

伺服器有限元素頻譜分析與實驗

黃昱先, 王興正, 呂俊明, 蔡協良
英業達股份有限公司

摘要

在現今的電子產業中，產品都被要求做的輕薄可攜，但其結構強度與耐振能力也備受考驗。此時在產品零件的選擇中，應適時選擇使用阻尼材料(Damping Material)，利用阻尼材料吸收振動時的能量，或是在摔落時減少其衝擊力。

當伺服器運作時，高速運轉的風扇振動會影響到硬碟的讀取，造成硬碟讀效率的降低甚至資料讀取失敗。阻尼材料在電子產業的運用很廣泛，在伺服器產品中，風扇與機殼之間常會以阻尼材料連接，在此採用阻尼材料的一個重要的功能就是隔絕並吸收振動能量。

而阻尼材料在物理材料理論上，是屬於黏彈性(Viscoelasticity)材料，在頻譜響應(Frequency Response)分析中，藉由有限元素軟體Abaqus輸入其儲存模數(Storage Modulus)及損耗模數(Loss Modulus)，才可完整描述其動態行為。

在本文中，我們將建立伺服器之有限元素模型，並討論不同阻尼材料模型，以頻率響應的分析方式，比較分析及實驗數據。

關鍵字： 阻尼、黏彈性材料、頻譜響應、有限元素法

ABSTRACT

Nowadays electric products are required to be lighter and portable, so structural strength and shock resistance of them are also more challenged. Therefore, as selecting components, it is better to use some damping material at the appropriate point which absorbs energy of vibration or reduces impact force while product drops.

In the server product, used to use elastic damping material to isolate and absorbed the vibration energy. The damping material is a viscoelasticity material in the theory of physical materials. To fully describe its dynamic behavior, we need to import storage modulus and the loss modulus to Abaqus for FRF simulation.

In this article, we built a finite element model of the whole server, and change the model on the damper material. We used some different connector to describe the damper behavior by the frequency response analysis, and comparing with the experiment.

Keywords: Damper, Viscoelastic material, Frequency response analysis, Finite element method

一、緒論

1.1 伺服器構造

因為伺服器是屬於高運算功能及高儲存密度的電子產品，以1U的伺服器而言，在一個狹小空間內，會擺入雙處理器，超過16支以上的記憶體，還有8顆2.5"的硬碟，還要支援各種PCI卡，甚至是高效能的繪圖卡，這樣高耗能的電子產品，需要有高轉速、大風量的風扇及時的將熱量吹走。

然而高速運轉的風扇振動會影響到硬碟的讀取，造成硬碟讀寫效率的降低甚至資料讀寫失敗。所以在伺服器產品中，風扇與機殼之間常會以阻尼材料連接，利用阻尼材料達到隔絕振動及吸收能量的效果。

1.2 黏彈性材料

阻尼材料以力學觀點而言是屬於黏彈性材料。黏彈性材料(Viscoelastic material)

簡單的說，是材料具有部分彈性固體的性質，又具有黏性流體的性質。

在一般彈性固體只考慮到材料的彈性行為，這類的彈性行為，在施加負載的反應是即時性的，因此此類材料一但卸載後，材料的變形也會及時回復，譬如彈簧。

而黏性流體不能對負載產生即時的響應，即是說無論加多大的載重，黏性流體不可能產生即時應變。黏性流體的應變對於周期性的應力，應變反應是落後 $\pi/2\omega$ 的相位。簡言之黏性流體的應力與應變都隨時間而改變。

狹義上的黏彈性材料(黏彈性固體材料)在性質上介於彈性體與黏性流體之間；它對於突加負載會像彈性體一樣產生即時響應；對於動負載又像黏性流體具有落後的響應，而落後的時間介於彈性體與黏性流體之間。它的應力與應變會隨時間而變化。

而廣義上而言，黏彈性材料是包括了彈性體與黏性流體，也就是說，完全的理想彈性材料與理想黏性流體只是黏彈性的特例，即使是看似堅固的金屬固體也是具有微小的黏彈性性質，而且溫度越高，黏彈性材料的性質就越明顯，例如金屬材料的退火 (Annealing) 製程，就是利用其黏彈性性質，可以降低金屬的內應力[1]。

1.3 黏彈性材料動態特性

阻尼材料因具有彈性與黏性雙重特性，所以在研究阻尼材料時採用黏彈性理論分析其行為，當黏彈性材料受到周期性的外力時，一部分能量會由彈性變形而儲存起來，另一部分能量則由材料本身的損耗轉變成熱能消散。

