

# 利用噴射器之雙級冷凍系統研發 - 子計畫一

## 「新型噴射壓縮器之性能提昇研究 (3/3)」

### Design and improvement of new-type Ejector

計畫編號：NSC 89-2212-E-002-073

執行期間：88年8月1日至89年7月31日

計畫主持：陳瑤明（國立台灣大學機械系）

研究助理：張淵仁、尤銘鏘

### 摘要

本文旨在探討不同瓣數的瓣狀噴嘴對噴射壓縮器性能的影響，共設計了三種不同瓣數的瓣狀噴嘴。並由先前的研究得知，瓣狀噴嘴的快速混合是由主副流間沿流線方向的渦流所造成，因此也設計了出口截面旋轉之螺旋式瓣狀噴嘴，以增強主副流間的渦流而增進混合效率。綜合瓣狀噴射壓縮器的研究結果，可以歸納出一經驗公式，利用此一經驗公式，將可根據瓣狀噴射壓縮器其幾何尺寸 AR 值及主副流操作工況來預測其最大抽吸比，而由此經驗公式所得到的預測值與實驗值之間的平均誤差約為 18.5%。本研究並針對瓣狀噴射壓縮器的內流做一可視化流場觀測，並據以對實驗結果做一之合理解釋。

### 計畫緣由與目的

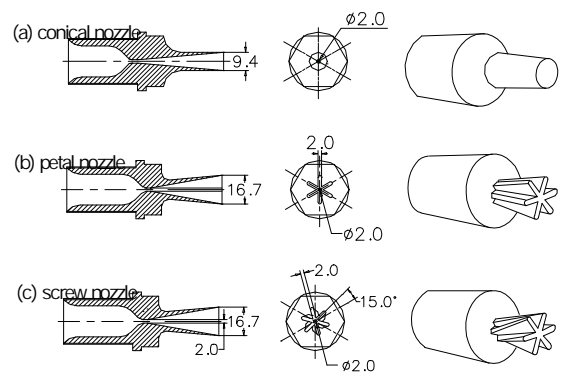
從冷凍系統的原裡可知，最耗電的元件為「壓縮機」，而壓縮機也是冷凍空調內最貴的元件，一部壓縮機的性能好壞，直接關係到整個冷凍空調的效率。使用不耗電的蒸汽噴射式冷凍空調系統 (steam-jet refrigeration system) 是解決此一問題的良好方案。相較於傳統式壓縮機，噴射式壓縮器內部並無任何往復移動或旋轉元件，因此，並不會產生磨耗，不需潤滑，可長時間操作不需考慮過熱與冷卻問題，亦不會產生

噪音與震動；而噴射壓縮式冷氣系統運作能量的來源，可利用工廠廢熱及太陽能等廉價之中、低溫熱源來驅動，無須電能，使得此類原本無法再利用之熱源得以再利用，再加上其使用水為冷媒，因此也沒有氟氯碳化物破壞臭氧層的環境污染問題產生。

