

動性試驗法於玻璃帷幕大樓受機械振動作用之 結構傳音鑑定研究

盧威宇¹、王偉輝²

¹ 宇泰威工程有限公司 總經理、系統工程博士候選人

² 國立臺灣海洋大學 系統工程暨造船學系 教授

網址: www.luweiyu.com.tw

電話: 0932-023-043 ; 02-2547-4975

E-mail: luweiyu6050@yahoo.com.tw

摘 要

玻璃帷幕大樓往往為了美觀而採用大面積的玻璃帷幕牆面，使得該牆面結構容易受到機房之振動而產生低頻噪音並傳遞幅射至大樓各樓層內，尤其是對大樓內聲響品質要求頗高的會議室、主管辦公室或臥房等所造成之影響不容忽視。

本文採用動性測試法，進行實際高樓建築振動噪音之診斷，由所量得的玻璃帷幕振動頻譜追蹤結構音傳遞路徑，並就其結構傳音之功率流理論與實際改善結果進行分析評估，本方法可提供未來建築設計之應用參考。

壹、前言

空調機房冰水主機運轉時所產生的高功率噪音，該機組與鄰近牆面之距離，與牆面共振頻率之音頻波長形成駐波現象時，可能引起玻璃帷幕牆的共振現象發生，同時使該音功率傳遞至上下樓層樓板鋼樑結構內進而形成二次噪音問題。因此如何避免此現象之發生，及該現象發生時如何補救改善，便是本文所要研究探討之重點。