而黏彈性材料在動態負載下主要的行為特徵就是響應落後，這也是黏彈性材料可以消耗能量的表現。如圖 1， Y_1 為儲存模數 (Storage Modulus)，代表的是每一週期能量儲存與彈性回復的準則， Y_2 為耗損模數 (Loss Modulus)，為每一周期中能量的損耗，另外還有耗損因子 ($\tan(\delta)$, Loss factor)，此三者常被一起繪製表示[2, 3]。

耗損因子越大，代表的是耗損的能量就越多，理論上如果使用頻率正好也在這附近，減振的效果就越大，當然，實際阻尼器的設計或是參數的選用還需要整體結構的配合才能達到最佳的效果。

1.4 有限元素分析

有限元素法基本構想就是將一個具複雜幾何形狀的物體，切割成許多很小而且形狀簡單的區域，每一個小區域稱為一個元素 (Element)，基於每個元素皆是簡單的幾何外型及負載，就可以獲得每個小元素的方程式。

而所謂簡單幾何，在 2D 的情況下就是三角形或是四邊形，在 3D 就是四面體或是六面體等。元素的頂點上都會有節點 (Node)，也就是在三角形元素上的三個頂點會有三個節點，其中元素與元素之間是以節點來連接，由此可知一個節點可能被多個元素共用。但節點也不一定只能在元素的頂點，節點也可以在元素邊緣的中點。

在有限元素法中，取節點上的變位量做為未知量，這個未知量又稱為自由度 (Degree of Freedom)。對於 3D 六面體而言，若各個頂點各有一個節點，每個節點有三個自由度，分別是 x、y、z 方向的變位量，那這個元素就有 24 個自由度。

因為每一個元素都是簡單的幾何形狀，而節點又與其他元素相連接，就可以將每一個方程式聯立起來，變成一組聯立方程式。解出這組聯立方程式就可以得知每個節點的變位量。

有了節點上的變位量就可以計算所有元素的變位場，再由變位場再計算出應變場及應力場。於是原本具有複雜幾何、複雜負載的結構問題，便可由有限元素法去求解 [4]。

在黏彈性材料模擬分析方面，Morman 等人利用有限元素法分析黏彈性材料，並且採用動態機械參數[5]。

二、伺服器頻譜分析實驗

2.1 實驗架設

在實驗架設上，使用一台伺服器作為量測對象，將其放置於大質量、水平且平坦的大理石平台上。測試時將風扇電源外接，並不開機，避免系統運作當中，硬碟碟片轉動的振動及其他內部電子噪音的影響。

在輸入風扇電源後，待其轉速穩定，分別量測在風扇、硬碟、主機板及機殼等處的加速度值。而在風扇上量測所得的加速度值就是之後在有限元素模擬的輸入條件，如圖 2。

三、有限元素分析

3.1 有限元素模型

在本文中，將建立一個整機的伺服器模型，如圖 3。在風扇的位置上輸入實驗獲得的加速度與頻率關係的條件，並且在有限元素法中以頻率響應分析的方式計算。

3.2 風扇模組模型簡化方式

風扇模組是由風扇本體、風扇外框及風扇阻尼器三者構成，如圖 4。風扇外框的設計是為置換方便。而風扇阻尼器的功能就是為了隔絕與降低振動。

一般而言，風扇外框及風扇阻尼器的外型相當複雜，須適當的加以簡化以達到減少整體元素數量的目的，但既使風扇阻尼器經過簡化的步驟，還是期望模擬結果是具有隔絕與降低振動的效果。在本文中，以三種簡化方式評估取代風扇外框與風扇阻尼器的 3D 外型：

第一種方式就是風扇本體與機殼直接以剛體元素連接(RBE2)，此種方式最直接、方便，但是在有限元素分析中就沒有任何減振的效果，之後的實驗與模擬比對下可能會有很大的誤差。

第二種方式是先建立風扇本體、風扇外框及風扇阻尼器的有限元素模型，並且輸入其材料參數，以靜態分析的方式，獲得風扇外框及風扇阻尼器在各個方向的靜態等效彈性係數。在整體的伺服器模型中，風扇與機殼之間就以彈簧元素連結(Bush)，並以等效彈性係數取代風扇阻尼器。

