行實驗。表三為激振頻譜設定，當量測點數與實驗儀器架設完成後，即可由頻譜分析儀產生一白噪音的隨機訊號，經功率放大器後由激振器激振平台，並固定激振器測試面之 sensor，並移動平台面上之 sensor 至所有量測點。

量測點規劃

圖十(a) 為垂直平台量測點規劃，取每等分長

10mm，在長寬方向各平均劃分為 10 等分，且四個角落皆取點，總共 104 個量測點，以上所有量測點皆僅量測 z 方向自由度，即垂直於平台測試面的響應。

圖十一(a) 為滑動平台量測點規劃，取每等分長 25mm，在長寬方向各平均劃分為 4 等分總共 16 個量測點，以上所有量測點皆僅量測 x 方向自由度，即為激振之方向。

實驗儀器及加速度計佈置

圖十(b) 及 圖十一(b) 為垂直與滑動平台傳輸比之實驗佈置，圖一為傳輸比之流程接線圖，本實驗共使用二顆單軸向加速度計，其功能及接線情形如下：

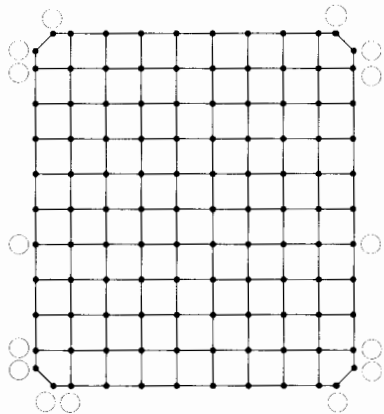
(1) 加速度計 1(a1)：垂直與滑動平台安裝位置皆為激振器測試面，以導線連接到頻譜分析儀

之輸入頻道 Ch.1，用來擷取激振器測試面響應訊號。

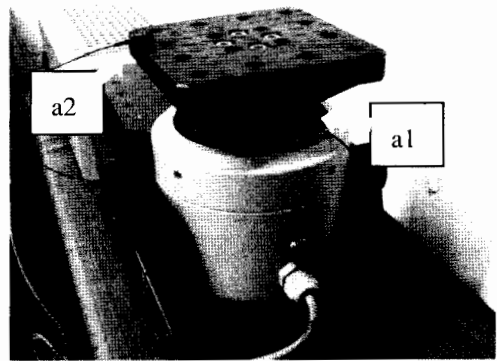
(2) 加速度計 2(a2)：垂直平台在平台測試面 1~104 量測點移動，滑動平台在平台測試面 1~16 量測點移動，並皆以導線接到頻譜分析儀輸入頻道 Ch.2，作為垂直與滑動平台量測位置的響應訊號擷取。

1.3 測試結果

圖十二與圖十三為垂直與水平滑動平台 #1 量測點之頻率響應函數及關聯性函數。關聯性函數大致保持為 1，表示實驗品質相當好。圖十四為垂直與滑動平台之振動特性，其中包含所有實驗量測點之頻率響應函數（傳輸比），並以瀑布圖表示。且顯示垂直與滑動平台各別之共振頻率與模態振型，綜合討論如下：