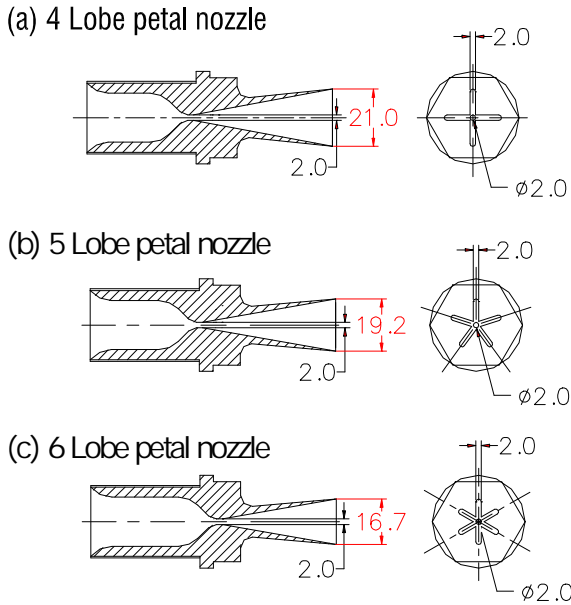
### 新型式瓣狀噴嘴

為再次提昇瓣狀噴射壓縮器的性能，本實驗共設計了三種不同瓣數的瓣狀噴嘴，與一種螺旋狀噴嘴 (screw nozzle)。

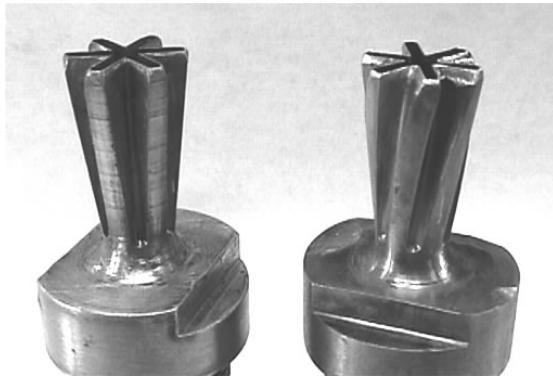
瓣狀噴嘴和螺旋噴嘴均為黃銅所製，喉部直徑皆為 2mm，出口面積與喉部面積之比例約為 28，利用水蒸氣 ( $k=1.327$ ) 操作下，對應馬赫數 ( $Ma$ ) 約為 4.35，其尾端有螺牙，可密接在噴嘴座上，以方便安裝於實驗系統 (細部尺寸見圖一與圖二)。圖三與圖四中有不同瓣數之瓣狀噴嘴和螺旋噴嘴的實體照片圖。



圖一：不同形式主噴嘴構造尺寸圖



圖二：不同瓣數主噴嘴構造尺寸圖



圖三：瓣狀噴嘴與螺旋狀噴嘴照片



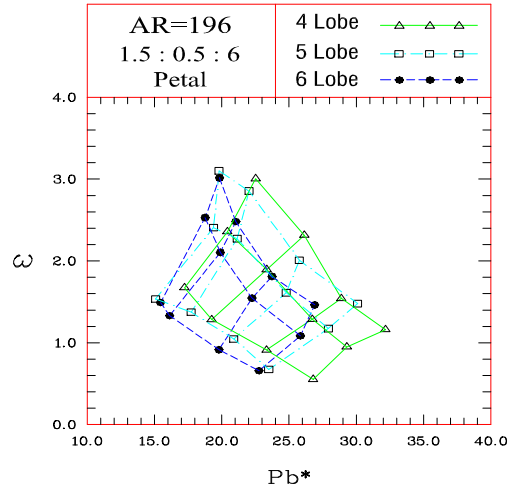
圖四：不同瓣數之瓣狀噴嘴照片

## 瓣狀噴射壓縮器之開發

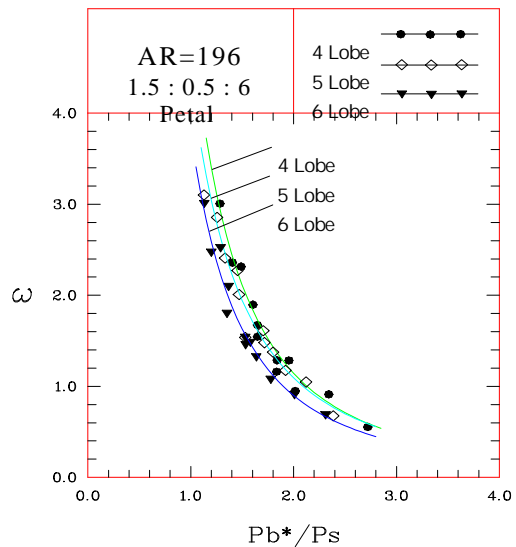
### 不同瓣數對性能之影響

圖五為三種不同瓣數的瓣狀噴嘴配合 AR 值=196，混合段長度比 1.5:0.5:6 之噴射壓縮器，瓣狀噴射壓縮器其最大抽吸比與極

限背壓之關係圖。由圖中發現對相同操作工況而言，隨著瓣狀噴嘴之瓣數減少，抽吸比幾乎不變，而極限背壓卻隨之增加較多，尤其使用四瓣的情況比六瓣增加約 2~4torr，使整個網狀曲線往右方移動。再觀察其最大抽吸比和增壓比關係圖（圖六），可以發現裝置四瓣瓣狀噴嘴時噴射壓縮器的性能最高、五瓣次之，而六瓣最差。



