

凹槽拖曳式分子邦浦之流場分析

Flow Analysis in Grooved Molecular Drag Pumps

計劃編號: NSC 89-2212-E-009-077

執行期限: 89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

主持人: 崔燕勇 國立交通大學機械系教授

一、中文摘要 (關鍵詞 : 分子邦浦, 滑動流)

本計劃是以計算流體力學的方法分析螺旋凹槽拖曳式分子邦浦之流場。流場被假設在滑動流的範圍, 因此壁面為滑動邊界條件。所作的測試用來評估餘隙大小、螺旋角度、凹槽深度、流道數目及旋轉速度所產生的效應。餘隙的存在造成流道側邊壓差減少, 因此降低了進出口壓差。螺旋角度和凹槽深度的測試指出這些參數存在一最佳化的值使其效能較佳。結果也顯示增加旋轉速度是改善壓縮比的有效方法。另由計算可知, 當流道數目減少時, 進出口壓差增加。然而, 應該要了解流道數目減少, 使其截面積增加, 這產生降低進出口壓差的效應。

英文摘要 (Keywords : molecular pump, slip flow)

A computational method is used to analyze the viscous flow in the spiral grooves of the molecular drag pump of Holweck type. The flow is assumed in

the slip flow regime and, thus, the slip boundary condition is imposed at walls. Tests are conducted to examine the effects of clearance gap, spiral angle, channel height, number of channels, and rotating speed. The appearance of clearance brings about lower pressure gradient between side walls of the channel and, thus, reduces the pressure rise in the channel. Testing on spiral angle and channel height indicates that these parameters need to be optimized to achieve better performance. Results also reveal that increase of rotating speed is an effective way to promote compression ratio. In calculations pressure rise is enhanced when the number of channel is decreased. However, it should be understood that by reducing channel number the cross-sectional area of the channel is increased, which has the effects of reducing the pressure rise.

二、計劃緣由及目的

真空技術的應用極為廣泛，從燈泡工業、食品的包裝、材料的冶鍊到近日蓬勃發展的半導體製造，都需要不同程度的真空，在如蝕刻，低壓化學沈積，及有機金屬化學沈積等半導體製程常屬於高真空及高流量狀態，因此分子幫浦被廣泛應用，在分子幫浦中的渦輪分子幫浦(turbomolecular pump)具有較低的終極壓力及高流量等特點，而分子拖曳式幫浦(molecular drag pump)則有高的壓縮比及其排放壓力可達 10 torr，因此在一高真空系統中通常結合此二種分子幫浦，將分子拖曳式幫浦置於渦輪分子幫浦的下游。

關於分子幫浦流場的分析，最常用的是 Kruger 與 Shapiro 所提出的輸送機率(transmission probability) [1-4]。此法的理論係根基自由分子流的假設，因此僅適用於超高真空狀態，為了考慮在較低真空時分子間的碰撞，可利用直接模擬蒙地卡羅法(direct simulation Monte Carlo, DSMC) [5, 6]。如前所述，分子拖曳式幫浦的工作壓力可達 10torr，此時流場已處於連續流的範圍，雖然 DSMC 可用於連續流的計算，但較之傳統解 Navier-Stoke 方程式的 CFD (Computational Fluid Dynamics)方法需耗費大量的計算時間及電腦儲存量，因此仍以傳統 CFD 方法分析較為適合。

本計劃以有限體積法對於一 Holweck 型式的分子幫浦做流場分析，此型式的分子幫浦係在旋轉柱體

上刻劃出數條螺旋式凹槽(見圖一)當氣體流經這些流道受轉子的拖曳達成幫浦的功能。本計劃探討各種參數的影響，以做為此種幫浦設計的參考。所考慮的參數包括：餘隙的大小、螺旋角度、凹槽深度、流道數目及旋轉速度等。

三、研究方法

1. 統御方程式為三維 Navier-Stokes 方程式。
2. 參考座標座落於轉子上，因此需於統御方程式中加入離心力及柯氏力項。
3. 採用非曲線座標以便能應付不規則幾何形狀。
4. 所處的壓力係在滑動流範圍，因此固體牆上採滑動邊界。
5. 格點安排成非交錯形式。
6. 對流項採二階準確的線性上游差分。
7. 疊代方法採類似 SIMPLE 的法則，但在計算流經網格面上的質通量採 Rhie 及 Chow 的動量差分方法以便能適用非交錯網格。

