

應用 CMS 技術於壓縮機管路系統模擬與設計變更探討

王栢村^{1,*}、李易緯²、張博鈞³

¹屏東科技大學機械工程系, 屏東, 台灣

²瑞智精密股份有限公司, 桃園, 台灣

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

摘要: 在執行壓縮機管路系統預測分析時, 需要壓縮機及管路系統模型進行分析, 但由於複雜結構導致求解時間過長, 由於管路系統連接到壓縮機, 因此不適合採用固定邊界。本文使用組件模態合成法(component mode synthesis, CMS)於壓縮機管路系統模擬, 說明其分析方法及應用在壓縮機管路系統自動化振動分析程式進行設計變更。首先確認 CMS 技術的可行性, 將壓縮機管路系統全模型與簡化 CMS 管路模型進行模態分析, 以模態域結果驗證, 確認 CMS 技術之可行性及準確性, 再針對自動化程式進行改善, 將原本固定管路模型替換成簡化 CMS 管路模型進行設計變更, 並探討全模型與簡化 CMS 模型與固定管路模型之間的差異。結果顯示, 以全模型與簡化 CMS 管路模型之模態參數, 兩者對應良好, 確認 CMS 正確性與準確性。透過 CMS 技術進行管路系統幾何設計變更, 模擬實際應用。最後比較不同分析模型之優缺點, 包括固定邊界管路模型、簡化 CMS 管路模型及壓縮機管路系統全模型。本文使用 CMS 技術, 並將此技術應用壓縮機管路系統自動化程式, 不僅有效且快速預測壓縮機管路系統之振動特性, 並有助於降低產品開發的時間與成本。

關鍵詞: 組件模態合成法; 壓縮機; 管路系統; 設計變更

1. 前言

壓縮機管路系統的主要功能是冷媒運送, 當振動過大時會迫使管路與其他零件產生接觸, 進而引起破損, 因此了解壓縮機管路系統之振動特性對設計管路及改善振動噪音有很大的幫助。另外在進行壓縮機管路系統預測分析時, 需要建立壓縮機及管路之分析模型, 但由於結構複雜導致求解時間過長, 因此模型縮減技術的相關研究便成為結構動態分析的重要課題之一, 而組件模態合成法(component mode synthesis, CMS), 便是在此需求下所發展出的有效模型縮減方法。

CMS 技術主要應用在大型結構的土木建築領域、機械與車輛領域中, 也會因為零組件甚多或複雜結構的分析案例而被使用, Zhang *et al.* [1]對車輛進行結構分析, 由於車輛模型是個複雜結構, 因此對分析模型進行劃分, 將車輛結構分成 12 個次結構, 並對各個結構之接觸介面進行特徵分析, 減少自由度數量來獲得更精簡的分析模型, 結果顯示, 使用矩陣過濾技術 matrix filtration technique 取代以往標準的 Craig-Bampton CMS 方法, 在特徵分析拘束條件的轉換中, 拘束矩陣 Constraint Mode Matrices 與接觸矩陣 The Interface Matrices 皆能有效的節省計算所使用的記憶體。王等人 [2]應用組件模態合成法於壓縮機管路系統, 將壓縮機與

管路系統建立全模型, 之後對壓縮機管路系統拆解成壓縮機與管路系統, 接著對壓縮機進行特徵分析, 獲得壓縮機邊界模型, 併入管路系統模型作為 CMS 邊界, 由結果顯示有大致對應。在進行管路預測分析, 搭配 CMS 技術, 使管路設計更加有效率。

王等人[3]為了瞭解空調機內部管路系統所產生的振動噪音, 針對複雜系統結構, 將整體結構進行實驗模態分析(experimental modal analysis, EMA), 再分別對系統或零組件進行模態參數擷取, 用以獲得整體複雜結構模態參數, 最後分析與實驗進行比對, 由結果顯示, 自然頻率誤差約在 $\pm 10\%$, 代表分析模型具有一定的可性度。郝等人[4]透過管路氣柱分析軟件(Bentley PLUS)與應力分析軟件(CAESARII)針對往復式壓縮機管路系統氣柱進行聲學模擬、靜態分析與疲勞分析, 從分析結果了解支架可以改變管路系統自然頻率, 減小振動與降低動態疲勞應力;緩衝罐可使管路改變模態振型, 避開共振頻率, 進而減小壓力脈動, 降低管路振動。Yano *et al.* [5] 為了降低管路振動, 所以將黏彈性材料作為阻尼材料接到管路系統上, 然而這種分析需要大量計算時間, 因此提出增加質量與阻尼的方法, 以解決阻尼材料對管路振動之影響, 為了驗證此方法, 將裝有矽樹脂的管道振動的實驗與分析進行比較, 由結果顯示, 此方法不僅減少求解時間, 並且與動態吸振器有相同效果。