貳、結構振動耦合功率流傳遞追蹤診斷流程

冰水機組運轉所產生的振動，經由隔振不佳的隔振基座或連結管路傳遞至上下層樓板，而樓板產生振動時，與樑柱、玻璃帷幕壁面的振動功率流傳遞關係如圖 1 所示：

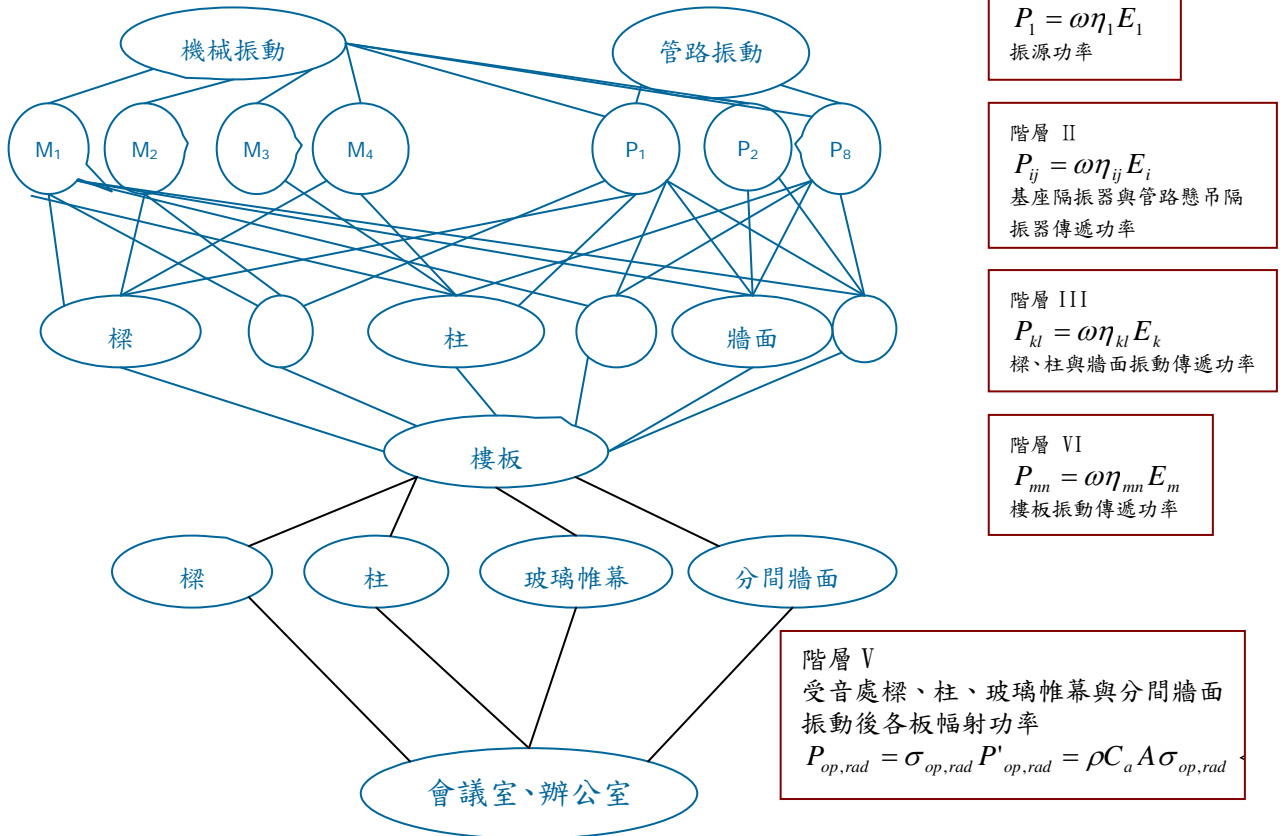


圖 1. 振動功率流傳遞路徑圖

圖 1 之振動功率流傳遞路徑中，以統計能量分析模型來表示，對功率流系統之各階段損耗功率 P 有如下的基本關係式：

$$P = C\dot{x}^2 = 2\zeta\omega_n M\dot{x}^2 = 2\zeta\omega_n E = \frac{\omega_n E}{Q} = \omega_n \eta E \quad (1)$$

式中，C 為振動子系統的阻尼係數， \dot{x} 為振動子系統質點速度， ζ 為阻尼比 ($\zeta = C / (2\sqrt{MK}) = C / (2M\omega_n)$)，M、K 分別為振動子系統的質量與勁度， ω_n 為振動子系統之自然頻率，M 為振動子系統的質量，E 為振動子系統能量，Q 為放大因子(品質因子)， η 為振動子系統內部損耗因子，而 η 與阻尼比 ζ 的關係為 $\eta = 2\zeta$ 。其中 ω 為分析頻帶寬 $\Delta\omega$ 的中心頻率， E_i 、 η_i 為在 $\Delta\omega$ 內統計能量分析振動子系統 i 的能量與內損耗因子，而於統計能量分析中，任一振動子系統 i 的內損耗功率 P_i 有如下關係式：

$$E[P_i(\omega)] = E[\omega \eta_i E_i(\omega)] \quad (2)$$

式中， $E[]$ 是統計期望平均值符號， E_i 與分析頻帶寬 $\Delta\omega$ 的中心頻率 ω 有關，為簡化(2)式，表示如下：

$$P_i = \omega \eta_i E_i \quad (3)$$

圖 1 之機械振動源 ($P_1 = \omega \eta_1 E_1$) 傳至基座隔振器與管路隔振器的振動子系統功率 ($P_{ij} = \omega \eta_{ij} E_i$)

將能量進一步傳遞至該樓層樓板、樑柱與牆面 ($P_{kl} = \omega \eta_{kl} E_k$)，接著由樓板樑柱振動的功率流向上下樓層銜接的玻璃帷幕牆、柱或分間牆而以板幅射 $P_{op,rad} = \sigma_{op,rad} P'_{op,rad} = \rho C_a A \sigma_{op,rad} < \bar{v}^2 >$ 聲功率方式，形成空間聲場噪音或振動問題。而上述各階段能量傳遞型式，需滿足振動子系統間功率流平衡方程式：

$$P_{source} = P_{ij} + P_{kl} + P_{mn} + P_{op,rad} \quad (5)$$

式中 P_{source} 表示機組之振源總功率， P_{ij} 表示機組機座與管路懸吊之各隔振器振動傳遞功率， P_{kl} 表示機房內樑、柱與牆面振動傳遞功率， P_{mn} 表示受音敏感位置所在之樓板振動傳遞功率， $P_{op,rad}$ 表示受音敏感處周圍之樑、柱、玻璃帷幕與分間牆面振動幅射功率。