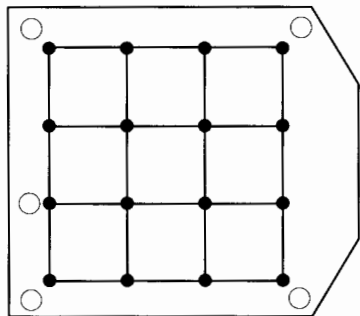


(a) 量測點規劃

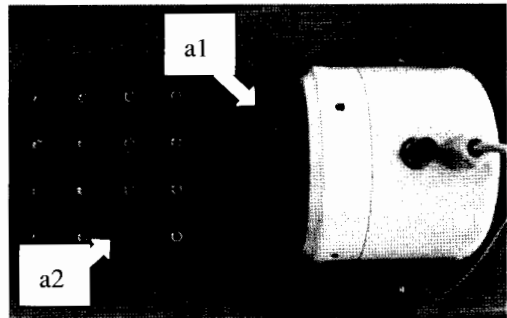


(b) 實驗照片

圖十 垂直平台傳輸比之實驗佈置

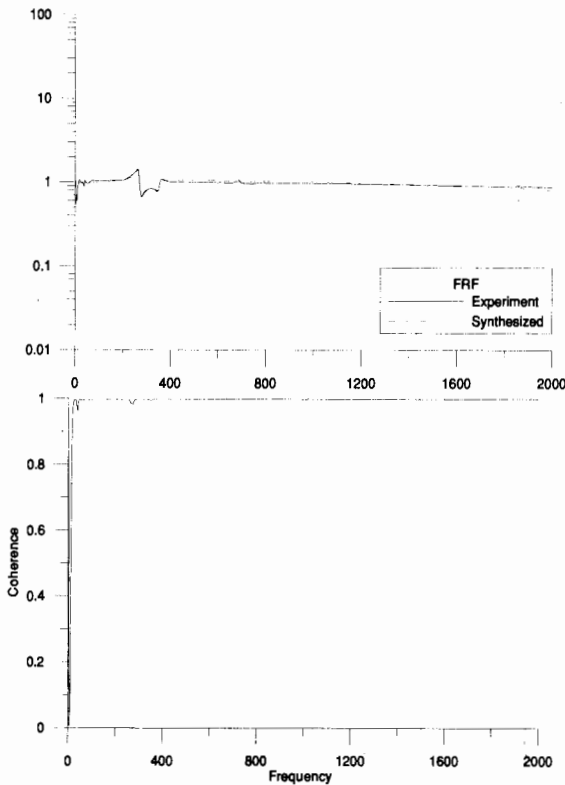


(a) 量測點規劃

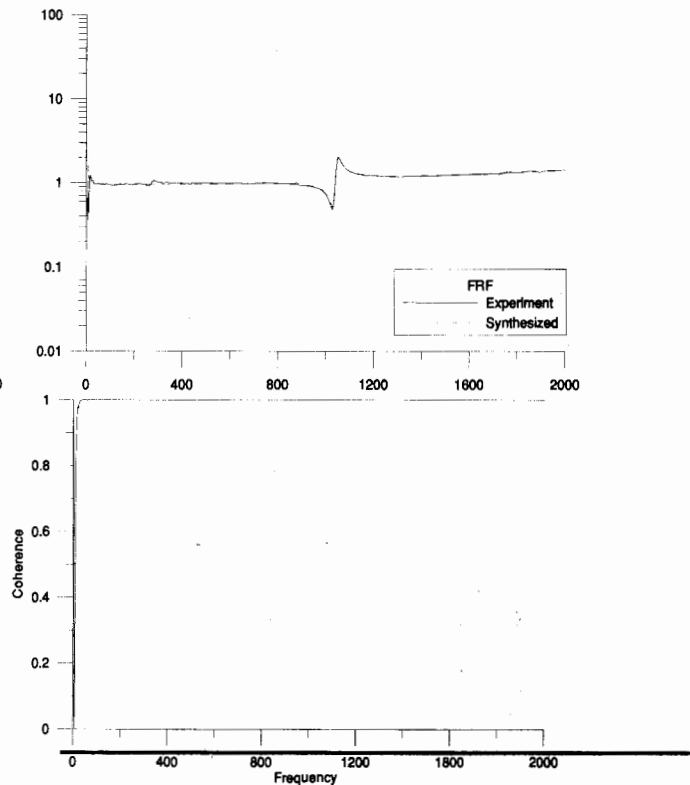


(b) 實驗照片

圖十一 水平傳輸比之實驗佈置



圖十二 垂直平台#1量測點之



圖十三 水平滑動平台#1量測點之

- (1) 頻率 100Hz 以下之起伏，主要為功率放大器及激振器所造成之反應。
- (2) 由瀑布圖可觀察出垂直與滑動平台所有量測點皆有一致的變化，且進行取線嵌合可得到平台之自然頻率與模態振型。