王等人[6]透過實驗模態分析與理論模態分析(theoretical modal analysis, TMA)進行迴轉式壓縮機模型驗證, 由壓縮機的次系統層次到整機系統層次驗證, 並由 EMA 及 TMA 求得的結構模態參數確認分析模型之系統參數, 如零件之材料參數及接觸介面之設定, 此外由分析模型可以了解壓縮機內部的振動模態特性, 將有助於壓縮機的噪音診斷以及設計變更。

王等人[7]將 MATLAB 與 ANSYS 結合應用在壓縮機管路系統之振動分析, 首先由 ANSYS 產生分析檔案, 再由批次處理的手法結合 MATLAB, 最後以 MATLAB 建立自動化分析 GUI (graphical user interface, GUI)。此程式除了加速 CAE 分析流程, 降低 CAE 之使用門檻, 還可以快速瞭解壓縮機管路系統振動特性。

本文將 CMS 技術應用於壓縮機管路系統振動分析, 並搭配自動化分析程式進行設計變更探討, 主要目標如下:

- (1) 針對壓縮機管路系統自動化振動分析程式之分析模型設定進行改善, 透過模態域結果比較, 以全模型為依據, 驗證 CMS 的正確性與準確性。
- (2) 運用此技術搭配壓縮機管路自動化振動分析程式, 進行實務案例的應用, 並探討全模型、固定管路模型與簡化 CMS 管路模型之差異。
- (3) 建立一套壓縮機管路系統設計變更之流程, 未來

可藉由此流程探討壓縮機管路系統振動特性，並有助於研發人員改善與設計。

2. 組件模態合成法之分析理念

本節說明 CMS 理論基礎及 CMS 應用於壓縮機管路系統振動分析程序，CMS 是將大型或複雜結構依據其功能性分成數個子結構或構件，再分別對子結構或構件進行模型縮減的方法，一般常使用在大型結構的分析場合。

2.1. 組件模態合成法之理論基礎

針對一阻尼結構系統，分別可採用質量矩陣、阻尼矩陣及剛性矩陣來定義每一個組件，其矩陣的運動方程式如式(1)所示：

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad (1)$$

將結構矩陣劃分為內部自由度(interior DOF)與介面自由度(interface DOF)，如式(2)、(3)所示：

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u_m \\ u_s \end{Bmatrix}, [M] = \begin{bmatrix} M_{mm} & M_{ms} \\ M_{sm} & M_{ss} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{mm} & C_{ms} \\ C_{sm} & C_{ss} \end{bmatrix}, [K] = \begin{bmatrix} K_{mm} & K_{ms} \\ K_{sm} & K_{ss} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中，下標 m 為介面節點的自由度， s 為其他節點的自由度。節點位移向量 $\{u\}$ 可藉由中組件廣義座標重的主自由度項來重新表示，如式(4)所示

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u_m \\ u_s \end{Bmatrix} = [T] \begin{Bmatrix} y_m \\ y_s \end{Bmatrix} \quad (4)$$

其中 $\{y_s\}$ 為廣義模態座標的截斷項， $[T]$ 為轉換矩陣。

組件模態合成法進行各組件構模態分析時，由於組件間結合介面的邊界條件（介面自由度的位移及受力條件），通常暫時考慮介面的邊界條件為固定或自由，而 ANSYS 用來描述介面自由度的行為的方法有固定介面法(Fixed-Interface Method)、自由介面法(Free-Interface Method)及殘留柔度自由介面法(Residual-Flexible Free-Interface Method)等三種，轉換矩陣 $[T]$ 則會依所選擇的結合介面方法不同而有所不同，本文使用自由度的行為係自由介面法，以下針對自由介面法所使用的 $[T]$ 進行說明