第三種方式就是以上述所計算得到的等效彈性係數為基礎，反向計算求得一個 3D 的圓柱實體，此圓柱實體的各個方向的靜態等效彈性係數須與上述的等效彈性係數一致。

因為在 Abaqus 中，Bush 元素無法輸入黏彈性係數的材料參數，如需要輸入具黏彈性材料的性質，只能轉化為 3D 模型。以上各種的簡化有限元素模型如圖 5。

3.3 參數設定

在 Abaqus 內部的黏彈性參數設定中，可以由儲存模數、損耗模數與頻率的關係曲線，轉換為 Abaqus 黏彈性材料所需的輸入值[6]，而本文得黏彈性參數是由阻尼材料動態特性量測的實驗所獲得[7]，此材料之

黏彈性材料參數與 Abaqus 所需輸入參數得對應圖，如圖 6。

四、實驗與有限元素結果比對

4.1 硬碟上的頻譜分析比對

在伺服器的振動頻譜分析中，最重要的就是振動在硬碟上的響應，畢竟伺服器中對振動最敏感的元件就是硬碟。所以在此針對硬碟，由有限元素模擬的頻率響應分析結果與實驗做比對。

首先就可以發現在以剛體元素連結所模擬出來得數值都偏大。然而以彈簧元素連結以及等效實體連結其數值是比較接近實驗數值的，但是在彈簧元素連結所獲得的數值跳動似乎是比較大，如圖 7-10。

為了比較這三個模擬方式的適用性，因此，將這三條模擬曲線分別與實驗數據做統計上的差值平方和及相關性分析，比對這三個模擬方式與實驗結果的關聯性，以獲得它們的量化指標，如表一與表二。

依此看來，以等效實體連接的方式與實驗的差值平方和是比較小，也就是模擬結果與數據的差異是比較小；並且與實驗數據的相關性分析是比較高。

4.2 簡化風扇阻尼器在風扇端與機殼端的比較

在此除了以差值平方和及相關性分析用以比較適合的簡化模型之外，將針對以彈簧元素連結與等效實體連結方式的風扇阻尼器前後得節點加速度值取出比較，如圖 12-13。

在圖 12 之中可以看到，此數值有不合理的地方，以彈簧連結方式的部分頻率下，振動在阻尼器之後，反而比在阻尼器之前還要大。如此看來，以具黏彈性材料性質的等效實體連接才真正具有阻尼減振效果的方式，如圖 13。

五、結論與未來展望

從實驗與模擬上比對的結果，風扇與機殼連結三種方式中，以剛體連接的方式是最差的方式，風扇的振動幾乎原封不動的傳遞到機殼與硬碟上，在其硬碟上的分析數據結果是遠大於量測數值，雖然剛體連接的相關性也是比較符合。這是因為剛體連結的關係，因為振動經過剛性連結是完整地傳遞到

機殼，所以它的數值原本應該要相似於風扇的振動頻譜。

而以彈簧的方式連接，是比較合理的方式，但是在此的有限元素分析數據與實驗數據之間的相關性不高。

以具黏彈性材料性質的等效實體的模擬方式是相對相似於實驗數據，而且在風扇阻尼器前後的節點觀測而言，也有合理的呈現。

最後，此數值也有不盡完美的地方，實驗數據與模擬數據還是有一段差距。可能是硬碟與機殼的連結方式，一般伺服器都會使用硬碟載盤做為與系統快速抽換的方式，而硬碟載盤與機殼得等效彈性需要再進一步的分析及實驗才能精進。

另外，具黏彈性材料性質的實體等效模擬方式還是存在相當得不便之處，若在 Bush 元素上即可輸入黏彈性材料的參數，這可能是更快速簡便的方式。

六、參考文獻

- [1]張義同，熱黏彈性理論，天津大學出版社，天津，2002。
- [2]Lakes, R.S. “Viscoelastic Solids,” CRC, Boca Raton, Florida, 1998.
- [3]Ellis H. Dill, “Continuum Mechanics: Elasticity, Plasticity, Viscoelasticity,” CRC, Boca Raton, 2006.
- [4]王勗成、邵敏，有限元素法：基本原理與數值方法，亞東出版，1990。
- [5]K. N. Morman, Jr., B.G. Kao and J. C. Nagtegaal, “Finite Element Analysis of Viscoelastic Elastomeric Structures Vibrating about Non-Linear Statically Stressed Configurations,” SAE Technical Paper, 811309, 1981.
- [6]“Abqqus 6.13 Analysis, User’s Guide, Volume III: materials, 22.7.2 Frequency domain Viscoelasticity,” Simulia.
- [7]黃昱先、陳文華、蔡協良、康宗瑋、王崇陽，阻尼材料特性量測平台設計與材料參數計算，中華民國力學學會第三十八屆全國力學會議，基隆，2014。

