

## 振動試驗機規格與驗收流程

王栢村<sup>1</sup>，陳柏儂<sup>2</sup>，王文志<sup>3</sup>，李昆達<sup>4</sup>，吳盈輝<sup>5</sup>  
屏東科技大學機械工程系 教授<sup>1</sup> 研究生<sup>2</sup> 專任助理<sup>3</sup>  
金頓科技股份有限公司 研發處處長<sup>4</sup>  
國立內埔高級農工職業學校 機械科 技士<sup>5</sup>  
\*E-mail: [hubert524@gmail.com](mailto:hubert524@gmail.com)

### 摘要

在產品的生命週期，為確認產品能承受暴露的振動影響，需要進行對其材料及功能的相關振動試驗。本文旨在介紹典型的三種振動試驗，包括隨機、單一正弦波和掃描正弦波測試之試驗標準規範，而振動試驗機的一般功能規格，需要能滿足對應之測試規範，工程師更需了解振動試驗機的工作原理。本文將探討選用振動試驗機的原則，以能搭配不同的振動試驗標準，同時提出其對應的三種振動試驗之驗收作業程序。隨機振動試驗以 JEDEC 標準為例做介紹，測試結果需觀察加速度頻譜之校準，主要在頻譜分佈以及總加速度位準值。在單一正弦波測試中，待測物承受簡諧運動激振，可採用以固定位移或固定加速度值，需要確認在激振頻率對應之振動位準值，並符合測試規範之要求。進行掃描正弦波測試時，是以固定之位移或加速度振幅，在某一頻率範圍之間，以對數增量方式逐次加大激振頻率，使得待測物受到掃描正弦波之振動。本文分別對三種振動試驗進行驗收測試程序，並探討其測試結果，可做為振動試驗機之三種振動測試功能校正的參考。本文說明了根據不同的測試標準，提供對應振動試驗機的選用原則，也探討對應三種振動測試之驗收程序和量測結果之評估，有助於振動試驗工程師之實務應用。

關鍵字：振動試驗、隨機、單一正弦波、掃描正弦波、驗收測試

## Specifications and Acceptance Process of Vibration Testing Machine

Bor-Tsuen Wang<sup>1</sup>，Po-Hao Chen<sup>1</sup>，Wen-Chih Wang<sup>1</sup>，David Lee<sup>2</sup>，Ying-Hui Wu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, National Pingtung University of Science and Technology  
No.1 Shuehfu Rd., Neipu, Pingtung, Taiwan

<sup>2</sup>Director, King Design

<sup>3</sup>National Nei-Pu Senior Agricultural-Industrial Vocational High School, Department of Mechanical Engineering, Associate Technical Specialist

### Abstract

Vibration tests are generally required to develop material to function in and withstand the vibration exposures of a life cycle for products. This work aims to introduce typical vibration tests, including random, dwell sine and swept sine tests, for different test standards. Typical specifications of vibration test machine are shown to fulfill the test specifications. The operational principle for a typical vibration test machine is then presented. This work provides a general guide to consider the selection of vibration test machine according to various test standards and lays out the acceptance procedures for different types of vibration tests. The random vibration test for JEDEC standard is illustrated and shown for the calibrated acceleration spectrum. The major concerns are the spectrum distribution as well as the overall acceleration levels. The dwell sine test is the simple harmonic excitation on the device. Either fixed displacement or acceleration can be adopted. The vibration level at the excitation frequency needs to conform to the test requirement. The swept sine test is to expose the device subject to the sinusoidal vibration by varying logarithmically between the ranges of frequency at a certain level of displacement or acceleration. The acceptance test procedures and testing results are shown to verify the calibration of operated conditions, in particular for three kinds of vibration, respectively. This work describes the general guide for the selection of appropriate vibration test machine according to different test standards and shows the acceptance test procedures and typical results. This paper will be beneficial to vibration test engineers.