自由介面法又稱為 Herting method，其轉換矩陣 $[T]$ 為式(5)所示：

$$[T] = \begin{bmatrix} [I] & [0] & [0] \\ [G_{sm}] & [\Phi_{sr}] & [\hat{\Phi}_s] \end{bmatrix} \quad (5a)$$

$$[\hat{\Phi}_s] = [\Phi_s] - [G_{sm}][\Phi_m] \quad (5b)$$

$$[\Phi_{sr}] = -[K_{ss}]^{-1}[M_{sm}] + [M_{ss}][G_{sm}][\psi_{mr}] \quad (5c)$$

其中 $[I]$ 為單位矩陣， $[\Phi_m]$ 為主自由度劃分區的自由介面正規模態(free-interface normal modes)矩陣， $[\Phi_s]$ 為次自由度劃分區的自由介面正規模態矩陣， $[\Phi_{sr}]$ 為慣性補償模態矩陣， $[\psi_{mr}]$ 為主自由度劃分區的剛體模態(rigid body modes)矩陣， $[0]$ 為空矩陣， $[G_{sm}] = -[K_{ss}]^{-1}[K_{sm}]$

2.2. 組件模態合成法於壓縮機管路系統分析理念

圖 1 為壓縮機零組件示意圖，壓縮機主要是由泵成品、轉子成品、定子成品及儲液瓶多個複雜結構組成。

圖 2 為壓縮機管路系統組合示意圖，壓縮機管路系統是由壓縮機及吸入吐出管所組成，其主要功能是冷媒運送，當振動過大時會迫使管路與其他零件產生接觸，引起破損，因此了解壓縮機管路系統之振動特性對設計變更有巨大的幫助。

圖 3 為組件模態合成法於壓縮機管路系統分析理念圖，為了將壓縮機管路系統進行縮減，以避免對整體結構分析導致大量的運算量和時間，ANSYS 軟體已具有對 CMS 方法依固定流程來進行分析，其主要可分為四個步驟，首先建立壓縮機管路系統之分析模型，幾何模型、元素型式等，並針對元素給予材料性質等相關物理參數，再將壓縮機管路系統模型分割成數個組件，並對組件與組件介面自由度給予定義，以便後續針對各組件進行獨立分析，接著對各組件進行分析，依據組件介面特性，選用固定介面法或自由介面法的介面分析方法，將各組件依所保留的組件模態數給予設定，再進行後續分析，最後綜合各組件成整體縮減模型。

藉由上述的分析流程步驟依序進行後，可將各個獨立分析的組件綜合成近似的整體縮減模型，進而對縮減模型進行後續的動態分析，即可達到有效提高分析效率的目的。為了確認 CMS 模型是準確可靠的，因此透過模態域進行比對。

