

衝擊平台半弦波產生器幾何尺寸之預測分析與驗證評估

王栢村¹，李沛緯²，李昆達³

¹ 國立屏東科技大學機械工程系教授

² 國立屏東科技大學機械工程系研究生

³ 金頓科技股份有限公司研究發展處處長

國科會計劃編號: NSC-96-2622-E-020-003-CC3

Prediction Analysis and Experimental Evaluation of Half-Sine Programmer Design for Shock Test

Bor-Tsuen Wang¹Pei-Wei Lee²David Lee³

¹ Professor, ² Graduate Student

National Pingtung University of Science and Technology

³ Director King Design Company

NSC Project No. : NSC-96-2622-E-020-003-CC3

E-mail: wangbt@mail.npust.edu.tw

摘要

本文旨在對所發展的撓性平台預測模式於衝擊試驗機之半正弦波產生器的設計分析，進行對應之實驗驗證。首先，由衝擊試驗規範之半正弦波特性，帶入已發展的撓性平台理論預測模式，可推導出衝擊平台的測試落下高度以及半正弦波產生器長度之設計，並將所預測得到之平台落下高度及半正弦波產生器尺寸選擇，進行對應之實際衝擊試驗，以驗證確認理論預測模式所求得衝擊平台試驗的落下高度以及半正弦波產生器長度之正確性。結果顯示，所發展之半正弦波產生器預測模式有其參考性，可有效提供半正弦波產生器長度之參考值，透過微幅調整平台落下高度，將能符合衝擊試驗規範之要求，也彙整實際衝擊試驗之數據，得到衝擊平台落下高度以及半正弦波產生器之長度與半正弦波規範之特性曲線，可減少測試人員使用試誤法所耗費的時間，並有助於進行半正弦波衝擊試驗之實務應用。

關鍵字：衝擊試驗機、衝擊平台、衝擊試驗、LS-DYNA、撓性平台理論、操作模態實驗、半正弦波產生器、平坦度評估。

一、前言

環境應力試驗主要分成環境振動試驗、衝擊試驗、落下試驗三大部分。在衝擊及落下試驗方面，主要以衝擊與落下試驗機對結構進行測試，以瞭解產品之可到度與壽命等，並結合有限元素軟體動態分析之模擬衝擊情況，與實際衝擊實驗比較兩者之差異。Low *et al.*[1]使用有限元素分析軟體 PAM-CRASH 對結構進行落下衝擊分析，由軟體模擬分析衝擊之結果，以得知結構最佳設計。

進行實驗分析時使用的設備為頻譜分析儀，因此儀器測得訊號之正確性及可靠性非常重要，王與陳[2]針對頻譜分析儀 (signal spectrum analyzer) 做功能測試，以確定頻譜分析儀之各種運算功能正確性。Wang *et al.*[3]說明工業界使用落下測試模擬已有數年之久，而落下測試模擬需提供足夠的資訊與可靠的結果，文中採用有限元素分析軟體進行模擬，同時主要探討電子產品在掉落衝擊下之可靠度分析。許等人[4]探討掉落衝擊測實驗與數值軟體模擬於不同衝擊速度下，加速度與衝擊波長關係，以得知是否滿足 JEDEC 規範中之衝擊條件的要求。Zeng *et al.*[5]應用有限元素分析軟體 LS-DYNA 對複合管進行碰撞分析，並與實際實驗數據比較兩者一致性，並研究改變複合管之幾何參數，觀察對複合管的影響。

Jayson *et al.*[6]應用有限元素分析軟體 LS-DYNA 對硬碟進行衝擊分析，採用垂直(linear)方式衝擊與傾斜方式(rotary)衝擊進行探討。MIL-STD-810F[7]規範，於 516.5 節衝擊試驗方法中，對各種軍用品在運送及處於惡劣作業環境下可能承受之衝擊進行評估，以確保各種軍品可靠性與安全性，並試驗軍品包裝之脆弱程度 (fragility level)，另一方面針對於各種設備上之元件或裝置進行抗衝擊摔落之能力。王等人[8]結合有限元素分析及實驗模態分析方式，對衝擊試驗機滑動平台進行模型驗證，以確認有限元素模型足以代表實際結構。陳和朱[9]文中利用實驗模態分析方法及有限元素分析軟體 LS-DYNA 對輪圈進行模型驗證，驗證成功後再經由 LS-DYNA 進行衝擊模擬，並與實際衝擊試驗比對，發現實驗與模擬分析之結果相當符合，可得知以 LS-DYNA 進行模擬之可行性與可信度極高。

