

壓縮機儲液瓶自動化建模與模態分析

王栢村¹、李易緯¹、陳冠鈞¹、張博鈞²

¹屏東科技大學機系工程系

²瑞智精密股份有限公司

摘要

在工程設計分析，有限元素分析是常用工具，通常需要產品的 3D 幾何模型，以能夠建構細部的有限元素模型。通常會使用 CAD 軟體建立產品之 3D 幾何模型。當產品幾何外型相似僅尺寸差異，若透過幾何尺寸參數化處理，可以加速幾何模型的建構。本文探討壓縮機儲液瓶在 CAD 軟體之自動化建模，以及後續 CAE 應用之結構模態分析。考慮一個儲液瓶有相同幾何特徵，但是尺寸不相同，此儲液瓶有多個零件組成，每一個零件在完成初始幾何模型後，均須建立其幾何特徵尺寸參數表，同時，建立儲液瓶的組合裝配尺寸參數表，以能取得組合後的儲液瓶結構幾何模型。當修改了零件幾何特徵尺寸參數表，以及組合裝配尺寸參數表，即可快速取得完整的儲液瓶幾何模型，並帶入 CAE 軟體執行結構模態分析。本文探討了相同幾何特徵、不同尺寸之兩個儲液瓶的自動建模及模態分析，由求得的自然頻率及模態振型可以據以比較評估振動噪音之影響。本文探討幾何參數化的自動建模與模態分析，可加速設計模擬分析程序。

關鍵字：壓縮機儲液瓶、自動化建模、模態分析

1. 前言

迴轉式壓縮機噪音源中包含儲液瓶，在改善儲液瓶之噪音，需要建立有限元素模型來進行分析，而壓縮機儲液瓶結構過於複雜，需要透過 CAD 軟體來建構 3D 幾何模型，以能建構細部的有限元素模型。當壓縮機儲液瓶幾何外型相似僅尺寸不同，若透過幾何尺寸參數化處理，可以加速壓縮機儲液瓶 3D 幾何模型的建構。

王等人[1]針對儲液瓶零組件進行實驗模態分析，得到儲液瓶零組件之實驗模態參數，將實驗模態參數與理論模態分析所獲得模態參數自然頻率、模態振型進行比對驗證，透過自然頻率與楊式係數修正來

獲得等效之儲液瓶零件之材料參數。王等人[2]透過有限元素分析(FEA)與實驗模態分析(EMA)，進行儲液瓶之模型驗證，首先儲液瓶共有八個層次組合，每一階段之組合結構都需執行FEA與EMA，以求得模態參數包含結構自然頻率、模態振型，將其進行比較驗證，並利用自然頻率、楊氏係數與密度之間關係修整零件之材料參數，最後求得過濾瓶零件等效的材料參數。王等人[3]針對迴轉式壓縮機中旋壓式以及三節式儲液瓶兩種，以進行模型驗證，建構等效有限元素模型，並探討旋壓式以及三節式兩種儲液瓶之差異，可藉由分析模型觀察實驗中無法量測內部元件所帶來之振動模態。Kim *et al*[4]運用模態分析之手法，經由實驗與分析，由模態參數證明2048Hz噪音源位置來自儲液瓶內管之彎曲運動，透過改善儲液瓶支架加入防振橡膠墊及圓形支架支撐內管，成功降低噪音20dB。Zhiming *et al* [5]迴轉式壓縮機在低轉速中檢測到噪音，因此進行實驗與模擬分析，由結果得知儲液瓶第一個模態自然頻率與迴轉式壓縮機轉縮頻率相近產生共振，透過儲液瓶支架結構優化，使得儲液瓶第一模態自然頻率提高，儲液瓶振動減少30m/s²。王等人[6]迴轉式壓縮機由多個次系統組成，分別建立有限元素模型，進行理論模態分析(TMA);也分別由實驗模態分析與CAE理論分析執行模型驗證程序，透過EMA與TMA求得之模態參數，使分析模型之系統參數得以更新，如零件材料性質及接觸介面設定等。採用CAE的虛擬測試可以系統化地進行產品設計，有助於加速開發流程及降低成本。