(3) 垂直平台

* 圖十四(a)可知垂直平台有效頻寬為 100Hz~200Hz、400Hz~600Hz、800Hz~1800Hz

* 在操作狀態下無測試物之共振頻率發生在頻率 268Hz 與 355Hz 處，其模態振型如圖14(c)與(e)所示。

(4) 滑動平台

* 圖十四(b)可知滑動平台有效頻寬為 100Hz~800Hz、1200Hz~1800Hz

* 滑動平台在操作狀態下無測試物之共振頻率發生在頻率6Hz與1000Hz處，其模態振型如圖十四(d)與(f)所示。

2.垂直平台平坦度評估

2.1 測試原理與步驟

主要應用振動試驗機之垂直輔助平台在基座激振下，平台測試面之平坦度評估方法，實驗步驟則與傳輸比實驗步驟相同，其平坦度評估方法如下：

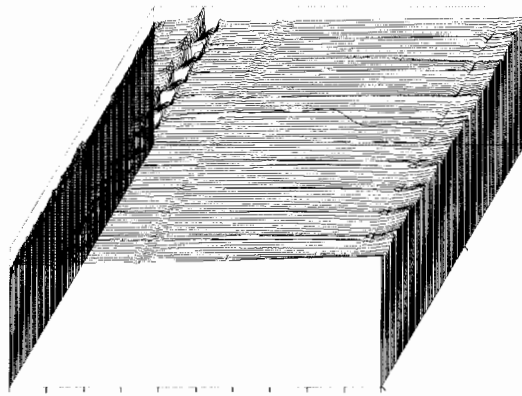
(1) 式(4)為平台測試面任意位置，k為興趣頻率範圍，為控制加速度計在平台測試面上的安裝位置，為設定的白噪音激振位準(Level)，其測試面平坦度定義為：

$$\epsilon_i(f_k) = \frac{\bar{A}_i(f_k) - \bar{A}_{ics}(f_k)}{\bar{A}_{ics}(f_k)} = \frac{\bar{A}_i(f_k) - A_{input}}{A_{input}} \quad (4)$$

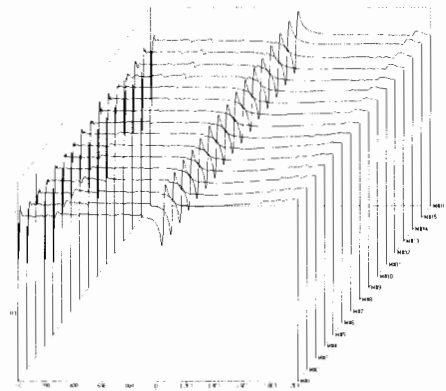
2.2 測試結果

圖十五為以激振器測試面為輸入及平台面測試面為輸出所得之頻率響應函數的測試面平坦度結果，討論如下：

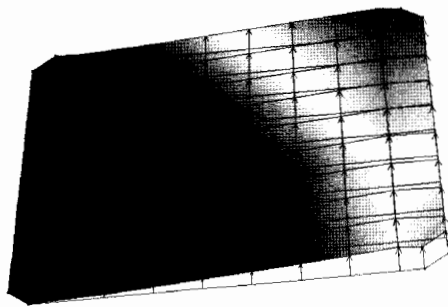
- (1) 由圖十五(b)顯示平台測試面的激振訊號傳輸誤差皆在 10% 以內。
- (2) 平台測試面的激振訊號傳輸誤差由中間向外