Keywords : vibration test, random, dwell sine, swept sine, acceptance test

## 一、前言

科技的進步使得產品越做越精密，產品的品質相對越來越受到重視，要能承受環境所造的應力，所以需要做模擬環境應力的試驗，為了要使得試驗的數據正確性高，產品適用的振動試驗機規格及規範都是很重要的。

過去對振動試驗機與環境測試規範已有諸多的探討，在喬[1]探討實際的振動測試下振動試驗機的控制信號的傳遞流程，由控制器輸出的控制頻譜是否有和試驗規範的頻譜相同，了解振動試驗機系統的運作流程。Lev *et al.* [2]研究汽車的零件經由環境測試中的加速度可靠性測試(Accelerated Vibration Testing)可成功的使得汽車零件的損壞率降低，客戶端對產品的信用度提高。James *et al.* [3] 介紹一間公司要如何制定一套產品的可靠度測試，一個產品會因客戶的需求有所改變，為了要降低成本，去探討環境應力篩選(Environmental Stress Screening ,ESS)的優勢找出可靠度預測的測試方法。

輔助平台的模型驗證中由王等人[4]利用實驗模態分析(EMA)與操作模態分析(OMA)，來探討出振動試驗機垂直輔助平台之振動特性，並把兩者實驗結果用來與振動平台之理論模型進行比較及驗證，進而探討振動試驗機上的輔助振動平台在激振下是否能保持良好的平坦度。Wang *et al.* [5] 探討實際固定邊界下時平台的振動特性，在理論分析的部分接觸條件假設為彈簧常數 K 值，並與實驗結果比對，可成功得利用調整彈簧常數 K 值去做校正，得到等效於實際結構的有限元素模型。接著利用 K 值校正所得到的平台模型，將實驗與理論的參數代入後建立平坦度性能指標，進而設計出較低誤差的平坦度指標使得平台傳遞振動快速。王等人[7]主要應用 FEA 及 EMA 將振動平台模型更新並進行模型驗證，原始的振動平台係以彈簧模擬螺栓鎖固與 FEA 做比對，結果不理想，故將有限元素模型更新，求得到比原始平台分析模型更等效於實際結構之分析模型。

輔助平台的平坦度性能評估中，由王等人[8]針對振動試驗機輔助平台，鎖固在激振器狀況下進行理論分析與實驗模態分析，將兩者結果做比對後，求得平台等效於實際邊界上的有限元素模型。接著將實際振動測試作業狀態下進行模態分析與 OMA 兩者的結果進行比較，並與不同尺寸之平台進行平台性能評估比較。建立平台性能評估之分析與實驗驗證流程。王等人[9]藉由先

前 OMA 實驗的頻率響應函數套入平坦度評估模式來預測平台測試面的平坦度，透過實驗還進行驗證。同時利用理論分析的頻率響應函數及操作模態分析的頻率響應函數，代入平坦度評估模式，比較兩者預測之測試面是否吻合。Wang *et al.* [10] 於探討垂直輔助平台在傳遞振動時平台的外型設計時建立一套平坦度分析流程，分別進行有限元素分析的模態分析及簡諧響應分析，利用兩者比對結果求得出品平坦度性能指標，確定可做為平台外型變更的平坦度性能指標，可以有有效的傳遞振動。

綜合上述的說明，可得知振動測試的重要性。本文將探討選用振動試驗機的原則，以能搭配不同的振動試驗標準，同時提出其對應的三種典型振動試驗包括隨機、單一正弦波和掃描正弦波振動試驗之驗收作業程序，使採購工程師在購買振動試驗機時能更明確的掌握振動試驗機功能及規格及驗收程序。

## 二、典型振動測試規範介紹

振動試驗的規範種類有很多種，不同的振動試驗機使用的規範必須選擇適當的規範，通常振動試驗機需具備三種測試功能，包括隨機振動測試、單一正弦波測試、掃描正弦波測試，亦各有不同的適用規範。以下分別針對所適用的三種測試規範加以說明。

聯合電子裝置工程協會(Joint Electronic Device Engineering Council ,JEDEC)，由全球主要的電子半導體製造商聯合組成的國際組織，其針對電子半導體產品制定一系列的電子半導體產品規格及相關製成品質管制測試規範。

本文是利用 JEDEC 規範的振動試驗規範，主要是針對電子環境中零組件因各種因素的振動激振，使得產品可能產生反覆應力所帶來的破壞而制定的振動可靠度試驗。

依照 JEDEC 制定的 JEDEC22-B103-B 試驗規範[6]，圖 1 是該規範中在隨機激振試驗內提供 A~I 共九種不同模擬狀況的功率頻譜密度函數輸入設定，其中 D~I 是該試驗規範中建議電子零組件在使用狀態中最有可能遭遇的狀況，本文選擇 E\_Level 作為校驗振動試驗機的規範設定值，其詳細設定值如表 1 所示，表中可以看到 E\_Level 規範所得到的 RMS 值為 0.686G。