因此，由功率流理論亦可進一步簡化控制室內牆板聲幅射的物理意義：

1. 假設機器與基座結構間之接合包含有 N 個接點自由度座標，則傳遞功率之計算必須利用 $N \times N$ 階之動性函數矩陣表示為：

$$P(\omega) = \frac{1}{2} \{F(\omega)\}^T \text{Re}[M(\omega)] \{F(\omega)\} \quad \text{or} \quad P(\omega) = \frac{1}{2} \{V(\omega)\}^T \text{Re}[Z(\omega)] \{V(\omega)\} \quad (6)$$

2. 振動功率流之輸入與輸出亦可利用頻譜分析中之力自相關頻譜函數 G_{ff} ，振動速度自相關頻譜函數 G_{vv} 或交叉功率互相關頻譜函數 G_{fv} 來表示為：

$$P(\omega) = G_{ff} \text{Re}[M] = \text{Re}[G_{fv}] = G_{vv} \text{Re}[Z] \quad (7)$$

3. 經彈性座傳遞功率 $P_{transmit}$ 與系統中驅動接收點之阻抗 $Z_{transmit}$ 關係為：

$$P_{transmit} = G_{vv} \text{Re}[Z_{transmit}] \quad (8)$$

$$[Z_{transmit}] = [Z_{BA}] = [Z_{AB}] = \frac{-[M_{AB}]}{[M_{AA}][M_{BB}] - [M_{AB}][M_{BA}]} \quad (9)$$

參、實際案例分析

一位於高樓建築辦公會議室受到樓下機房運作所產生的噪音困擾，以圖 1 功率流傳遞關係圖量測以下數值，分別如下：

3.1 機器運轉時

3.1.1 會議辦公室之音壓頻譜圖暨聲品質 NC-CURVE 曲線

於受音處位置，如圖 2 所示，測得會議室內 NC-CURVE 曲線，並將機房內，如圖 3 所示，所量得 1/1 倍頻音壓，標註於同一 NC-CURVE 曲線上，如圖 4 所示，由該圖便可初步決定主要解決的振動功率傳遞頻率範圍為 250Hz。