本研究旨在應用CAD建立迴轉式壓縮機儲液瓶3D幾何模型技術。對壓縮機儲液瓶進行3D幾何模型建構，當壓縮機儲液瓶幾何外型相似僅尺寸不同，可透過零件幾何特徵尺寸及組合裝配尺寸參數化，來達到自動化建模之功效，並藉由3D幾何模型建立有限元素模型，進行結構模態分析，探討振動噪音之影響。

2. 壓縮機儲液瓶自動化建模與模態分析流程

本章節說明壓縮機自動化建模流程及進行理論模態分析流程，圖 1(a)為壓縮機儲液瓶自動化分析與模態分析流程，在進行壓縮機儲液瓶之理論模態分析時，首先從工程圖了解儲液瓶各個零件幾何特徵尺寸及組合裝配尺寸，透過 CAD 軟體 SolidWorks 繪製儲液瓶 3D 幾何模型，經由圖檔匯入的方式建立儲液瓶有限元素模型進行理論模態分析，獲得理論模態參數。

圖 1(b)為壓縮機儲液瓶自動化流程圖，說明建立自動化程序，首先了解儲液瓶幾何特徵尺寸及組合裝配尺寸，建構儲液瓶 A 型 3D 幾何模型，經由各個零件幾何尺寸與組合裝配尺寸參數化後，建立儲液瓶 A 型參數化表格，確認儲液瓶 B 型有相同幾何特徵，但是尺寸不相同，輸入 B 型零件幾何尺寸與組合裝配尺寸於參數化表格，完成儲液瓶 B 型 3D 幾何模型。

圖 1(c)為壓縮機儲液瓶分析流程，說明分析之設定及結果，透過儲液瓶 3D 幾何模型匯入 CAE 軟體 ANSYS，建構儲液瓶有限元素模型，進行分析設定如材料參數、接觸介面、邊界條件...等，而進行理論模態分析可獲得自然頻率、模態振型，經由自然頻率、模態振型了解壓縮機儲液瓶之振動特性。

3. 壓縮機儲液瓶自動化建模

3.1 壓縮機儲液瓶應用與組成介紹

本小節介紹壓縮機儲液瓶之組成，圖 2 為壓縮機儲液瓶 3D 幾何模型(a)為 A 型儲液瓶(b)為 B 型儲液瓶，A 型儲液瓶與 B 型儲液瓶是有相同幾何特徵，但尺寸不相同，而儲液瓶 3D 幾何模型是由接續管、上蓋、板檔、內管、本體、下蓋、彎管等七個零件組成，儲液瓶主要功能是低壓的液態冷媒經由蒸發器從外部吸收熱量蒸發成氣態冷媒，回收至儲液瓶儲存，等待下一次冷媒壓縮。

3.2 壓縮機儲液瓶之自動建模

本小節說明壓縮機儲液瓶自動建模，表 1 為壓縮機儲液瓶零件總表，建立表 2 零件幾何特徵尺寸參數表需要從 A 型儲液瓶工程圖將尺寸定義名稱，手動畫出 A 型儲液瓶零件 3D 幾何模型，再由 Solid Works 內建功能建立零件幾何特徵尺寸參數表格；而建立表 3 組合裝配尺寸參數表是透過 A 型儲液瓶零

件組合成 3D 幾何模型，由 Solid Works 內件功能建立組合裝配尺寸參數表。透過零件幾何特徵尺寸與組合裝配尺寸參數表，可以建立相似特徵，但尺寸不同的 B 型儲液瓶上，輸入尺寸於參數表上 B 型儲液瓶 3D 幾何模型自動生成。