IEC68-2-65 規範中，目的是確認產品經過簡諧運動激振後，產品是否產生損壞，此規範可以適用於掃描正弦波的測試也可適用於單一正弦波

的測試但無法進行做隨激激振之測試，本文利用單一正弦波來驗證此規範適用之可行性，以待測物承受簡諧運動激振，可採用以固定位移或固定加速度值做測試。圖 2 為 IEC68-2-65 規範中的功率頻譜密度函數圖，由圖中可以得知以 A 線條為範例，假設頻率為 1Hz、A 的位移為 3.5mm，求得出的加速度值為 0.014G，由圖 2 可以驗證大致對應加速度 G 之位置。

MIL-STD-883E\_2007.3\_vibration variable frequency, condition A 的振動測試規範目的在於利用在某一頻率範圍下做簡諧激振，測試產品是否損壞，此規範適用於掃描正弦波，頻率範圍為 20~2000Hz，振幅為 20 g<sup>2</sup>/Hz，本文利用掃描正弦波來驗證此規範適用之可行性，是以固定之位移或加速度振幅，在某一頻率範圍之間，以對數增量方式逐次加大激振頻率，使得待測物受到掃描正弦波之振動。由圖 3 為振動試驗機掃描頻率峰值圖，假設的設定值為掃描之頻率範圍為 20~2000Hz，振幅為 20 g<sup>2</sup>/Hz，圖 3 可以看出頻率峰值從 20~2000Hz 振幅值都大約在 20 g<sup>2</sup>/Hz。

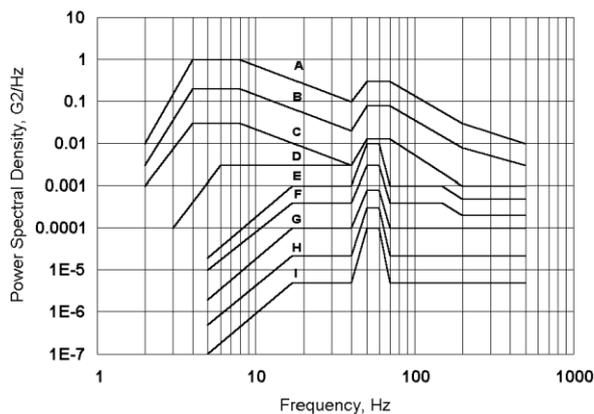


圖 1. JEDEC22-B103-B 隨機激振試驗規範[6]

表 1. JEDEC22-B103-B 隨機激振試驗規範設定值 [11]

Service condition	RMS acceleration (G)	RMS velocity (in/sec)	RMS displacement (in)	6 <sup>σ</sup> RMS displacement, or 3 sigma pk-pk displacement (in)
A	6.27	29.0	0.926	5.55
B	3.10	13.2	0.426	2.56
C	1.24	5.22	0.178	1.07
D	1.11	1.64	0.0310	0.186
E	0.686	0.703	0.00543	0.0326
F	0.416	0.425	0.00355	0.0213
G	0.246	0.215	0.00171	0.0102
H	0.123	0.113	0.000832	0.00499
I	0.0626	0.0589	0.000395	0.002237

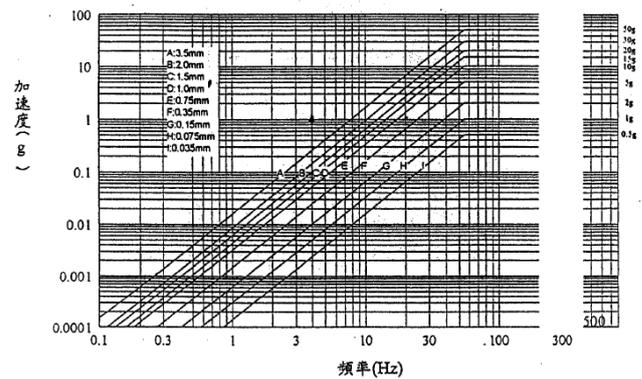


圖 2. IEC68-2-65 振動測試規範[8]