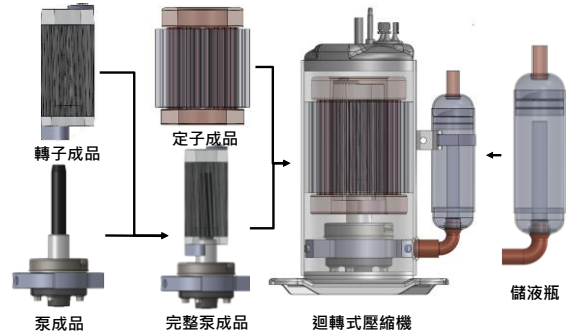


圖 1. 壓縮機零組件示意圖

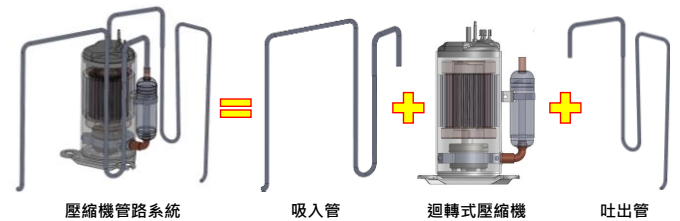


圖 2. 壓縮機管路系統組合示意圖

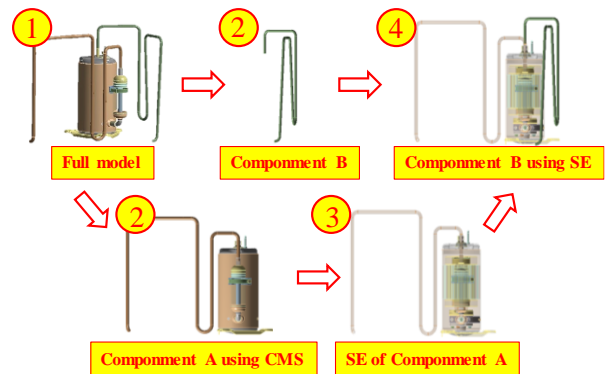


圖 3. 組件模態合成法於壓縮機管路系統分析理念圖

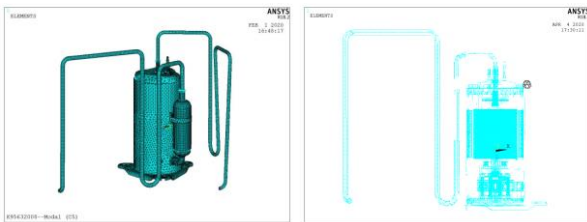
3. 壓縮機管路系統振動分析

本節說明壓縮機管路系統振動分析並應用 CMS 技術, 由上節提到四個分析步驟, 進行壓縮機管路系統縮減, 建立分析模型, 並透過模態參數進行驗證。

壓縮機有限元素模型是延續王等人[6]的壓縮機與管路系統之有限元素模型, 因此該模型之分析設定不在本此研究中討論, 圖 4 為壓縮機管路系統有限元素模型, 圖 4(a)為壓縮機管路系統全模型, 透過 ANSYS 建構分析模型, 並針對元素給予材料性質等相關物理參數, 並設定材料參數等設定, 圖 4(b)為 CMS 壓縮機邊界模型, 是將全模型拆成兩個部分, 一個是壓縮機與吸入管, 另一部份是吐出管, 接著利用特徵值分析獲得壓縮機與吸入管之[M]、[K]矩陣, 圖 4(c)為簡化 CMS 管路模型, 將獲得的特徵值透過超級元素施加於管路模型上, 位置為與壓縮機連接處, 進行模擬組裝後的振動響應, 圖 4(d)為固定管路模型, 為王等人[7]壓縮機管路系統自動化分析程式所使用的分析模型, 此模型只有管路結構, 進行分析時無法模擬壓縮機與管路系統組裝狀態下的振動特性, 尤其進行空調系統設計變更或振動噪音改善時, 壓縮機是主要的振動來源之一, 因此導入 CMS 技術於壓縮機管路系統, 將壓縮機與管路系統組合狀態下進行模擬分析, 不僅求解時間減短, 使模擬壓縮機管路系統更加完善。

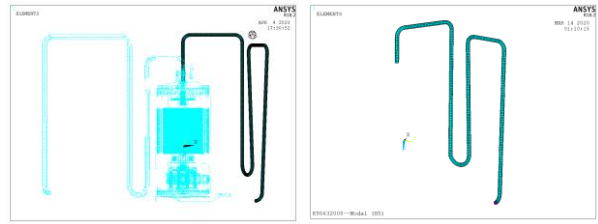
簡化 CMS 管路模型與壓縮機管路系統全模型進行模態分析, 透過模態域的結果比對, 驗證簡化 CMS 管路模型的正确性, 綜合結果討論如下:

- (1) 由表 1 分析模型之自然頻率總表得知, 代號 ABC 分別為全模型、固定管路模型和簡化 CMS 管路模型, 其中全模型與簡化 CMS 管路模型兩者誤差頻率皆小於 1%以內, 對應非常良好;全模型與固定管路模型兩者誤差頻率皆小於 10%以內, 也在合理範圍內。
- (2) 由表 2 分析模型之模態振型總表得知, 全模型與簡化 CMS 管路模型兩者振動特性相當吻合, 在第 12 個模態全模型是吸入管擺動, 而簡化 CMS 管路模型透過超級元素將吸入管的效應模擬出來, 但在固定管路模型因為沒有超級元素這種媒介, 所以無法模擬吸入管及壓縮機所產生的效應。
- (3) 在求解時間的比較, 全模型進行模態分析大約需要 2 至 3 小時, CMS 在計算特徵值分析約需要 30 分鐘, 但使用超級元素後, 進行模態分析只需 3 分鐘。