4. 理論模態分析

本節說明如何建構有限元素模型，圖 3 為壓縮機儲液瓶有限元素模型，首先透過上節所繪製之儲液瓶 3D 幾何模型，再匯入至 ANSYS 建構有限元素模型，表 4 為壓縮機儲液瓶材料參數總表[3]，採用等向性材料，包含密度、校正過後之楊氏係數及浦松比，儲液瓶組裝方式為焊接，而焊接是透過單獨加熱熔點較低的焊料，無熔化母材本身，介由焊料毛細作用連接兩物體，在分析假設上為一體成型，而在有限元素分析之接觸設定為 Bonded，有限元素模型是使用立方體元素 Solid186、Solid187、接觸元素 conta174、target170，A 型儲液瓶有限元素分割為節點 78267 個、元素 49450 個；B 型儲液瓶有限元素分割為節點 121486 個、元素 69948 個，無設定邊界條件及負荷條件，以模擬自由邊界方式來進行模態分析，由模態分析求得模態參數，包含自然頻率、模態振型。

5. 結果與討論

本節說明由自動化建模與模態分析之結果討論，由圖 4 壓縮機儲液瓶傳統與改善比較圖，傳統在做壓縮機儲液瓶模態分析，一種型號就要建立所對應的 3D 幾何模型，帶入 ANSYS 建構有限元素模型進行分析，而改善後，在建立 3D 幾何模型時將零件參數化，後續只要相同幾何特徵，尺寸不相同的儲液瓶就可以透過參數化直接建立，從時間來比較手動繪製半小時縮減至 5 分鐘達到快速建模加速整個分析流程。表 5 為 A 型儲液瓶自然頻率總表，表 6 為 B 型儲液瓶自然頻率總表，前六個為剛體模態第七個以後為彈性體模態，由前六個剛體模態可以確定儲液瓶有限元素模型各個零件之間的連接，儲液瓶為環形結構會產生對稱模態，如 A 型儲液瓶 F12、F13 兩者自然頻率相近物理意義皆為板檔擺動 $(\theta, Z) = (0, 1)$ 。表 7 為 A 型儲液瓶模態振型，表 8 為 B 型儲液瓶模態振型，模態振型可以分為 global 模態與 local 模態，在

A 型儲液瓶模態 F14、F15、F16、F17、F20、F21 這些屬於 global 模態，其餘的為 local 模態。從 A 型與 B 型自然頻率總表發現，A 型儲液瓶 3D 幾何模型較大，自然頻率低，而 B 型儲液瓶 3D 幾何模型較小，自然頻率較高，在物理意義上也有相當的對應。

6. 結論

本文以壓縮機儲液瓶為例，藉由 CAD 軟體及 CAE 軟體，建構 3D 幾何模型與有限元素模型，將兩種儲液瓶進行模態分析，由結果得出以下結論：

1. 建立壓縮機儲液瓶自動化建模與模態分析流程，利用 CAD 軟體將儲液瓶尺寸參數化，建立不同幾何模型但相似外型之儲液瓶，由儲液瓶 3D 幾何模型帶入 CAE 軟體，建構儲液瓶有限元素模型進行模態分析。
2. 由工程圖繪製壓縮機儲液瓶 3D 幾何模型需耗時半小時，但由參數表建立 3D 壓縮機儲液瓶儲液瓶只需 5 分鐘，達到快速建模之效果
3. 本文以壓縮機儲液瓶為例，建立兩種型號之儲液瓶，透過模態分析結果，在自然頻率總表發現儲液瓶 3D 幾何模型大時頻率低，反之 3D 幾何模型小頻率高；在模態振型發現兩種儲液瓶在物理意義上都有相互對應
4. 未來由 CAD 軟體 3D 幾何模型尺寸參數化之概念運用在 CAE 軟體上，直接在 CAE 軟體上建構參數化之有限元素模型，使分析流程更加快速

7. 致謝

本文承蒙瑞智精密股份有限公司 107 年度產學計畫「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，特別致謝

8. 參考文獻

1. 王栢村、吳秉修、林建敦、周建中、陳金龍，儲液瓶單一零組件之模型驗證與材料參數探討，屏東科技大學暨北京科技大學第八屆學術交流研討會，屏東，台灣，論文編號:B25，2013
2. 王栢村、林建敦、吳秉修、周建中、陳金龍，迴轉式壓縮機儲液瓶之模型驗證，中華民國力學學會第三十七屆全國力學會議暨第一屆國際力學