二、半正弦波產生器之設計

衝擊試驗機主要構成要件有機台本體，衝擊平台與半弦波產生器，如圖 1 所示，衝擊試驗是

待測物固定於衝擊平台上方，將衝擊平台提升至一定的高度後自由落下撞擊底下之半弦波產生器以期能達到目標測試波形。



圖 1 為落下式衝擊試驗機、半弦波產生器

衝擊試驗依據衝擊座所使用的的材料和幾何形狀產生不同種類之波型，如半弦波、方波、鋸齒波，本文主要利用半弦波作為衝擊座設計研究所使用之目標波型，圖 2 為半正弦波波形示意圖。

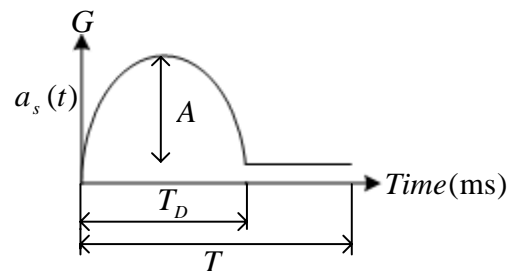


圖 2 半正弦波波形示意圖

本節運用王等人[10]對平坦度評估之半正弦波產生器之設計與研究方法中的撓性平台理論之平台之落下高度 \hat{H} 與半正弦波產生器高度 \hat{L} 數據進行實驗確認。在撓性理論中需先以單自由度系統進行衝擊平台與半弦波產生器的模擬，設定規範所要求半正弦波之加速度峰值、時間間隔等參數與衝擊平台質量、測試高度等，以得到半弦波產生器幾何大小，進一步可擴充設計半弦波產生器的放置位置與半弦波產生器數量。並可更進一步了解其半弦波產生器各項參數對衝擊時間與加速度之關係。

圖 3 為引用王等人[10]使用撓性理論所預測出的半弦波產生器高度 \hat{L} 及平台落下高度 \hat{H} 之分析流程圖，其解析流程如下：

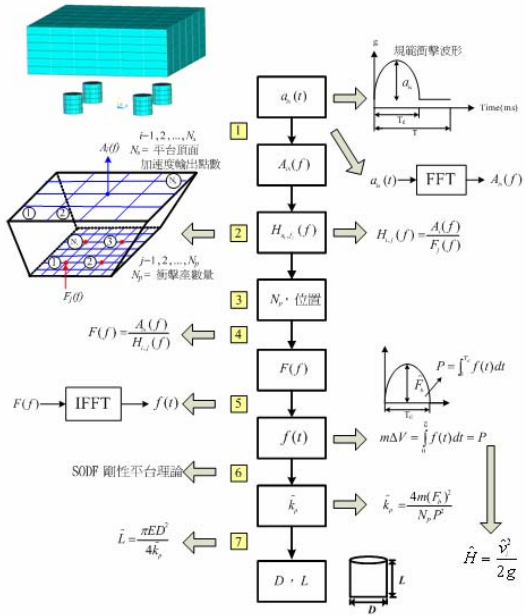


圖 3 平台落下高度及半弦波產生器高度之分析流程圖

- (1) 設定規範衝擊波形。
- (2) 應用有限元素法對衝擊平台進行簡諧響應分析，得到平台頂面所有點之響應。
- (3) 考慮衝擊座數量與位置之效應，求得輸出之加速 $A_i(f)$ 。
- (4) 應用規範頻率域加速度與頻率響應函數得到頻率域衝擊外力 $F(f)$ 。
- (5) 應用逆傅立葉轉換將頻率域衝擊外力 $F(f)$ 轉換為時間域響應 $f(t)$ 。
- (6) 求取半弦波產生器等效彈簧常數 \hat{k}_p 。
- (7) 由半弦波產生器等效彈簧常數推算半弦波產生器長度 \hat{L} 和平台落下高度 \hat{H} 。

本文針對步驟(7)撓性理論所得的半弦波產生器長度 \hat{L} 和平台落下高度 \hat{H} 數據進行實驗驗證。

三、實驗方法與步驟

進行衝擊試驗時，需將半正弦波產生器置於衝擊平台下方，將平台提升一定高度後進行自由落下撞擊。由於進行衝擊試驗時，會將半正弦波產生器固定於一圓盤內，為模擬此種外力輸入方式，故將外力輸入點進行編號，以利進行撓性理論分析時之運算。圖 4 為實際進行衝擊量測照片。圖 5 為量測儀器設備架構連線示意圖。圖 6 為固定半弦波產生器圓盤示意圖，圖 7 為半弦波產生器擺放示意圖，表 1 為不同數量半弦波產生器擺放編號表。