圖五：不同瓣數的瓣狀噴射壓縮器，抽吸比與極限背壓之關係圖



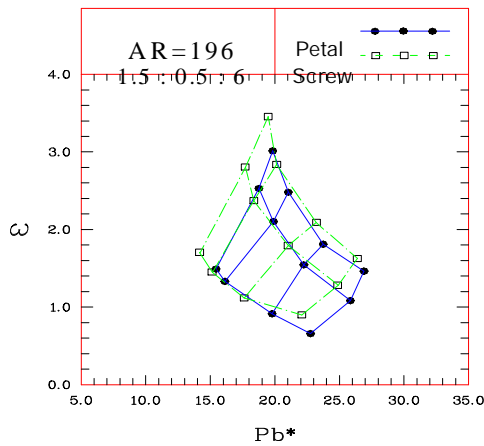
圖六：不同瓣數的瓣狀噴射壓縮器，抽吸比與增壓比之關係圖

### 螺旋式噴嘴對性能之影響

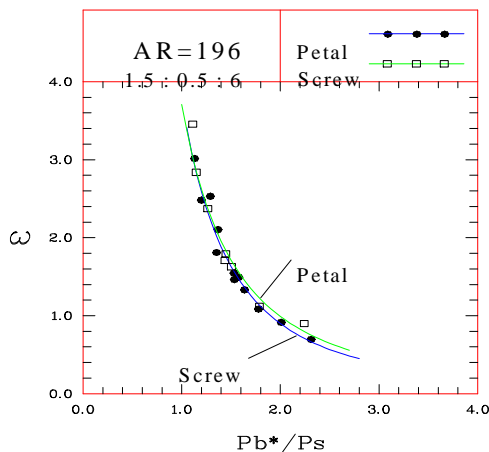
主副流間沿流線方向的渦流造成瓣狀噴嘴具有快速混合的特性，若主流體通過主

噴嘴後能產生主動式的旋轉，可加強主副流間的渦流作用而增進混和效率。因而設計了出口截面旋轉之螺旋式噴嘴。

圖七、圖八分別為 AR 值為 196，混合段長度 1.5:0.5:6 配合六瓣之瓣狀噴嘴與螺旋式噴嘴下，其網狀曲線圖和最大抽吸比與增壓比關係圖。我們可以發現，在相同的操作工况下，將瓣狀噴嘴換成螺旋式噴嘴後，其抽吸比有小幅的提昇，但極限背壓卻下降較多，使整個網狀圖往左上方移動。再觀察圖八可看出兩者的性能曲線幾乎重合，顯示螺旋式噴嘴在此噴射壓縮器幾何尺寸下，對於混合效率並無太大助益。



圖七：不同瓣數的瓣狀噴射壓縮器，抽吸比與極限背壓之關係圖



圖八：不同瓣數的瓣狀噴射壓縮器，抽吸比與增壓比之關係圖

**瓣狀噴射壓縮器之性能曲線**

在本節中，我們將歸納瓣狀噴嘴之噴射壓縮器實驗結果，使用曲線擬合可得到不同組合所形成之性能曲線如下：

抽吸比與極限增壓比之關係式

$$S = A \left( \frac{P_b^*}{P_s} \right)^B \quad (\text{Eq. 1})$$

膨脹比與極限增壓比之關係式

$$\frac{P_p}{P_s} = C \cdot \left( \frac{P_b^*}{P_s} \right)^D \quad (\text{Eq. 2})$$

噴嘴形式	AR 值	混合段長度	A	B	C	D	R <sup>2</sup>
瓣狀	80	6:4:6	0.2907	-3.8388	121.69	-41.825	0.9542
瓣狀	100	6:4:6	0.4425	-2.7321	119.92	-41.021	0.9588
瓣狀	196	6:4:6	3.0991	-2.7288	203.87	-171.82	0.9698
瓣狀	196	2.5:1:6	2.7802	-2.2508	190.09	-154.78	0.9678
瓣狀	196	1.5:0.5:6	3.8286	-2.1137	125.27	-92.036	0.9617
瓣狀	300	6:4:6	8.1180	-3.6456	218.64	-189.09	0.9504