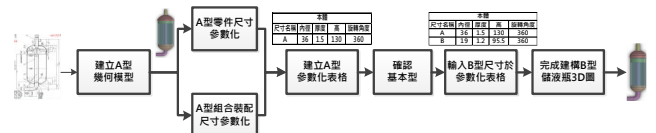
會議，新竹，台灣，論文編號:234，2013

3. 王栢村、林聖傑、張博鈞、陳金龍、謝長鴻，不同型式之過濾瓶模型驗證與振動特性探討，2016 精密機械與製造科技研討會，屏東，台灣，論文編號：A044，2016
4. J. D. Kim, B. C. Lee, J. Y. Bea, J. O. Ban, Y. H. Kim, Noise Reduction of a Rotary Compressor Using Structural Modification of the Accumulator, International Compressor Engineering Conference, Purdue, USA, pp.355-360, 1998
5. Z. Wen, Y. Zhang, Y. Hu, R. Zhang, H. Gu, J. Zhang, Research on Low Frequency Vibration of Rotary Compressor, International Compressor Engineering Conference, Purdue, USA, 1424 pp. 1-8, 2018
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，台灣，pp.162-168，2016

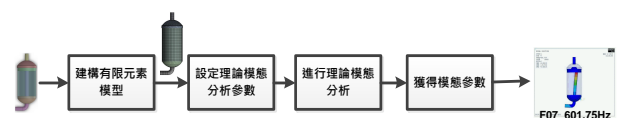
9. 圖表彙整



(a) 壓縮機儲液瓶自動化建模與模態分析流程圖

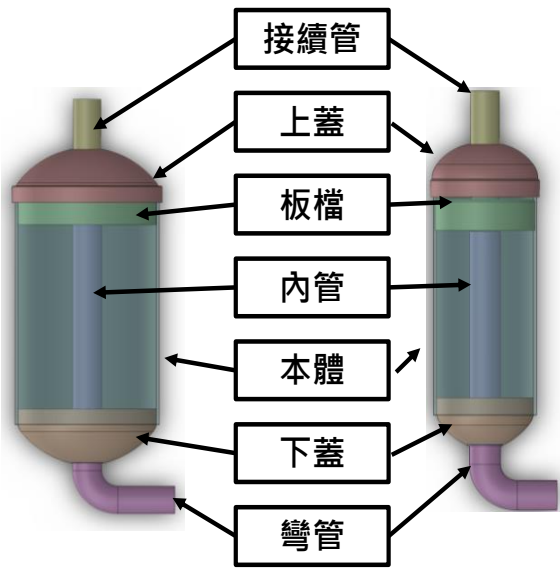


(b) 壓縮機儲液瓶自動化建模流程圖



(c) 壓縮機儲液瓶分析流程圖

圖 1 壓縮機儲液瓶自動化建模與模態分析流程圖



(a)A 型儲液瓶 (b)B 型儲液瓶

圖 2 壓縮機儲液瓶 3D 幾何模型

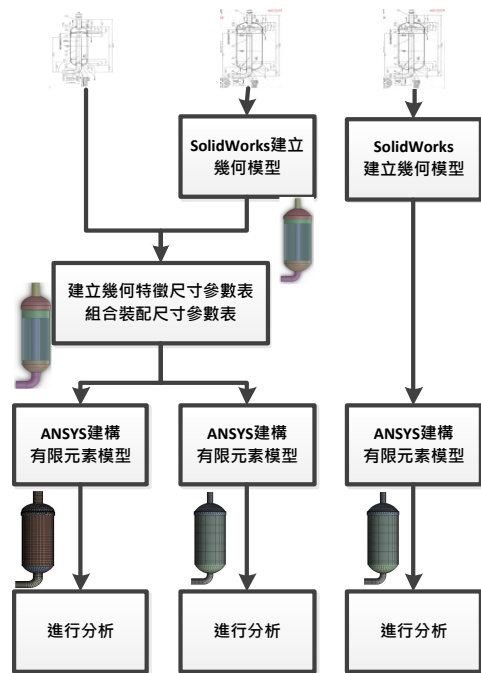
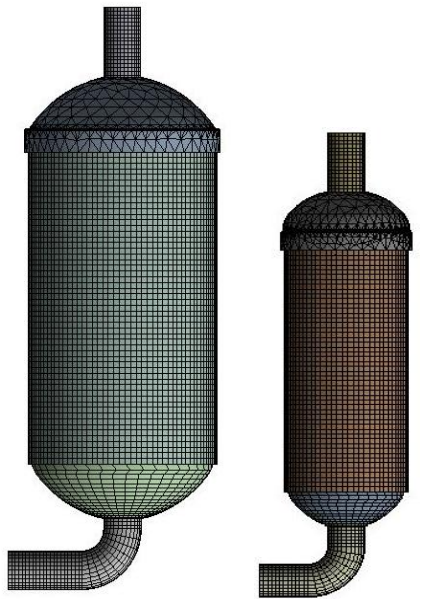