(a)壓縮機管路系統全模型 (b)CMS 壓縮機邊界模型

圖 4. 壓縮機管路系統有限元素模型



(c)簡化 CMS 管路模型

(d)固定管路模型

圖 4. 壓縮機管路系統有限元素模型(續)

表 1. 壓縮機管路系統全模型、簡化 CMS 管路模型與固定管路模型自然頻率總表

壓縮機管路系統全模型(Hz)	簡化CMS管路模型(Hz)	固定管路模型(Hz)	誤差(%)	誤差(%)			
A01	4.77	C01	4.77	--	0.00	--	
A02	5.15	C02	5.15	--	0.00	--	
A03	12.55	C05	12.55	--	0.00	--	
A04	19.37	C03	19.37	--	0.00	--	
A05	22.01	C04	22.01	--	0.00	--	
A06	22.93	C06	22.92	--	-0.04	--	
A07	24.87	C07	24.87	B01	24.59	0.00	-1.13
A08	25.87	C08	25.87	B02	25.45	0.00	-1.62
A09	30.04	C09	30.04	--	0.00	--	
A10	31.21	C10	31.19	B03	30.91	-0.06	-0.96
A11	31.71	C11	31.71	--	0.00	--	
A12	32.32	C12	32.32	--	0.00	--	
A13	54.26	C13	54.07	B04	51.14	-0.35	-5.75
A14	70.24	C14	70.24	--	0.00	--	
A15	88.54	C15	88.31	B05	79.91	-0.26	-9.75
A16	89.95	C16	89.95	--	0.00	--	
A17	104.73	C17	104.58	B06	103.09	-0.14	-1.57
A18	115.15	C18	115.15	--	0.00	--	
A19	126.31	C19	126.18	B07	125.67	-0.10	-0.51
A20	191.79	C20	190.02	B08	177.21	-0.92	-7.60

表 2. 壓縮機管路系統全模型、簡化 CMS 管路模型與固定管路模型模態振型總表

A01_4.77 Hz	A02_5.13 Hz	A03_12.55 Hz	A04_19.37 Hz
C01_4.77 Hz	C02_5.15 Hz	C03_12.55 Hz	C04_19.37 Hz
Rigid-(Y)	Rigid-(X)	Rigid-(θ _z)	Rigid-(Z)

表 2. 壓縮機管路系統全模型、簡化 CMS 管路模型與固定管路模型模態振型總表(續)

A05_22.01 Hz	A06_22.93 Hz	A07_24.87 Hz	A08_25.87 Hz
C05_22.01 Hz	C06_22.92 Hz	C07_24.87 Hz	C08_25.87 Hz
Rigid-(0 _x)	Rigid-(0 _y)	B01_24.59	B02_25.45
		吐出管擺動	吐出管擺動
A09_30.04 Hz	A10_31.21 Hz	A11_31.71 Hz	A12_32.32 Hz
C09_30.04 Hz	C10_31.19 Hz	C11_31.71 Hz	C12_32.32 Hz
	B03_30.91		
吸入管擺動	吐出管擺動	吸入、吐出管擺動	吸入管擺動
A13_54.26 Hz	A14_70.24 Hz	A15_88.54 Hz	A16_89.95 Hz
C13_54.07 Hz	C14_70.24 Hz	C15_88.31 Hz	C16_89.95 Hz
		B04_51.14	B05_79.91
吐出管擺動	吸入管擺動	吐出管擺動	吸入管擺動

4. 壓縮機管路系統之設計變更

本節說明壓縮機管路系統之設計變更，透過模態分析與簡諧分析，探討設計變更前與設計變更後壓縮機管路系統振動特性，並探討不同壓縮機管路系統分析模型之差異，最後由以上資訊建立一套壓縮機管路系統設計變更流程。