七、表格

表 1: 實驗與模擬結果差值平方和

	HDD1	HDD2	HDD3	HDD4
剛體元素	0.7498	1.4625	1.3548	1.4263
彈簧元素	0.0994	0.0357	0.0569	0.0825
等效實體	0.0028	0.0024	0.0028	0.0024

表 2: 實驗與模擬結果相關性分析

	HDD1	HDD2	HDD3	HDD4
剛體元素	0.5012	0.2487	0.5951	0.2291
彈簧元素	-0.0075	-0.0336	-0.015	-0.0455
等效實體	0.4782	0.2903	0.4619	0.0872

八、圖片

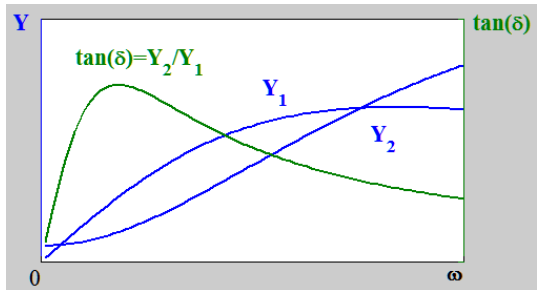


圖 1 儲存模數、耗損模數與耗損因子示意圖

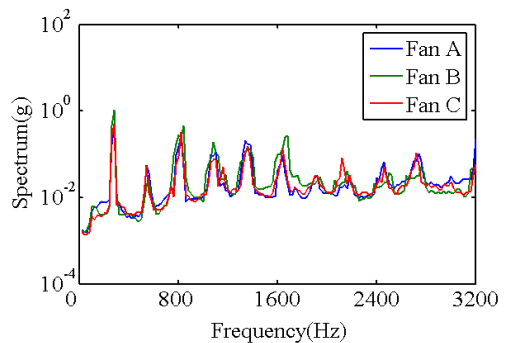


圖 2 風扇振動頻譜圖

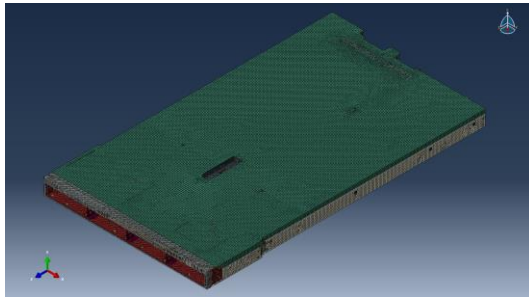


圖 3 伺服器有限元素分割圖

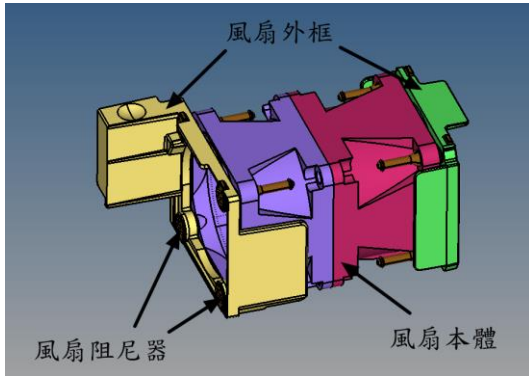


圖 4 風扇模組構造圖