圖 4 壓縮機儲液瓶傳統與改善比較圖

表 1、壓縮機儲液瓶零件總表



(a)A 型儲液瓶 (b)B 型儲液瓶

圖 3 壓縮機儲液瓶有限元素模型

名稱	A	B
接續管		
上蓋		
本體		
下蓋		

表 1、壓縮機儲液瓶零件總表(續)

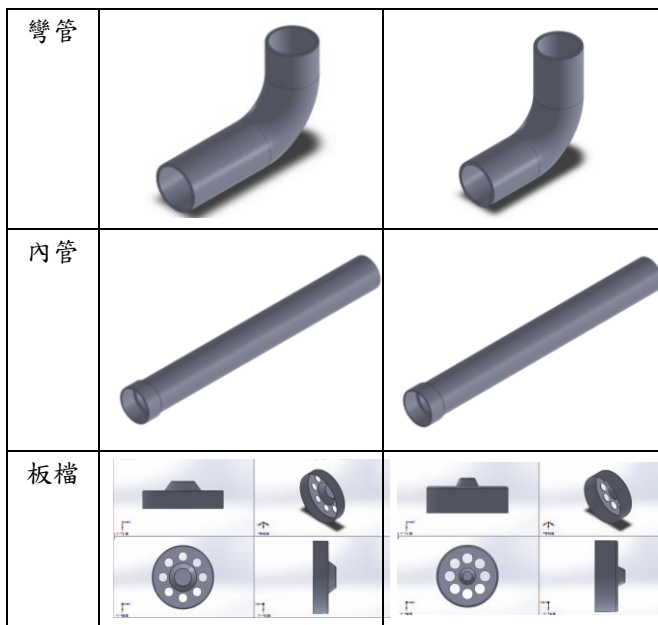


表 2 壓縮機儲液瓶零件幾何特徵尺寸表

(a) 接續管

接續管(mm)				
尺寸名稱	內徑	厚度	高	旋轉角度
A	6.4	1	32	360
B	5	1	26	360

(b) 上蓋

上蓋(mm)					
尺寸名稱	外徑	內徑	厚度	高	弧大
A	39	7.4	1.5	29	46.5
B	21.2	6	1.5	21.5	20.5
尺寸名稱	弧小	往內長	焊接點	導角	旋轉角度
A	9.5	4	9	0.5	360
B	10.2	4	7	0.5	360

(c) 本體

本體(mm)				
尺寸名稱	內徑	厚度	高	旋轉角度
A	36	1.5	129.5	360
B	18.8	1.2	95.5	360

(d) 下蓋

下蓋(mm)					
尺寸名稱	外徑	內徑	厚度	高	弧大
A	3.6	8.3	1.5	33	6.5
B	18.8	6.15	1.2	20	27.5
尺寸名稱	弧小	往內長	焊接點	導角	旋轉角度
A	10	5	24.5	1	360
B	10.2	5	13	1	360

(e) 彎管

彎管(mm)					
尺寸名稱	外徑	內徑	長	高	彎度長
A	15	13	45.5	27	16
B	12.12	10.32	28	27	12.5

(f) 內管

內管(mm)							
尺寸名稱	外徑	內徑	高	角度	焊接點	薄殼	旋轉角度
A	83	7.5	133	45	7	0.8	360
B	6.8	6	87	45	7	0.8	360