圖 8 為實際衝擊實驗套用理論預測結果之量測規劃點，量測點規劃是以 DELL 所定之衝擊規範作為依據，進行量測四點。1 號角落點為參考點，將 2、3、4 號點進行數據量測，2 號量測點位於平台中心點，3 號與 4 號量測點分別位於距離中心點 X 方向與 Y 方向 9 英寸位置上進行量測。

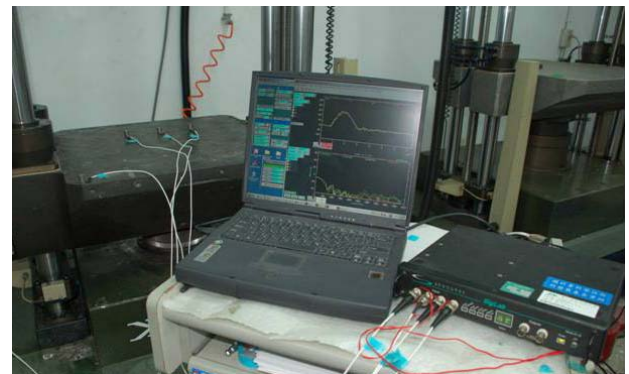


圖 4 實際衝擊實驗圖

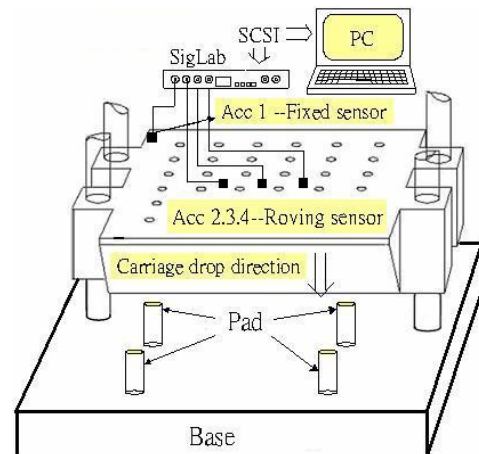


圖 5 量測儀器設備架構及其連線

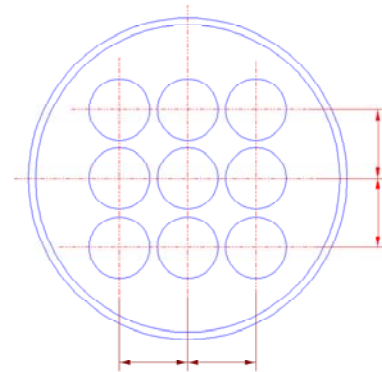


圖 6 固定半弦波產生器圓盤示意圖

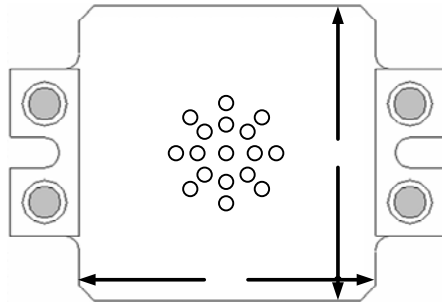


圖 7 半弦波產生器擺放示意圖

表 1 不同數量半弦波產生器擺放編號表

膠塊數量	距中心點遠近	擺放形式	膠塊編號
1			1
2	近		2-3
	遠		4-5
3	近		1-2-3
	遠		1-4-5
4	近	矩形	6-7-8-9
	近	菱形	2-3-14-15
	遠	矩形	10-11-12-13
	遠	菱形	4-5-16-17
5	近	矩形	1-6-7-8-9
	近	菱形	1-2-3-14-15
	遠	矩形	1-10-11-12-13
	遠	菱形	1-4-5-16-17