圖 2. 辦公室位置音壓頻譜量測圖



圖 3. 機房音壓頻譜圖

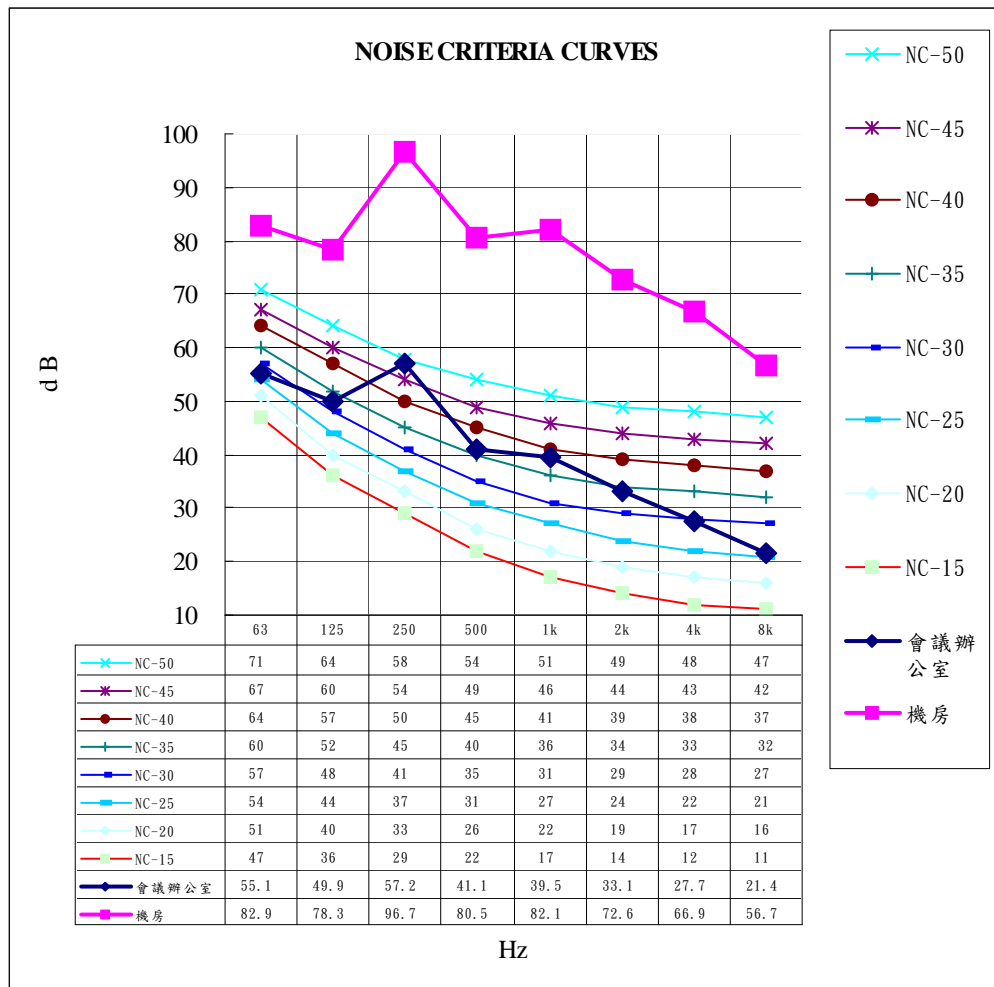


圖 4 辦公室與機房之 NC-CURVE 聲品質律定曲線圖

3.1.2 辦公會議室振動量測

於會議室周邊玻璃帷幕牆、樑柱表面輕隔間板材及樓板表面量測振動速度頻譜，如圖 5 至圖 7 振動速度頻譜圖所示，可知樓板在 250Hz 為其振動主要頻率，但其振動量傳遞至樑柱的表面板材與玻璃帷幕窗時產生該頻率的振動放大現象，因此要降低該會議室內在 250Hz 的噪音量，必需阻斷機房內 250Hz 振動量的傳遞功率流至此會議室隔間板材內。