(g) 板檔

板檔(mm)						
尺寸名稱	外徑	內徑 (小)	內徑 (大)	厚度	上高	下高
A	35.4	10	16	0.6	8	15
B	18.8	3.125	5	0.6	4	12
尺寸名稱	通心圓	孔徑	環狀	導角	旋轉角度	
A	46.5	10.5	8	0.5	360	
B	22	6.7	8	0.5	360	

表 3 壓縮機儲液瓶組合裝配尺寸表

裝配尺寸 (mm)	接續管 上蓋	上蓋 本體	本體 板檔	本體 下蓋	下蓋 內管	內管 彎管
A	1	9	21	8.5	5	7
B	0.5	7	20.5	7	5	7

表 4 壓縮機儲液瓶材料參數總表[3]

儲液瓶之零件	密度 (kg/m ³)	楊氏係數 (GPa)	蒲松比
接續管	8582.7	113.5	0.28
上蓋	6904.8	198.5	0.28
本體	7685.2	194.6	0.28
下蓋	7385.4	170.0	0.28
彎管	8895.0	118.5	0.28
內管	7923.5	195.0	0.28
板檔	4750.5	116.7	0.28

表 5 A 型儲液瓶自然頻率總表

模態數	自然頻率(Hz)	物理意義
F07	601.7	內管 Y 方向擺動
F08	606.11	內管 X 方向擺動
F09	1551.97	板檔(r, θ)=(0,0)
F10	1704.96	彎管 Y 方向擺動
F11	2013.05	彎管 X 方向擺動
F12	2429.65	板檔(r, θ)=(0,1)
F13	2486.69	板檔(r, θ)=(0,1)
F14	2982.64	本體(θ,Z)=(2,1)
F15	2983.04	本體(θ,Z)=(2,1)
F16	2992.58	本體(θ,Z)=(3,1)
F17	2992.99	本體(θ,Z)=(3,1)
F18	3851.87	內管、彎管 X 方向擺動
F19	3907.63	內管、彎管 X 方向擺動
F20	4405.35	本體(θ,Z)=(4,1)
F21	4408.18	本體(θ,Z)=(4,1)

表 6 B 型儲液瓶自然頻率總表

模態數	自然頻率(Hz)	物理意義
F07	1125.17	內管 Y 方向擺動
F08	1130.78	內管 X 方向擺動
F09	3039.63	彎管 Y 方向擺動
F10	3374.35	彎管 X 方向擺動
F11	4270.72	本體(θ,Z)=(2,1)
F12	4272.31	本體(θ,Z)=(2,1)
F13	4283.73	板檔(r, θ)=(0,0)

表 7 A 型儲液瓶模態振型

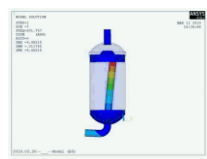
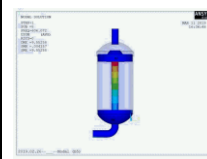
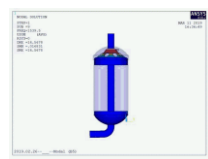
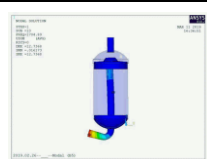
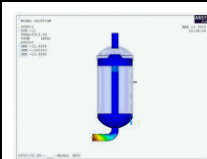
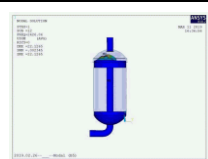