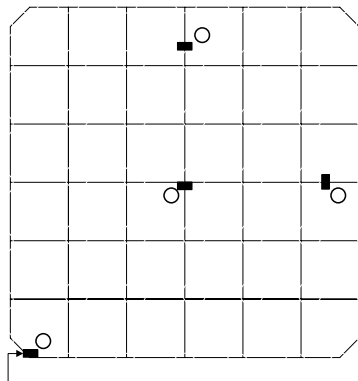


圖 8 實際衝擊實驗套用理論預測結果之量測規劃點

本次實驗是對撓性理論所得之半弦波產生器高度 \hat{L} 和平台落下高度 \hat{H} 進行衝擊實驗驗證也使用不同數量(1~4)之半弦波產生器進行實驗, 驗證是否接近預期產生之半正弦波波型。其實驗驗證步驟如下:

- (1) 固定平台落下高度 \hat{H} , 對半弦波產生器高度 \hat{L} 進行調整進行試驗。
- (2) 固定半弦波產生器高度 \hat{L} , 對平台落下高度 \hat{H} 進行調整進行試驗。
- (3) 得到實驗量測之加速度值 \bar{A} 和衝擊時間 \bar{T}_d 。

- (4) 若衝擊時間 \bar{T}_d 符合預測值, 則對平台落下高度 \hat{H} 進行調整以得到加速度值 \bar{A} 。
- (5) 若衝擊時間 \bar{T}_d 不符合預測值, 則修正半弦波產生器高度 \hat{L} , 以得到符合之衝擊時間 \bar{T}_d 。
- (6) 重複步驟(1)~(5)直到試驗出和理論預測相符合之加速度值 \bar{A} 和衝擊時間 \bar{T}_d 。
- (7) 得到符合之衝擊波形後, 連續進行三次衝擊試驗以確認實驗之準確性。

16 四、實驗驗證結果與討論

10 將衝擊實驗後所得之數據作紀錄, 表 2 為實際衝擊實驗過程之紀錄結果以 1 個半弦波產生器為例, 其表格內容為將實驗量測結果和王等人 [10] 所使用撓性理論預測出的平台落下高度 \hat{H} , 半弦波產生器高度 \hat{L} 進行比較。文中代號之意涵如下: 規範之目標半正弦波之加速度峰值為 A 與衝擊時間為 T_d , 根據理論預測之平台落下高度為 \hat{H} 與半正弦波產生器高度 \hat{L} 。以實驗驗證量測, 最後得到半正弦波峰值為 \bar{A} , 半正弦波之衝擊時間為 \bar{T}_d , 半弦波產生器長度為 \hat{L} , 平台落下高度為 \bar{H} 。其實驗過程探討如下:

1. 目標規範, $A=100g$, $T_d=4ms$, 理論預測出之平台落下高度 $\hat{H}=5.0\text{ cm}$, 半正弦波產生器高度 $\hat{L}=2.9\text{ cm}$, 由於實際實驗時由於半弦波產生器尺寸無與理論預測 $\hat{L}=2.9\text{ cm}$ 之符合, 故採用最相近 $\hat{L}=3.0\text{ cm}$ 之半弦波產生器取代並進行實驗。第一次衝擊試驗所量測到之加速度峰值 $\bar{A}=79.8g$, 衝擊時間 $\bar{T}_d=3.3599ms$, 接著依據實驗量測之順序編號進行 \hat{H} 與 \hat{L} 之調整, 最後得到 $\bar{H}=9.8\text{ cm}$, $\bar{L}=3.5\text{ cm}$ 時, $\bar{A}=100.7g$, $\bar{T}_d=3.7499ms$, 產生與目標波形 $A=100g$, $T_d=4ms$ 相近之結果。
2. 若固定半弦波產生器長度 \bar{L} , 則可發現平台落下高度 \bar{H} 增加, 則加速度峰值 \bar{A} 亦有增加之現象, 但衝擊時間 \bar{T}_d 並無明顯變化, 顯示平台落下高度 \bar{H} 與加速度峰值 \bar{A} 有其關聯性。
3. 另外, 若固定平台之落下高度 \bar{H} , 增加半弦波產生器長度 \bar{L} , 則衝擊時間 \bar{T}_d 有增加之現象, 而加速度峰值 \bar{A} 則有降低之趨勢, 顯示半弦波產生器長度 \bar{L} 對加速度峰值 \bar{A} 與衝擊時間 \bar{T}_d 皆有其關聯性, 綜合上點結果可得知衝擊時間 \bar{T}_d 主要由半弦波產生器長度 \bar{L} 所控制。