表格 1：瓣狀噴嘴之噴射壓縮器性能曲線擬合

**經驗公式之發展**

由表格 1 中，若將所有的主副流工况下所產生的最大抽吸比與 AR 值之關係函數進行分析，可以發現方程式係數 A 與膨脹比之間存在有乘幂函數關係，而方程式係數 A 與 B 之間存在有線性關係，藉此，可以建立起方程式係數 A、B 與膨脹比間的函數關係，而將所有的資料可表示成最大抽吸比 ( ) 與膨脹比 ( Pp/Ps )、AR 值之間的函數關係：

$$S = 2.7193 \cdot \left( \frac{P_p}{P_s} \right)^{-1.1811} \cdot AR \quad (\text{Eq. 3})$$

$$- 173.146 \cdot \left( \frac{P_p}{P_s} \right)^{-1.1811} - 0.0923$$

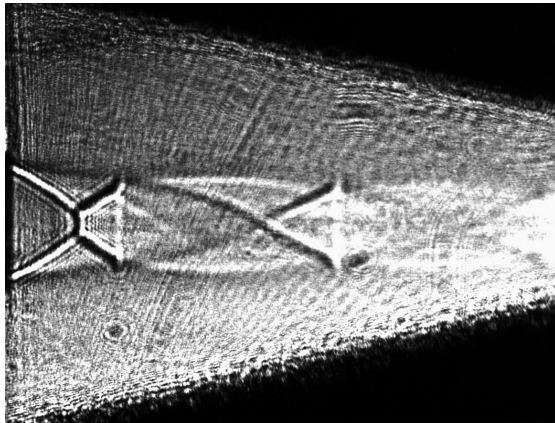
適用範圍：Ma=4.35，AR：80 300，混合段長度比 6：4：6

利用此一經驗公式，將可根據瓣狀噴射壓縮器其幾何尺寸 AR 值及主副流操作工况來預測其最大抽吸比，而由此經驗公式所得到的預測值與實驗值之間的平均誤差約為 18.5%。

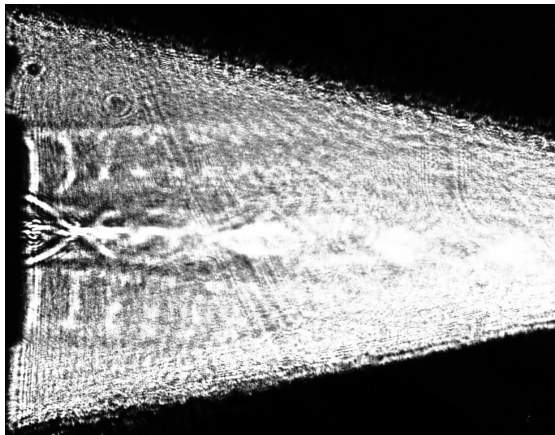
**流場可視化**

圖九(a)為裝置傳統噴嘴之噴射壓縮器內部流場流場可視化之陰影法照片，而圖九(b)為裝

置瓣狀噴嘴之噴射壓縮器內部流場流場可視化之陰影法照片，比較兩圖可知裝置傳統噴嘴之噴射壓縮器，在噴嘴出口處會形成強烈之斜震波，導致由主噴嘴噴出之主流體需至噴射壓縮器等截面段處才開始與副流體混合，由圖中之震波逐漸消失之位置可知；然而若是換裝瓣狀噴嘴，則可見震波消失之距離離出口處極短 50% 左右，可見主流體與周圍副流體之緩合效果較佳。故瓣狀噴嘴之混合效率與噴射壓縮器之效能有很大的關係。



圖九(a)：傳統噴嘴出口流場陰影圖



圖九(b)：瓣狀噴嘴出口流場陰影圖

## 結 論

一、使用四、五、六瓣三種不同瓣數的瓣狀噴嘴在低 AR 值的瓣狀噴射壓縮器時，其性能的高低為 4 瓣 > 5 瓣 > 6 瓣。在高 AR 值的瓣狀噴射壓縮器時，其性能的高低為 6 瓣 > 5 瓣 > 4 瓣。其趨勢剛好相反，顯示不同的 AR 值的瓣狀噴射壓縮器若能配合其相對應的最佳瓣數噴嘴，可以有效的提昇其噴射壓縮器的性能。另外