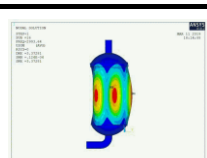
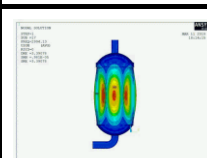
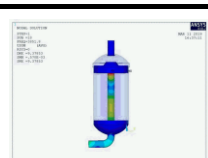
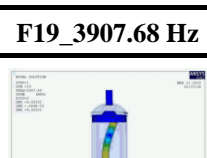
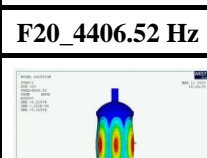
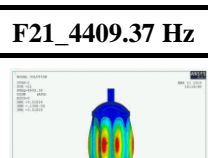
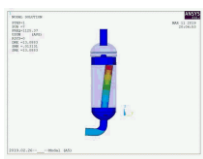
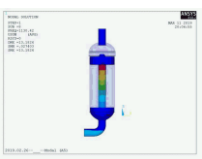
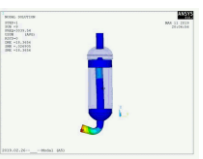
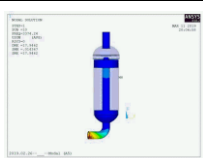
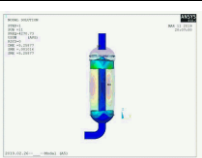
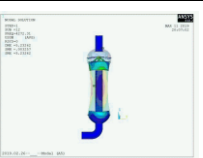
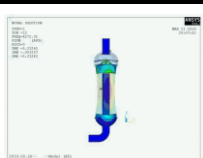
F07_601.75Hz	F08_606.11 Hz	F09_1551.97 Hz
		
內管 Y 方向擺動	內管 X 方向擺動	板檔(r, θ)=(0,0)
F10_1704.96 Hz	F11_2013.05 Hz	F12_2426.06 Hz
		
彎管 Y 方向擺動	彎管 X 方向擺動	板檔(r, θ)=(0,1)
F13_2449.40 Hz	F14_2983.75 Hz	F15_2984.06 Hz
		
板檔(r, θ)=(0,1)	本體(θ,Z)=(2,1)	本體(θ,Z)=(2,1)
F16_2993.64 Hz	F17_2994.13 Hz	F18_3851.79 Hz
		
本體(θ,Z)=(3,1)	本體(θ,Z)=(3,1)	內管、彎管 Y 方 向擺動
F19_3907.68 Hz	F20_4406.52 Hz	F21_4409.37 Hz
		
內管、彎管 X 方 向擺動	本體(θ,Z)=(4,1)	本體(θ,Z)=(4,1)

表 8 B 型儲液瓶模態振型

F07_1125.17Hz	F08_1130.78 Hz	F09_3039.63 Hz
		
內管 Y 方向擺動	內管 X 方向擺動	彎管 Y 方向擺動
F10_3374.35 Hz	F11_4270.72 Hz	F12_4272.31 Hz
		
彎管 X 方向擺動	本體(θ, Z)=(2,1)	本體(θ, Z)=(2,1)
F13_4283.73 Hz		
		
板檔(r, θ)=(0,0)		

Automatic Modeling and Modal Analysis for the Accumulator of Compressor

Bor-Tsuen Wang¹, Yi-Wei Li¹, Guan-Zhou Chen¹, Bo-Jun Zhang²

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

²Rechi Precision Co., LTD

Abstract

In engineer design and analysis, finite element analysis (FEA) is a useful tool but requires product geometry model to construct the detail FE model. Three-dimensional (3D) geometry can be built in CAD software. In some circumstance, the product may have similar geometry but different dimensions. To parametrize the geometry dimension can expedite the construction of 3D geometry model. This work explores the intrinsic function of CAD software for automatically constructing the 3D geometry model as well as its following modal analysis in CAE software. The same types of accumulators of rotary compressor with different dimensions are examined. The accumulator consists of several components. The dimensions of each component are parametrized to set up the component's dimension parameter table. The assembly parameter table is also set up so as to obtain the assembly structure of accumulator properly. With the modification of both component and assembly parameter tables, the components and the whole accumulator can be automatically constructed for different types of accumulators. The 3D geometry model can then be imported to CAE software. This work shows modal analysis for two accumulators with different dimensions. The obtained natural frequencies and mode shapes for the accumulators can be compared and evaluated for noise and vibration effects. This work shows the automatic modeling of geometry to expedite the design

simulation process.

Keywords : Compressor's Accumulator, Automatic

Modeling, Modal Analysis.