表 2 為 1 個半弦波產生器理論預測 \hat{H} 與 \hat{L} 實驗量測過程結果表

膠塊數量	撓性理論量測	量測順序	規範		理論預測		實驗量測			
			A	T_d	\hat{H} (cm)	\hat{L} (cm)	\bar{A}	\bar{T}_d	\bar{H}	\bar{L}
1 白色膠塊	v	1	100g	2ms	2.3	1.1	74.7	2.656	2.3	1.1
		2					93.98	2.6559	4	1.1
		3					102.3	2.6559	4.5	1.1
		4					101.6	2.734	4.3	1.1
		5					99	2.6559	4.2	1.1
	v	1	100g	4ms	5.0	2.9	79.8	3.3599	5	3
		2					82.7	3.4379	5.2	3
		3					87.8	3.4379	5.8	3
		4					93.5	3.3599	6.5	3
		5					95.8	3.3599	7	3
		6					98.3	3.3599	7.5	3
		7					100.7	3.438	7.7	3
		8					87.3	3.75	7.7	3.5
		9					79.7	4.2189	7.7	4
		10					89.8	4.297	9.5	4
v	1	150g	2ms	5.1	1.1	108.9	2.6559	5.1	1.1	
	2					150.1	2.6559	10	1.1	
	3					150.5	2.6559	10.5	1.1	
v	1	200g	2ms	9.1	1.1	139.3	2.6559	9.1	1.1	
	2					185.1	2.813	20	1.1	
	3					201.2	2.7349	22	1.1	

將半弦波產生器理論預測 \hat{H} 與 \hat{L} 實驗量測過程結果和不同數量(1~4)之半弦波產生器實驗所得之結果進行統整則為表 3。若代號上方加上一凸起”^”表示為撓性理論預測方法求得之結果如： \hat{H} ；代號上方加上一頂線”-”為實際進行實驗時之結果如： \bar{H} ，其討論如下：

表 3 為理論預測半正弦波產生器之實驗結果總表

膠塊數量	撓性理論量測	量測順序	S	規範		理論預測		實驗量測				#鋼珠百分比	
				A	T_d	\hat{H} (cm)	\hat{L} (cm)	\bar{A}	\bar{T}_d	\bar{H}	\bar{L}		
1	v	1	100g	2ms	2.3	1.1	99	2.6559	4.2	1.1		82.61	
		2	100g	3ms	3.0	2.0							
		3	100g	4ms	5.0	2.9	100.7	3.7499	9.8	3.5		96.00	
		4	150g	2ms	5.1	1.1	150.5	2.6559	10.5	1.1	10.5	105.88	
		5	200g	2ms	9.1	1.1	200.3	2.7349	22	1.1		141.76	
	v	1	100g	2ms	1.1	1.5	101.3	2.422	2.6	1.5		136.36	
		2	100g	3ms	2.6	3.4	99.5	2.6564	4.2	3.5		61.54	
		3	100g	4ms	4.8	6.3							
		4	150g	2ms	2.5	1.5	147.8	2.344	5.9	1.5		136.00	
		5	200g	2ms	4.4	1.5	199.6	2.3439	10.8	1.5		145.45	
2	v	1	100g	2ms	1.1	1.5	98.3	2.344	2.5	1.5		127.27	
		2	100g	3ms	2.6	3.4	101.6	2.6563	4.1	3.5		57.69	
		3	100g	4ms	4.8	6.3							
	v	1	150g	2ms	2.5	1.5	152.3	2.4219	6.1	1.5	6	1.5	144.00
		2	150g	3ms	2.5	1.5	152.3	2.4219	6.1	1.5	6	1.5	144.00
		3	200g	2ms	4.4	1.5	201.8	2.3439	11.1	1.5		152.27	
3	v	1	100g	2ms	2.5	3.6	102.1	2.4223	3.5	3.5		40.00	
		2	100g	3ms	3.0	5.3							
		3	100g	4ms	5.5	9.6							
	v	1	150g	2ms	5.6	3.6	152.6	2.4999	7.2	3.5		28.57	
		2	100g	2ms	10.0	3.6	200.2	2.4999	12.1	3.5		21.00	
		3	200g	2ms	2.3	3.3	100.4	2.5003	3.1	3.5		34.78	
3	v	1	100g	3ms	3.0	5.4							
		2	100g	4ms	5.4	9.4							
		3	150g	2ms	5.1	3.3	150.2	2.4219	6.8	3.5	6.7	3.5	33.33
	v	1	200g	2ms	9.1	3.3	201.4	2.4219	12.2	3.5		34.07	
		2	100g	2ms	1.2	2.9	100.85	2.1091	2.5	4		108.33	
		3	100g	3ms	2.6	6.4	98.9	2.4999	3.5	6.5		34.62	
4 矩形對稱	v	1	100g	4ms	4.8	12.1							
		2	150g	2ms	2.8	2.9	149.9	1.7189	5.2	3		85.71	
		3	200g	2ms	4.9	2.9	199.7	1.6409	9.3	3		89.80	