將瓣狀噴嘴改為螺旋式噴嘴後，初步測試結果發現噴射壓縮器的性能並無提昇，反而在高抽吸時，使用螺旋式噴嘴的噴射壓縮器之性能下降。

二、由瓣狀噴射壓縮器的流場可視化的實驗得知，瓣狀噴射壓縮器內部流場混合效率的高低，會與噴射壓縮器的性能有很大的關係，若能提昇其混合效率，則能提昇噴射壓縮器的性能。

三、綜合所有的實驗結果，可以發現對瓣狀噴射壓縮器所有不同參數而言，影響其性能之重要程度依序為：1. AR 值、2. 混合段長度、3. 瓣狀噴嘴的瓣數，若要設計噴射壓縮器做其他應用的元件時，根據其需要的功能，如高抽吸、高增壓性能等，依上述參數的順序去設計、規劃並參考本實驗所得出的經驗式性能曲線資料，使瓣狀噴射壓縮器符合所需的功能，達到最佳化之目的。

### 參考文獻

1. Anil, K. N., and Damodaran, K. A., "Preliminary Investigations on Improving Air-Augmented Rocket Performance," *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 10, No. 3, May-June, 1994, pp. 432-434.
2. Eames, I. W., Aphornratana, S., and Haider, H., "A Theoretical and Experimental Study of a Small-Scale Steam Jet Refrigerator," *Int. J. Refrig.*, Vol. 18, No. 6, 1995(a), pp. 378-386.
3. Eames, I. W., Aphornratana, S., and Sun, Da-Wen, "The Jet-Pump Cycle-a Low Cost Refrigerator Option Powered by Waste Heat," *Heat Recovery Systems & CHP*, Vol. 15, No. 8, 1995(b), pp. 711-721.
4. Elrod, H. G., "The Theory of Ejectors," *J. Applied Mechanics*, 1945, pp. A170-A174.
5. Holton, W. C., "Effect of Molecular Weight of Entrained Fluid on the Performance of Steam-Jet Ejectors," *Trans. ASME*, Oct. 1951(a), pp. 905-910.
6. Hsu, C. T., "Investigation of an Ejector Heat Pump by Analytical Methods," *U.S. Department of Energy*, Contract No. DE-AC05-84OR 21400, July, 1984.
7. Keenan, J. H., and Neumann, E. P., "A Simple Air Ejector," *ASME Journal of Applied Mechanics*, Vol. 64, July 1942, pp. A75-A81.
8. Keenan, J. H., Neumann, E. P., and Lustwerk, F., "An Investigation of Ejector Design by Analysis and Experiment," *ASME Journal of Applied Mechanics*, Sept. 1950, pp. 299-309.
9. Korres, C. J., Bardakas, E. E., and Koumoutsos, N. G., "Performance Analysis of a Solar Vapour Thermal Compression Chiller," *International Journal of Energy Research*, Vol. 13, 1989, pp. 243-252.
10. Kroll, A. E., "The Design of Jet Pumps," *Chemical Engineering*, Vol. 1, No. 2, 1947, pp. 21-24.
11. Kumar, R. R., and Kurian, Job "Coaxial Jets from Lobed-Mixer Nozzles," *AIAA Journal*, Vol. 34, No. 9, 1996, pp. 1822-1828.
12. Sherif, S. A., Goswami, D. Y., Mathur, G. D., Iyer, S. V., Davanagere, B. S., Natarajan, S., and Colacino, F., "A Feasibility Study of Steam-Jet Refrigeration," *Int. J. Energy Res.*, Vol. 22, 1998, pp. 1323-1336.
13. Sokolov, M., and Hershgal, D., "Enhanced Ejector refrigeration Cycles Powered by Low Grade Heat. Part I. System Characterization," *International Journal of Refrigeration*, Vol. 13, Nov, 1990(a), pp. 351-356.