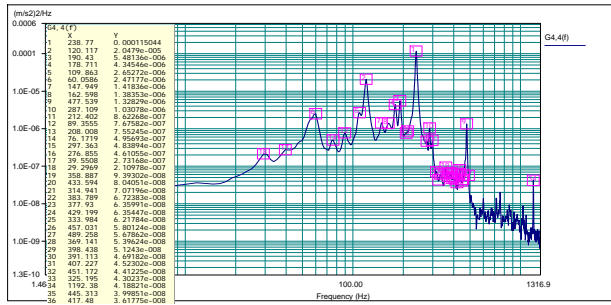


圖 5 辦公室柱面木質板表面振動加速度頻譜圖

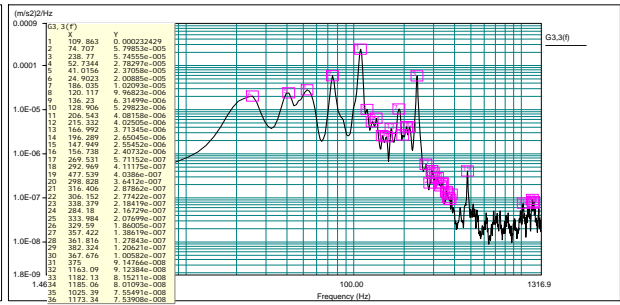


圖 6. 玻璃帷幕振動加速度頻譜圖

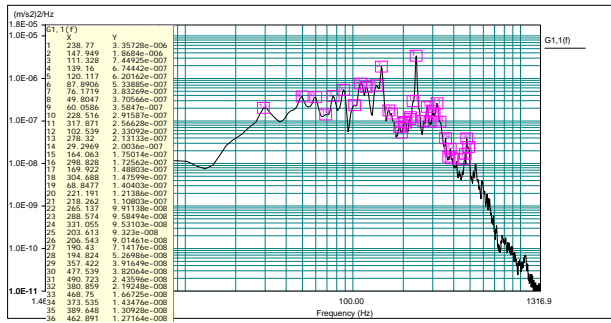


圖 7 辦公室樓板振動加速度頻譜圖



3.1.3. 機房內的振動量測

機房內機械運作時各隔振器及機器旁樓板與牆面管路之振動加速度頻譜，如圖 8 至圖 10，作為研判傳遞路徑之參考，

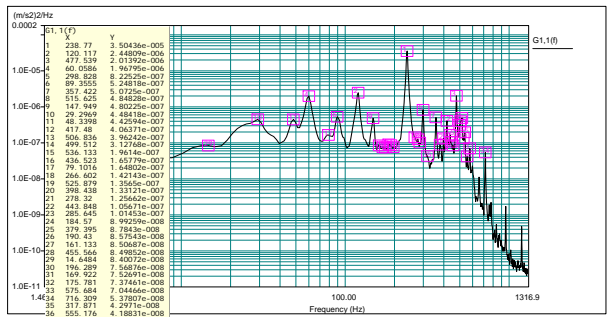


圖 8. 機房樓板振動加速度頻譜圖

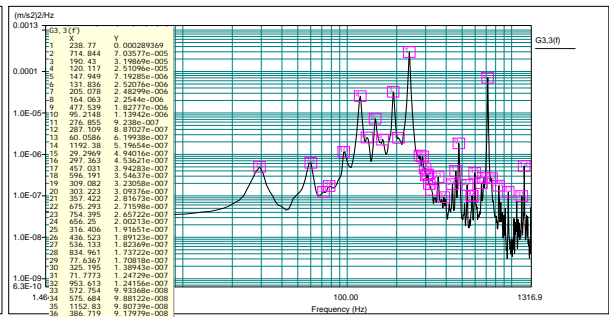


圖 9. 機房鋼柱振動加速度頻譜圖

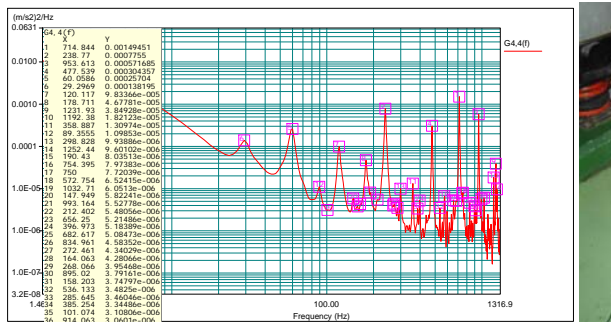


圖 10. 機房機器旁牆面振動加速度頻譜圖



3.2 機器停止運轉量測

依下列步驟量測各振動子系統動性頻譜圖

- 機械基座各隔振器與管路懸吊之隔振效能動性測試
- 各隔器傳遞至樓板、牆面與樑柱之動性頻譜圖
- 辦公會議室內玻璃帷幕與分間牆之模態頻譜圖

3.3 由各頻譜圖進行相關性比較分析，排出改善優先順序

機械停機時所量得的各傳遞路徑功率流由最大排列起，依序作為改善先後順序參考。

肆、改善方案

4.1 更換機械基座隔振器

將隔離主要功率流傳送頻帶之隔振器，而所更換之隔振器須經由動性測試平台測試，如圖 11 所示，由不同的隔振器動性頻譜圖，如圖 12 所示，以確認 250Hz 隔振效能能達 75% 以上，若假設各傳遞路徑皆為線性關係，則於傳遞路徑末端之受音位置，250Hz 頻率範圍幅射音壓預計可降低 6dB 以上。