4.1. 壓縮機管路系統設計變更

圖 5 為壓縮機管路自動化振動分析程式，此程式為王等人[7]進行壓縮機管路設計變更時，快速評估壓縮機管路系統振動特性所開發的，此程式的分析模型是採用固定管路模型，而固定管路模型無法模擬壓縮機與管路系統的組裝狀態下的振動特性，因此將此程式的分析模型改良成簡化 CMS 管路模型。

圖 6 為壓縮機管路系統設計變更前後幾何模型圖，針對壓縮機吐出管進行設計變更，設計前與設計後之差異僅改變管路幾何模型，材料參數等設定不變，透過壓縮機管路自動化振動分析程式進行設計變更，從模態分析與簡諧響應分析之結果，探討設計變更前後之差異，綜合結果討論如下：

- (1) 由圖 7 壓縮機管路設計變更前後頻率響應函數比較圖得知，在 50Hz 以前有較高的量值，因此將峰值頻率對應的模態振型進行解讀，推測是由壓縮機剛體模態帶動吐出管產生的影響。
- (2) 輸入與輸出點同在壓縮機與吐出管連接處上方 5mm，原設計在頻率 89.95Hz 有共振頻率，經過壓縮機管路自動化振動分析程式，將吐出管進行設計變更，獲得明顯得改善。
- (3) 針對壓縮機管路系統自動化分析程式改良，經由實際案例分析，固定管路模型與簡化 CMS 模型在求解時間的表現兩者差異不大，但固定管路模型無法模擬壓縮機與管路組裝狀態下的振動特性。

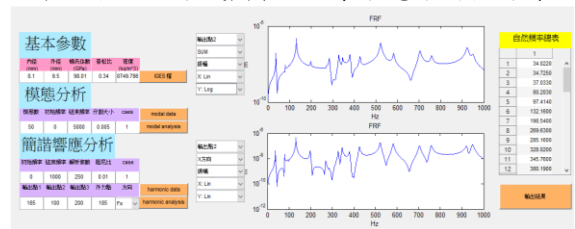
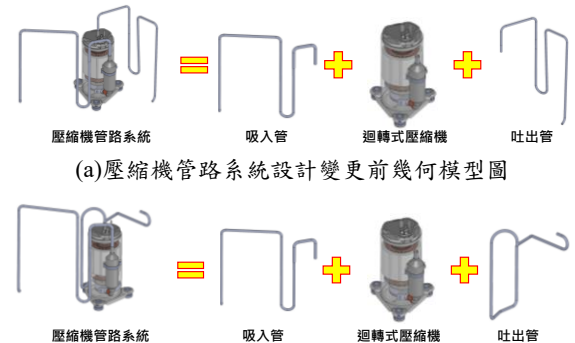


圖 5. 壓縮機管路自動化振動分析程式[7]



(a) 壓縮機管路系統設計變更前幾何模型圖

(b) 壓縮機管路系統設計變更後幾何模型圖

圖 6. 壓縮機管路系統設計變更前後幾何模型圖

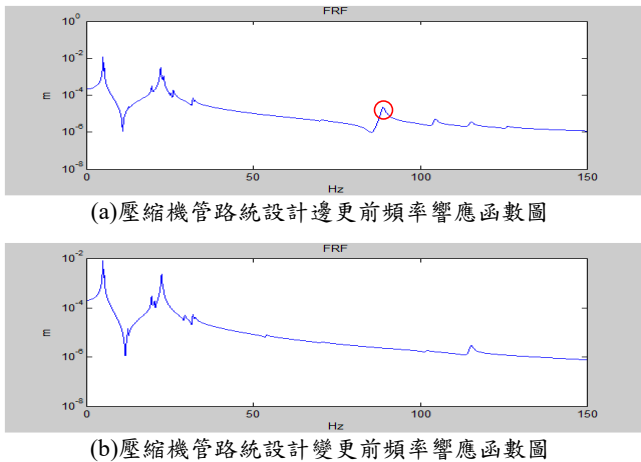


圖 7. 壓縮機管路統設計變更前後頻率響應函數比較圖

4.2. 不同壓縮機管路系統分析模型差異探討

本小節說明不同分析模型之間的差異，並配合壓縮機管路自動化振動分析，建立一套壓縮機管路系統設計變更流程，由表 3 為壓縮機管路系統全模型、簡化 CMS 管路模型與固定管路模型比較表得知，在前處理時間的比較中，固定管路模型耗時最短，其次是簡化 CMS 管路模型，全模型耗時最久，接著求解時間的比較也是有相同表現，再來自然頻率比對中，固定管路模型因為沒有壓縮機模型，所以導致無法模擬壓縮機與管路系統組裝下之振動特性，而簡化 CMS 管路模型可以很好的模擬壓縮機與管路系統組裝下之振動特性。