1. 以 1 個半弦波產生器之實驗為例，目標規範為 $A=100g$ ， $T_d=2ms$ ，則理論預測出之平台落下高度 (\hat{H}) 與半正弦波產生器高度 (\hat{L}) 分別為 $\hat{H}=2.3$ 公分與 $\hat{L}=1.1$ 公分，但使用此預測結果無法產生目標規範波形，實際進行量測進行時，平台落下高度 $\bar{H}=4.2cm$ 與半弦波產生器長度 $\bar{L}=1.1cm$ ，方可達到加速度峰值 $\bar{A}=99g$ 與衝擊時間 $\bar{T}_d=2.6559ms$ 之加速度波形，雖然

- 理論預測出之平台落下高度 (\hat{H}) 與半正弦波產生器高度 (\hat{L}) 進行衝擊試驗時無法得到目標加速度波形，但可提供衝擊試驗設定之方向。
2. 半正弦波之衝擊時間 (\bar{T}_d) 與半弦波產生器長度 (\bar{L}) 有很大的關係，而主要影響加速度峰值 (\bar{A}) 為平台落下高度 (\bar{H})。
 3. 以 \bar{L} 與 \hat{L} 比較來看，當 $\bar{L}=1.1$ 與 $1.5cm$ 時，實驗量測驗證中 $\bar{L}=\hat{L}$ ，唯有實驗之 \bar{H} 與預測之 \hat{H} 有較大差異， \hat{L} 值主導衝擊時間 T_d ，故 \hat{L} 預測提供了參考值，在實務應用時， H 則可以方便且明確進行調整。
 4. 承上點， $\bar{L}=\hat{L}$ 均集中在半弦波產生器數量 $N_p=1,2$ 之衝擊試驗，如此顯示本預測方法對半正弦波產生器之數量為 1 或 2 時有較佳之參考值。
 5. 當 $\hat{L} \geq 3$ 都是半弦波產生器之數量 $N_p=3,4$ 時，半弦波產生器之長度 \hat{L} 會較長。雖然預測之 \hat{L} 與實驗驗證之 \bar{L} 均有 $0.1cm$ 之差異，仍然提供 L 之參考區間值，在實務應用上，有其意義，並提供一參考初始值。
 6. 當半弦波產生器之數量 $N_p=1,2,4$ 時，實際落下高度 \bar{H} 均比預測之 \hat{H} 有約 $100\% \pm 40\%$ 的誤差； $N_p=3$ 時，實際落下高度 \bar{H} 均比預測之 \hat{H} 僅有約 30% 之誤差，雖有誤差，但顯示預測方法可提供一方向，在首次衝擊試驗後僅需進行落下高度的微調，可較快速達到目標規範之加速度峰值；另一方面，也對未來預測模式之改善提供了重要線索與依據。

表 4 為實驗量測之平台落下高度 (\bar{H})、半弦波產生器長度 (\bar{L})、半正弦波加速度峰值 (\bar{A}) 及衝擊時間 (\bar{T}_d) 趨勢表，其中將半弦波產生器數量作為分別探討的關鍵，並再細畫分半弦波產生器擺放近及擺放遠進行區隔。其探討如下：

1. 以表 4(c)(d) 兩個半弦波產生器為例，可分為整體 (2 半弦波產生器) 之 \bar{H} 與 \bar{L} 趨勢、半弦波產生器擺放較靠近底面中心點 (2 半弦波產生器近) 與半弦波產生器擺放較遠離底面中心點 (2 半弦波產生器遠)。
2. 以表 4(b) 為例，左邊為探討加速度之 (\bar{H}) 與 (\bar{L}) 趨勢，左上圖為其 3D 趨勢圖，左下圖為 3D 趨勢圖投影之等高線趨勢圖，每一曲線都代表著不同的加速度值，若取一點向 X 軸與 Y 軸投影，則可得到對應之平台落下高度 (\bar{H}) 與半