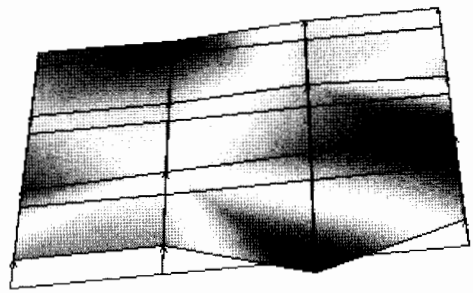
(a)垂直平台測試面傳輸比瀑布圖



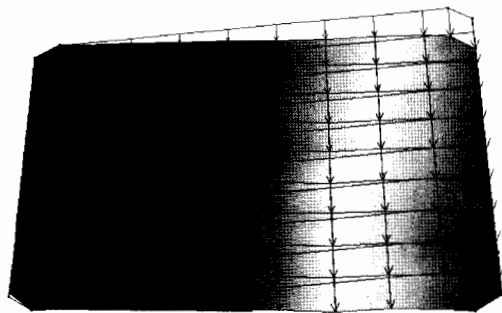
(b)滑動平台測試面傳輸比瀑布圖



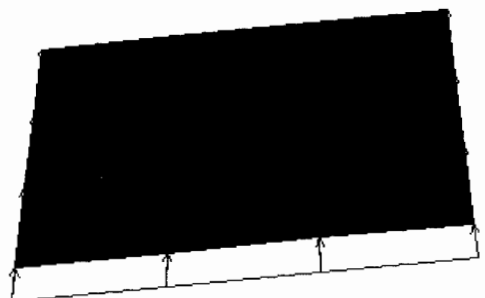
(c)垂直平台 268(Hz)模態振型



(d)滑動平台頻率 6(Hz)模態振型



(e)垂直平台 355(Hz)模態振型



(f)滑動平台 1000(Hz)模態振型

圖十四 垂直平台與滑動平台之振動特性

擴大。

- (3) 並由圖得知中間區域呈現激振訊號的傳輸上升 2%，測試面角落位置呈現激振訊號傳輸上升 6%。

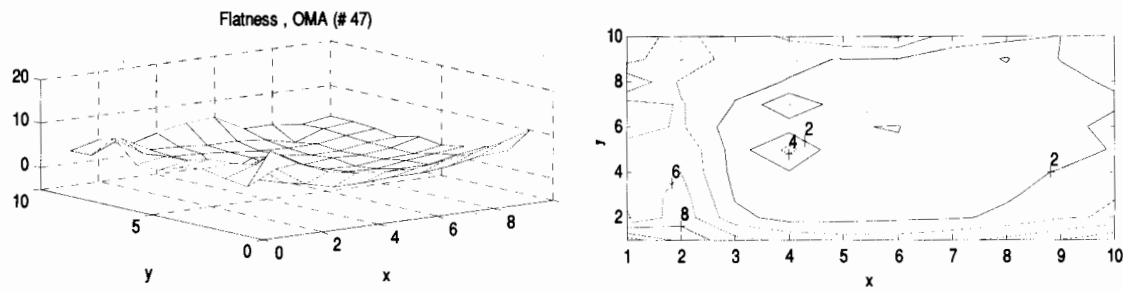
結論

本文主要為發展微型振動試驗機之性能測試

方法，以提供未來振動試驗機性能評估之依據。主要以頻率響應函數之原理應用，對各組件測試其有效頻寬，亦測試垂直與滑動平台之振動特性、垂直平台平坦度等，其綜合結論如下：

- (1) 功率放大器性能

* 最小放大倍率為 8.3 倍



圖十五 平台測試面之平坦度評估結果

- * 最大放大倍率為 10 倍
- * 有效頻寬為 20Hz~20000Hz 可正常使用
- * 建議使用時須避開 20Hz 之前頻率
- * 於工作頻率無影響下，調整功率放大器之倍率

(2) 激振器性能

- * 激振器有效頻寬為 100Hz~20000Hz 可正常使用
- * 建議使用激振器時須避開 100Hz 之前頻率

(3) 垂直平台之性能

- * 有效頻寬為 100Hz~200Hz、400Hz~ 600Hz、800Hz~1800Hz
- * 無測試物之垂直平台在操作狀態下之共振頻率發生在 268Hz 與 355Hz 處，故進行振動試驗時須特別注意
- * 垂直平台測試面的激振訊號傳輸誤差皆在 10% 以內，測試面的激振訊號傳輸誤差由中間向邊緣擴大
- * 中間區域呈現激振訊號的傳輸上升 2%，測試面角落位置呈現激振訊號傳輸上升 6%

(4) 滑動平台之性能

- * 有效頻寬為 100Hz~800Hz、1200Hz~1800Hz
- * 無測試物之滑動平台在操作狀態下之共振頻率發生在 6Hz 與 1000Hz 處，故進行振動試驗時須特別注意

參考文獻

1. 楊長江，2001，「以使用者的品質觀點談振動測試」，電子檢測與品管季刊，第四十五期，第58~59頁。
2. 王栢村，2002，「實驗模態分析之實務與應用」，12小時教育訓練教材，屏東。
3. 王栢村，陳榮亮，2002，「FFT訊號分析儀之功能測試」，量測資訊月刊，第八十四期，第35-39頁。
4. 王栢村，陳志成，李昆達，2005，「振動試驗機垂直輔助平台之性能評估」，中國機械工程學會第二十二屆全國學術研討會論文集，中壢，論文編號：C3-026。