圖 8 為壓縮機管路系統設計變更流程圖，結合各個分析模型的優點，建立一套壓縮機管路系統設計變更流程，假設針對吐出管進行設計變更，首先對固定管路模型進行振動分析，快速了解原吐出管的振動特性，依據振動特性做為參考設計新的吐出管，再來進行壓縮機及吸入管的特徵值分析，獲得 CMS 壓縮機邊界模型，接著將新吐出管結合 CMS 壓縮機邊界模型，獲得簡化 CMS 管路模型，透過簡化 CMS 管路模型執行分析，得到壓縮機與管路系統組裝下的振動特性，若不符合預期結果，將重複執行第三步驟到符合預期結果，最後由壓縮機管路系統全模型進行驗證。

表 3. 壓縮機管路系統全模型、簡化 CMS 管路模型與固定管路模型比較表

	全模型	固定邊界管路模型	簡化CMS管路模型
前處理時間	1小時	3分鐘	5分鐘
求解時間	2-3小時	5分鐘	7分鐘
element	569638	27029	27030
自然頻率誤差(RMS)		4.92%	0.23%
自然頻率誤差(MAX)		-0.51%	0.00%
自然頻率誤差(MIN)		-9.75%	-0.92%

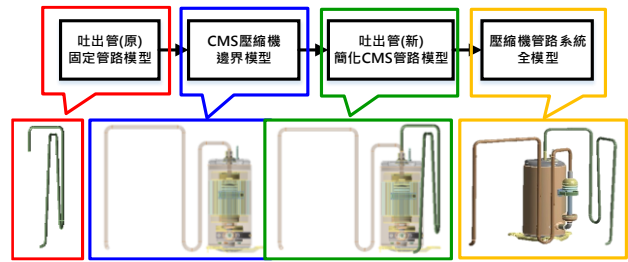


圖 8. 壓縮機管路系統設計變更流程圖

5. 結論

本文應用 CMS 技術於壓縮機管路系統模擬與設計變更，透過模態域的結果驗證 CMS 技術的正確性，並以實際工程案例進行壓縮機管路系統設計變更，綜合以結果，進行以下說明：

- (1) CMS 技術於壓縮機管路系統模擬，經由模態域結果比對，簡化 CMS 管路模型與全模型之自然頻率與模態振型相當吻合，確認 CMS 的正確性。
- (2) 本文改良壓縮機管路自動化分析程式，並以實際工程案例進行設計變更，原設計在頻率 89.95Hz 有共振頻率，透過壓縮機管路自動化振動分析程式及設計變更流程，最後比對頻率響應函數，發現共振頻率獲得改善。
- (3) 在分析時間的比較，全模型耗時最久，其次是簡化 CMS 管路模型，最快是固定管路模型，然而在自然頻率比對中，固定管路模型只能模擬管路之振動特性，而簡化 CMS 管路模型可以很好的模擬壓縮機與管路系統組裝下之振動特性。
- (4) 本文建立一套壓縮機管路系統設計變更流程，並搭配壓縮機管路自動化振動分析程式，進行不同場合之應用，可快速獲得管路與壓縮機組裝下之振動特性，有助於研發人員改善與設計。
- (5) 本文建立了 CMS 技術應用於壓縮機管路系統，CMS 技術不僅快速且準確的預測結構之振動特性，未來可利用此手法，針對組合狀態下的複雜結構進行響應預測。