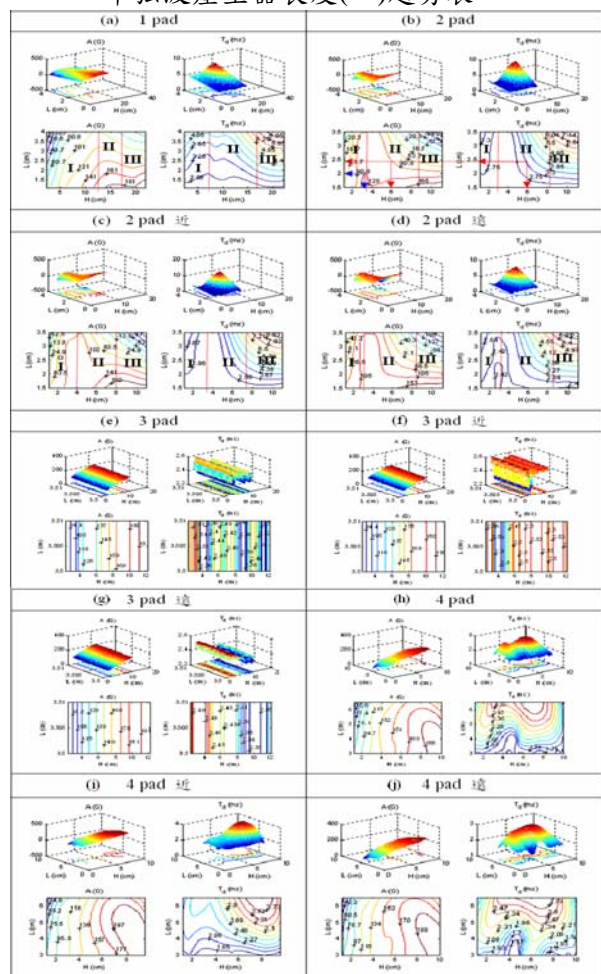
弦波產生器長度(\bar{L}), 如圖中所示, 取加速度為 128g 為例, 則可得到對應之平台落下高度與半弦波產生器長度分別約為, $\bar{H}=3.2$ 公分與 $\bar{L}=2$ 公分。

3. 承上點, 右邊為探討衝擊時間之(\bar{H})與(\bar{L})趨勢, 右上圖為其 3D 趨勢圖, 右下圖為 3D 趨勢圖投影之等高線趨勢圖, 每一曲線都代表著不同的衝擊時間值, 若取一點向 X 軸與 Y 軸投影, 則可得到對應之平台落下高度(\bar{H})與半弦波產生器長度(\bar{L}), 如圖中所示, 取加速度為 3.3ms 為例, 則可得到對應之平台落下高度與半弦波產生器長度分別約為, $\bar{H}=6$ 公分與 $\bar{L}=2.5$ 公分。
4. 若將加速度之等高線趨勢圖與衝擊時間之等高線趨勢圖重疊, 其兩線之交點即為特定衝擊加速度峰值、特定衝擊時間所對應之平台落下高度與半弦波產生器長度。假設觀察之加速度峰值與衝擊時間分別為 90.8g, 3.3ms, 則其對應之平台落下高度與半弦波產生器長度分別約為, 6 公分與 2.5 公分。
5. 由第 4 點之方法, 可得知實驗時之加速度峰值與衝擊時間所對應之平台落下高度與半弦波產生器長度, 後續也可利用此方法, 對特定加速度峰值與衝擊時間進行預測平台落下高度與半弦波產生器長度之。
6. 以表 4(c)為例, 針對加速度(左圖)進行探討, 首先將趨勢圖分為三區, 第 I 區為相同半正弦波加速度峰值 \bar{A} 下, \bar{H} 只要有些微增加, 則 \bar{L} 會有大幅度增加現象; 第 II 區為相同半正弦波加速度峰值 \bar{A} 下, \bar{H} 只要有些微增加, 則 \bar{L} 會有大幅度降低現象; 第 III 區為相同半正弦波加速度峰值 \bar{A} 下, \bar{H} 增加, 則 \bar{L} 幾乎不會有任何改變。
7. 承上點, 若將 \bar{L} 固定, 在第 I 區內, 隨著平台落下高度 \bar{H} 之增加, 加速度 \bar{A} 有增加之趨勢; 第 II 區內, 隨著平台落下高度 \bar{H} 之增加, 加速度 \bar{A} 有降低之趨勢; 第 III 區內, 隨著平台落下高度 \bar{H} 之增加, 則對加速度 \bar{A} 影響不大。
8. 承第 6 點, 若將 \bar{H} 固定, 則在第 I 區內, 隨著平台落下高度 \bar{L} 之增加, 加速度峰值 \bar{A} 影響不大; 第 II 區與第 III 區內, 隨著平台落下高度 \bar{L} 之增加, 加速度峰值 \bar{A} 有降低之趨勢。
9. 針對表 4(c)之衝擊時間 \bar{T}_d 進行探討, 並承襲第 6 點之分區方式, 若將 \bar{L} 固定, 在第 I 區內, 隨著平台落下高度 \bar{H} 之增加, 半正弦波衝擊