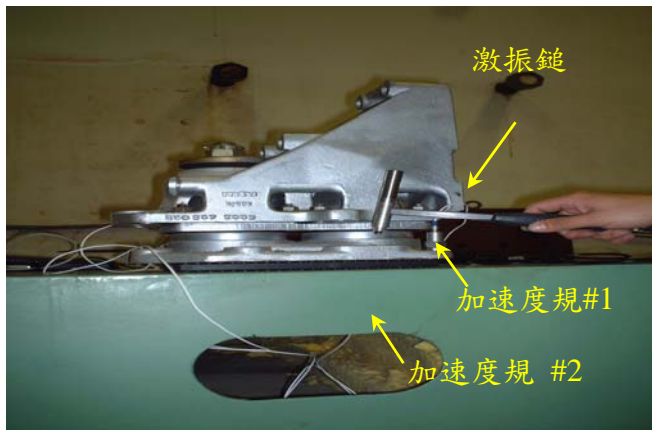


圖 11. 隔振器動性測試平台示意圖

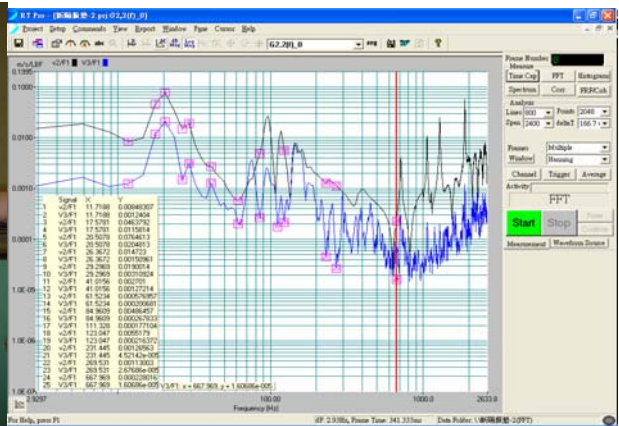


圖 12. 更換前後之隔振器動性測試圖譜示意圖

4.2 將玻璃帷幕牆安裝制振貼片或制振噴覆材

以噴覆方式或貼合、塗抹方式，將制振材料安裝於玻璃帷幕上，以降低振動表面聲幅射現象，達到減低室內聲壓的目的，如圖 13 與圖 14 所示。



圖 13 以噴覆式制振材改善玻璃帷幕表面振動量



圖 14 以制振貼片改善玻璃帷幕表面振動量

4.3 改善結果

依上述改善方案，可將會議室內主要頻率 250Hz 之音壓由 57dB 降低至 50dB 以下，同時使 NC-CURVE 值由 NC50 降至 NC40，以符合會議室內聲場品質標準。

伍、結論

玻璃帷幕窗在近代建築普遍被大量採用，但對於銜接玻璃帷幕窗框的牆面及樑柱結構，將可能成為樓板微振動後功率流傳遞後共振的良好導體，因此在建築門窗設計時，需考量機房機械運轉時，上下層樓板振動下的功率流傳遞路徑，以及早設計相關隔離能量傳遞或消能措施，以避免板聲幅射現象造成空間內的噪音問題。

陸、參考文獻

- [1] W.H.Wang, W.Y.Lu , Diagnosis of multi-Path Structure-Borne Sound Transfer from Resiliently Mounted Machinery in High-Rise Building, The 32nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineerin Jeju International Convention Center, Seogwipo, Korea, August 25-28, 2003.
- [2] W.H.Wang, Modelling Machine Induced Noise and Vibration in a Ship Structure, PhD thesis, University of Plymouth, 2000.
- [3] J.W. Verheij, Multi-Path Sound Transfer from Resiliently Mounted Shipboard Machinery, Institute of Applied Physics, TNO-TH 2nd ed., Delft, 1986.
- [4] R.J.Pinnington and D.C.R.Pearce, Multipole Expansion of the Vibration Transmission between a Source and a Receiver, Joul of Sound and Vibration, Vol.142(3), 1990.