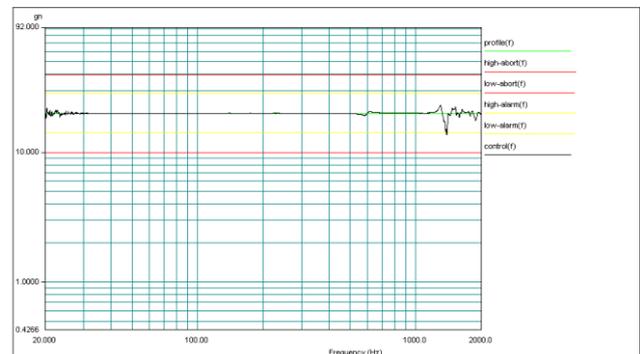


圖 3. MIL-STD-883E\_2007.3\_vibration variable frequency, condition A 規範的振動測試 PSD 圖[7]

### 三、振動試驗機規格與運作流程

振動試驗機是產品做可靠度測試的一個很重要的工具，測試不同的產品會有不同的測試規範，在不同的測試規範下能適用的振動試驗機規格也有限制，常見的振動試驗機的系統組成有激振器、直流功率伺服放大器、數位伺服控制器、靜音型高壓抽風機、測試平台、電腦。

#### 3.1 振動試驗機規格介紹

本文針對 KD-9363 電磁式高頻振動試驗機之規格加以詳細介紹，圖 4 為電磁式高頻振動試驗機，型號為 KD-9363EM-600F2K-40N120。頻率範圍 0.6~3000Hz、最大加速度為 50g(-25g ~ +25g)、最大位移量為 40mm，每種的測試規範，頻率範圍及最大加速度都需考慮進去，例如 JEDEC22-B103-B 試驗規範、IEC68-2-65 規範、MIL-STD-883E\_2007.3 規範，能適用於 KD-9363 型號之振動試驗機。如果超過加速度或是位移量之額定範圍振動試驗機會停止作動，振幅的大小影響試驗機移動的位移量。可承受產品的最大負荷 120 公斤重，此為振動試驗機的激振器能承受的負荷重量。

圖 5 為直流伺服放大器 KD-9363-PA-90 其主要功能是把平台振動時所接受的訊號，將訊號放

大傳入控制器。具有位移過大時、電壓過大時、音圈溫度異常時、功率放大器溫度異常時、抽風異常時的警告指示燈。能接收的頻率範圍0~5000Hz(最大可到20000Hz)，控制訊號的電壓值:0~10V。

圖6為數位伺服控制器主要功能是将接受到的訊號轉為正弦波、隨機波藉由軟體將圖形顯示。數位伺服控制器有兩個通道一個是控制端一個是監控端，在接受隨機訊號時能接收的頻率範圍為0.01~11000Hz，解析條數為900條，接受正弦波訊號時能接收的頻率範圍為0.4~12000Hz。安全監控的功能當位移振幅超過+3~-6dB時會停止運作。圖7為垂直輔助平台，尺寸為長X寬X高為600X600X200(mm)，平台大小會隨著量測之待測物大小而做更換。



圖4. 電磁式高頻振動試驗機



圖5. 數位伺服控制器



圖6. 直流伺服放大器KD-9363-PA-90



圖7. 振動試驗機垂直輔助平台實體圖

### 3.2 振動試驗機系統運作

振動試驗機是能夠模擬產品實際受到振動的測試工具，為了要使得產品在出廠前能夠找出瑕疵確保產品的品質，利用振動試驗機來模擬各項產品會受到的受力情況，一般典型的測試功能主要有隨機振動測試、單一正弦波測試、掃描正弦波測試。

圖8為振動試驗機系統運作的流程圖，先依所選用的測試規範進行設定，例如隨機波、正弦波，再經過訊號放大器將訊號放大傳到激振器使得垂直輔助平台系統振動，利用放置在平台上的加速度計來接收訊號並傳入控制器，即可確認其輸入與輸出是否相同的不同波型。