時間 \bar{T}_d 有降低之趨勢; 第 II 區內, 隨著平台落下高度 \bar{H} 之增加, 半正弦波衝擊時間 \bar{T}_d 有增加之趨勢; 第 III 區內, 隨著平台落下高度 \bar{H} 之增加, 則對半正弦波衝擊時間 \bar{T}_d 影響不大。

10. 承第 9 點, 若將 \bar{H} 固定, 在第 I 區與第 II 區內, 隨著平台落下高度 \bar{L} 之增加, 半正弦波衝擊時間 \bar{T}_d 影響不大; 在第 III 區內, 隨著平台落下高度 \bar{L} 之增加, 半正弦波衝擊時間 \bar{T}_d 有增加之趨勢。

表 4 理論量測之平台落下高度(\bar{H})與半弦波產生器長度(\bar{L})趨勢表



五、結論

本文引用王等人[10]在對衝擊試驗機之半正弦波半弦波產生器之撓性理論分析進行實驗驗證, 期望能快速選擇半弦波產生器幾何尺寸, 使符合衝擊試驗規範之要求, 其結論如下:

1. 撓性理論方法對於半弦波產生器高度 \hat{L} 之預測是可行的。
2. 撓性理論和實驗驗證出的結果對平台落下高

度 \hat{H} 有進一步的改善空間。

3. 撓性理論預測模型有相當的準確性。
4. 將半弦波產生器高度 \hat{L} ，平台落下高度 \hat{H} 彙整出的趨勢圖可作為探討平台特性曲線的依據。

誌謝

本研究承蒙國科會計畫與金頓科技股份有限公司經費支助，特以誌謝，國科會小產學計畫編號 NSC-96-2622-E-020-003-CC3。

參考文獻

- [1] Low, K. H., Yang, A., Hoon, K. H., Zhang, X., Lim, J. K. T., and Lim, K. L., 2001, "Initial study on the Drop-Impact Behavior of Mini Hi-Fi Audio Products," *Advances in Engineering Software*, Vol. 32, pp. 683-693.
- [2] 王栢村，陳榮亮，2001，「頻譜分析儀之功能測試」，*中華民國振動與噪音工程學會第九屆學術研討會論文集*，新竹，第 16~20 頁。
- [3] Wang, Y. Y., Lu, C., Li, J., Tan, X. M., and Tse, Y. C., 2005, "Simulation of Drop/Impact Reliability for Electronic Devices," *Finite Elements in Analysis and Design*, Vol. 41, pp. 667-680.
- [4] 許宏旭，鄭泗滄，吳政達，葉昶麟，2004，「含晶元封裝電路板結構承受高 G 值之衝擊環境建立的研究」，*中國航空太空學會第四十六屆學術研討會*，台中，論文編號：5-10。
- [5] Zeng, T., Fang, D. N., and Lu, T. J., 2005, "LS-DYNAmic Crashing and Impact Energy Absorption of 3D Braided Composite Tubes," *Materials Letters*, Vol. 59, pp. 1491-1496.
- [6] Jayson, E. M., Murphy, J., Smith, P. W., and Talke, F. E., 2003, "Head Slap Simulation for Linear and Rotary Shock Impulses," *Tribology International*, Vol. 36, pp.311-316.
- [7] Jayson, E. M., Murphy, J., Smith, P. W., and Talke, F. E., 2003, "Head Slap Simulation for Linear and Rotary Shock Impulses," *Tribology International*, Vol. 36, pp.311-316.

- [8] MIL-STD-810F, 2000, "Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests," US Department of Defense.
- [9] 王栢村，陳克強，李昆達，2005，「衝擊試驗機滑動平台之模型驗證」，*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：C3-003。
- [10] 王栢村，李沛緯，李昆達，2008，「應用平坦度評估對簡易衝擊平台與半正弦波產生器之設計與研究」，*第十六屆中華民國振動與噪音工程學術研討會*，台北，論文編號：072。