致謝：本文承蒙瑞智精密股份有限公司 107 年度產學合作計畫「壓縮機輸入源對系統振動噪音評估及響應預測技術之發展與應用」經費補助，特此致謝。

參考文獻

- [1] G. Zhang, M. P. Castanier, and C. Pierre, "Efficient Component Mode Synthesis with a New Interface Reduction Method," *22nd International Modal Analysis Conference (IMAC)*, Dearborn, MI, pp 2043–2055, 2004.
- [2] 王栢村, 王浩瑜, 李維哲, 楊秉煜, 張博鈞, 「組件模態合成法與壓縮機及管路系統之振動分析」, 第二十七屆中華民國振動與噪音工程學術研討會, 桃園, 論文編號: A044, 2019。
- [3] 王栢村, 陳冠鏘, 張博鈞, 吳盈輝, 梁秀偉, 「空調機內部管路系統之模擬與驗證」, 中華民國力學學會第四十一屆全國力學會議, 台南, 論文編號: 1156, 2017。
- [4] 郝春哲, 戴凌漢, 錢才富, 斐然, 「往復式壓縮機管路振動與疲勞分析及減振方案研究」, *化工機械*, 第43卷, 第1期, 第77-88頁, 2016。

- [5] D. Yano, S. Ishikawa, K. Tanaka, and S. Kijimoto, "Vibration analysis of viscoelastic damping material attached to a cylindrical pipe by added mass and added damping," *Journal of Sound and Vibration*, Vol.454, pp 14-31, 2019.
- [6] 王栢村, 林聖傑, 楊佩宜, 張博鈞, 林谷樺, 「結合CAE與EMA於迴轉式壓縮機之模型驗證」, 第二十四屆中華民國振動與噪音工程學術研討會, 高雄, 第159-165頁, 2016。
- [7] 王栢村, 李易緯, 張博鈞, 「結合MATLAB與ANSYS之壓縮機管路自動化振動分析」, 中國機械工程學會第三十六屆全國學術研討會, 台北, 論文編號:00677, 2019。

Application of CMS Technique to Simulation and Design Modification for Compressor's Pipe System

Bor-Tsuen Wang ^{1,*}、Yi-Wei Li ²、Bo-Jun Zhang ³

¹ Department of Mechanical Engineering, Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan

² Rechi Precision Co., LTD, Taoyuan, Taiwan

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

Abstract: For the analysis of compressor's pipe system, requiring sufficient model for both compressor and pipes to support the accurate simulation is essential. However, the complex structure may lead to a large amount of solution time. Since the pipe system is connected to the compressor, the pipe is not proper to simply assume the fixed boundary. This work will adopt component mode synthesis (CMS) method to construct the compressor CMS model that can then be integrated to the pipe model as boundary for pipe system analysis. The CMS simulation techniques will be introduced and, in particular, applied to the automatic pipe system analysis. First, the full model of compressor and pipe system and the simplified CMS pipe model are, respectively, performed modal analysis to compare modal solutions for the feasibility study of CMS method. The pipe automatic analysis module is then modified from the fixed boundary of pipe to the CMS compressor model connected to the pipe. Results show that both the full model and the simplified CMS model agree well, in terms of pipe's natural frequencies and corresponding mode shapes. This proves the correctness and feasibility by adopting CMS approach. Design modification of pipe system is also shown for demonstration of practical application. Finally, the approaches for pipe system analysis, including the fixed boundary pipe, the simplified CMS pipe model and the full model with compressor and pipe, are compared and discussed for practical applications. This work presents the use of CMS approach to improve the automatic pipe system analysis. The pros of CMS approach to enhance the automatic pipe system are: the model is more realistic, and the solution time is much faster than the full model. The automatic analysis module can help to expedite the pipe modification process and reduce the time and cost in product development.

Keywords: Component Mode Synthesis (CMS) ; compressor ; pipe system ; design modification ;



中華民國力學學會年會暨 第 44 屆全國力學會議授權同意書

為推廣科技部優良成果，積極協助產業技術升級，提升我國科技水準，厚植國家經濟發展基礎，並促進產學合作的機會，茲同意無償授權科技部工程科技推展中心將本人於

中華民國 109 年 11 月 26-27 日，由 國立宜蘭大學 主辦

會議名稱：2020 中華民國力學學會年會暨第 44 屆全國力學會議

口頭發表論文

海報展覽

專題演講

之錄影檔、聲音檔、照片、投影片、論文摘要及全文內容，予以數位典藏並上網公開播放。本資料僅供科技部工程司產學媒合之目的使用。

立同意書人：_____

身分證字號：_____

聯絡電話：_____

中華民國 年 月 日