### 四、振動試驗機功能之校驗

本次校驗利用聯合電子裝置工程協會動力試驗規範中的E\_Level來進行振動試驗機的功能校驗，並利用SigLab頻譜分析儀輔助比對，驗證振動試驗機的功能是否正常。

隨機振動測試主要是將振動試驗機所設定的E\_Level規範所得到的RMS與SigLab的RMS值做比對。圖9為振動試驗機實驗架設圖，依照E\_Level規範進行設定，頻寬為5~500Hz、頻率解析度5Hz，為了能夠快速校驗將量測時間改為3分鐘。SigLab的設定，頻寬設定在2000Hz、頻率解析度5Hz

由隨機振動測試結果如表2為振動試驗機與SigLab之RMS值比較表，RMS值很接近，誤差為-0.58%，PSD圖很相似，但從圖10之振動試驗機與SigLab之PSD比較圖中發現SigLab測得出的PSD圖前段比規範略高，後半段幾乎吻合。

單一頻率正弦波測試主要是將振動試驗機與SigLab在100Hz時振幅值的比對。頻率範圍:5~2000Hz、頻率設定100Hz、測試時間3分鐘。

由單一頻率正弦波測試結果如表3為振動試驗機與SigLab在100Hz振幅比較表，得知振動試驗機在200Hz時振幅值為0.999比SigLab在100Hz時振幅值為0.991略高，但兩者整體來看振幅都有接近1。