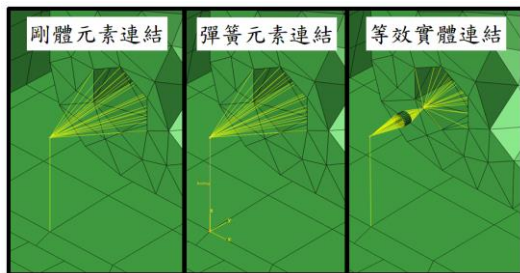


圖 5 風扇模組簡化模型圖

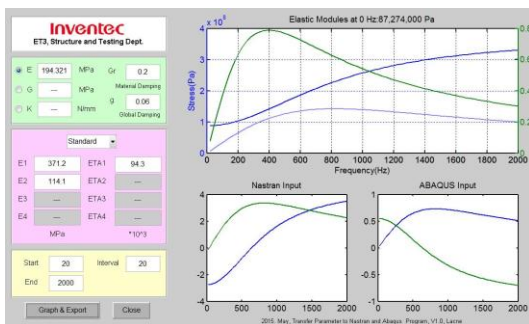


圖 6 黏彈性係數與轉換 Abaqus 輸入參數圖

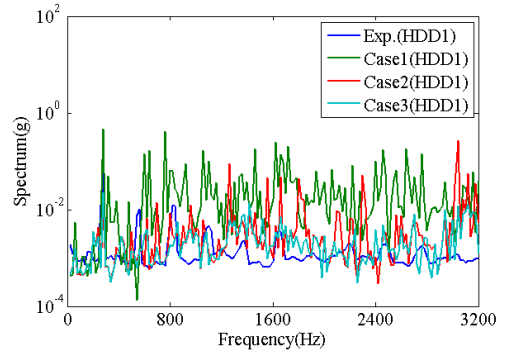


圖 7 實驗與模擬頻譜比較圖(HDD1)

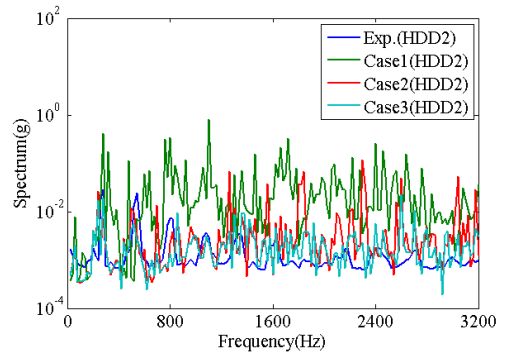


圖 8 實驗與模擬頻譜比較圖(HDD2)

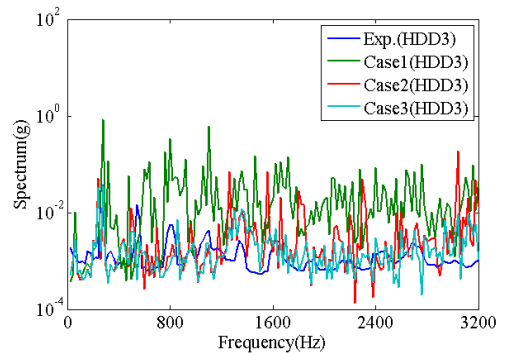


圖 9 實驗與模擬頻譜比較圖(HDD3)

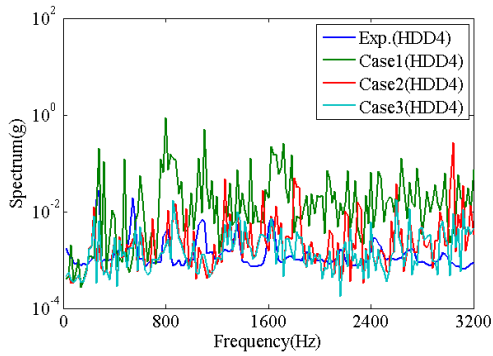


圖 10 實驗與模擬頻譜比較圖(HDD4)

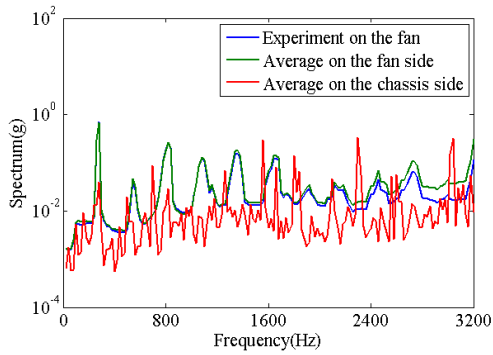


圖 11 阻尼器前後模擬頻譜比較圖
(彈簧元素連結)

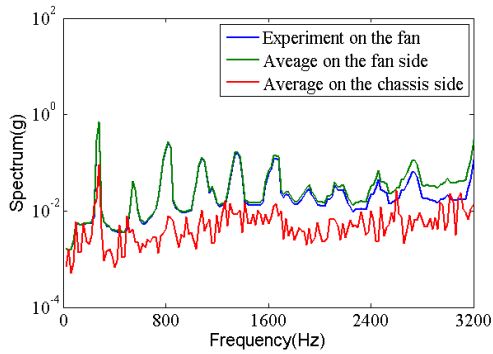


圖 12 阻尼器前後模擬頻譜比較圖
(實體元素連結)