由掃描正弦波測試結果如圖11為100~150Hz的時頻圖，掃描的頻率範圍為100~150Hz、時間35秒，可由圖11看出綠色的線由100Hz隨著時間

頻率慢慢的提升到150Hz。

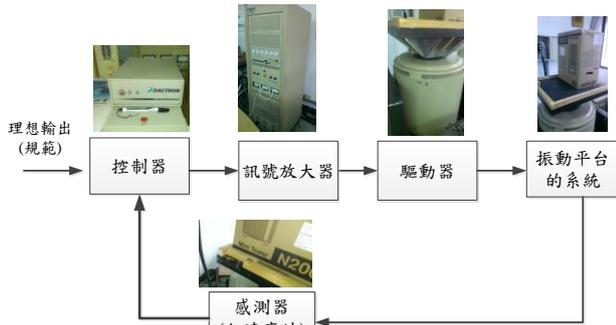


圖8. 振動試驗機系統流程圖

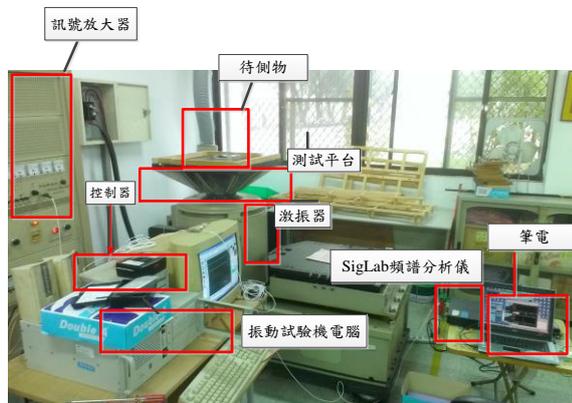


圖9. 振動試驗機實驗架設圖

表 2. 振動試驗機與 SigLab 之 RMS 值比較表

	PSD 圖	RMS(g <sup>2</sup> /Hz)	誤差(%)
振動試驗機		0.688	-0.58
SigLab 頻譜分析儀		0.684	

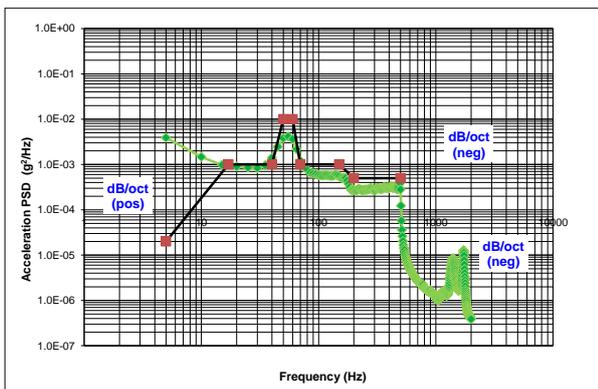


圖10. 振動試驗機與SigLab之PSD比較圖

表 3. 振動試驗機與 SigLab 在 100Hz 振幅比較表

	100Hz 峰值	振幅(g)
振動試驗機		0.999
SigLab 頻譜分析儀		0.991

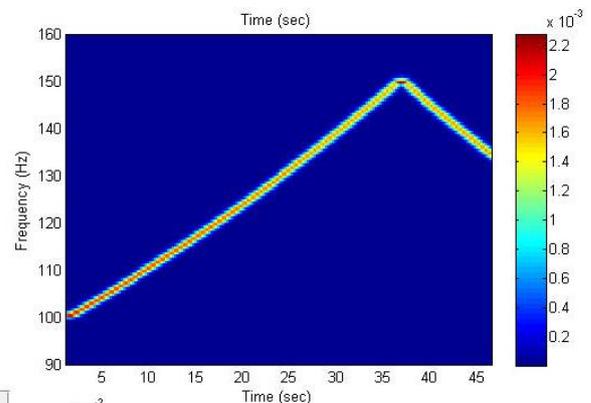


圖 10. 掃描 100~150Hz 測試之時頻圖

### 五、 結論與建議

本文針對振動試驗機功能進行測試並利用 SigLab 頻譜分析儀去輔助校驗，得到以下幾點結論與建議：

- 在隨機振動之校驗結果可以得知兩者的 PSD 圖很相似，但 SigLab 得出的結果前段稍為略高，其餘都很吻合，RMS 值也很相近，誤差在 -0.58%。
- 由單一 Sin 波測試結果得知在 100Hz 時兩者的振幅值相近都接近於 1。
- 於掃描 SINE 波測試結果可觀察出 100~150Hz，峰值會隨著時間而改變。
- 經由隨激振動之校驗的比對結果得知 KD-9363 振動試驗機的隨機激振可適用於在 JEDEC 規範下進行測試。
- 由本文分別對三種振動試驗所進行的驗收測試程序，可作為振動試驗機振動測試功能校正的參考。
- 未來可嘗試利用不同的規範來進行振動測試校驗流程，確認是否和 JEDEC 規範一樣，比對不同，找出不同的振動試驗機所適用的規範。

## 參考文獻

- [1] 喬國鎮，1998，「隨機振動試驗控制理論與實務」，第六屆振動噪音工程學術研討會，桃園，第 137-144 頁
- [2] Lev, M. K., 2000, "The Strategy of Accelerated Reliability Testing Development for Car Components," *SAE Technical*, Detroit, Michigan, United States, Paper No: 2000-01-1195
- [3] James, A. R., 2009, "The Systems Engineering Relationship between Qualification, Environmental Stress Screening and Reliability," *Aerospace Technology Conference and Exposition*, Seattle, Washington, United States, Paper No: 2009-01-3274
- [4] 王栢村、黃俞憲、李昆達，2008，「振動試驗機平台 EMA 與 OMA 之比較分析」，屏東科技大學暨北京科技大學第三屆學術交流研討會，北京，論文編號:MB0809.
- [5] Wang, B. T., and Zhuang, F. R., and Lee, D., 2007, "Development of Design Process for Auxiliary Table of Vibration Testing Machine," *The 15<sup>th</sup> National Conference on Sound and Vibration*, Taipei, No. A-11.
- [6] JEDEC, 2001, JEDSD22-B103-B:Vibration, Vibration Frequency, JEDEC Solid State Technology Association, Arlington Virginia.
- [7] MIL-STD, 2007, MIL-STD-883E vibration Variable Frequency.
- [8] IEC, 1995, IEC 68-2-6 Test Fc and guidance : Vibration sinusoidal.
- [9] 王栢村，李坤鴻，李昆達，2010，「含激振器動態效應之振動平台更新模型驗證」，中華民國航太學會學術研討會，桃園，論文編號:J1-1
- [10] 王栢村，莊豐榮，李昆達，2006，「助補強垂直輔助平台平坦度性能指標之分析與驗證」，機械工程學會第二十三屆全國學術研討會，台南，論文編號：C3-028。
- [11] 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」，機械工程學會第二十二屆全國學術研討會，中壢，論文編號：C3-026。
- [12] Wang, B. T., Hung, Y. X., and Lee, D., 2008, "Different Design of Vertical Auxiliary Tables and Flatness Evaluation," *The 15<sup>th</sup> International Congress on Sound and Vibration*, Daejeon, Korea, Paper No:T0606