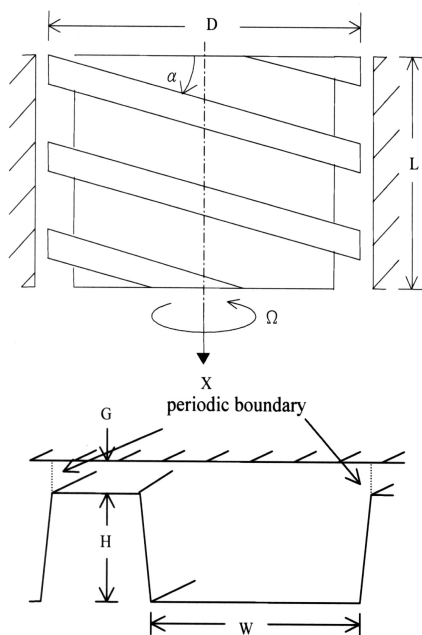
四、結果與討論

1. 圖一為一螺旋凹槽式分子幫浦示意圖。
2. 圖二係進出口壓力差之計算值與實驗值的比較，當計算加入餘隙的影響時，所得結果與實驗值較符合。
3. 圖 3a 顯示當餘隙加大，進出口壓力差減少。
4. 圖 3b 顯示螺旋角 α 有一最佳值介於 $20^\circ \sim 25^\circ$ 間。

5. 圖 3c 顯示凹槽高度也須要最佳化。
6. 圖 3d 則進一步顯示較好的方法是將凹槽高度由進口處逐漸遞增。
7. 圖 3e 顯示流道數目減少有較好的幫浦效能。
8. 圖 3f 顯示幫浦效能隨旋轉速度而增加。

五、參考文獻

1. C. H. Kruger and A. H. Shapiro, Vacuum Pumping with a Bladed Axial-Flow Turbo-Machine, 7th Nat. Symp. Vac. Techn. Transact., pp. 6-12, 1960.
2. C. H. Kruger, "The Axial-Flow Compressor in the Free Molecular Range", Ph.D Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1960.
3. S. Katsimichas, A. J. H. Goddard, R.



圖一、幫浦流道示意圖

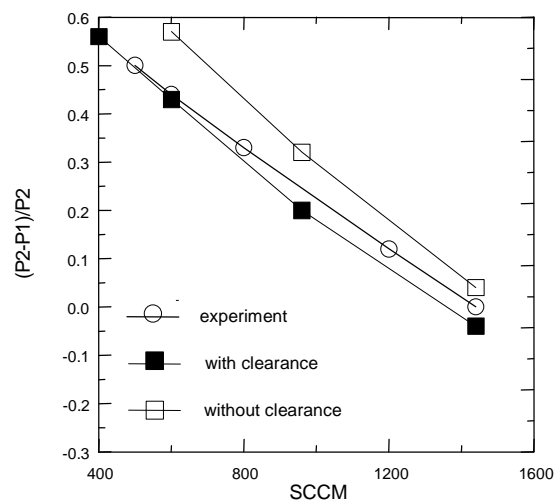
Lewington and C. R. E. de Oliveira, "General Geometry Calculations of One-Stage Molecular Flow Transmission

Probabilities for Turbo molecular Pumps", J. Vac. Sci. Technol., A. 13(6), pp.2954-2961, 1995.

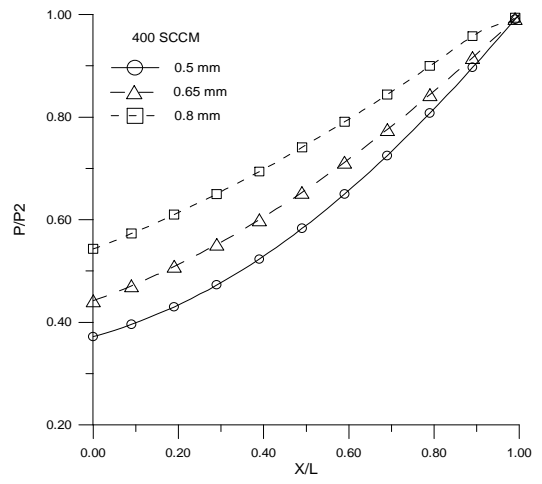
4. T. N. Schneider, S. Katsimichas, C. R. E. de Oliveira and A. J. H. Goddard, "Empirical and Numerical Calculations in Two Dimensions for Predicting the Performance of a Single Stage Turbo molecular Pump", J. Vac. Sci. Technol., A. 16(1), pp.175-180, 1998.

5. G. A. Bird, "molecular Gas Dynamics and the Direct Simulation of Gas Flow", Clarendon Press, Oxford, 1994.

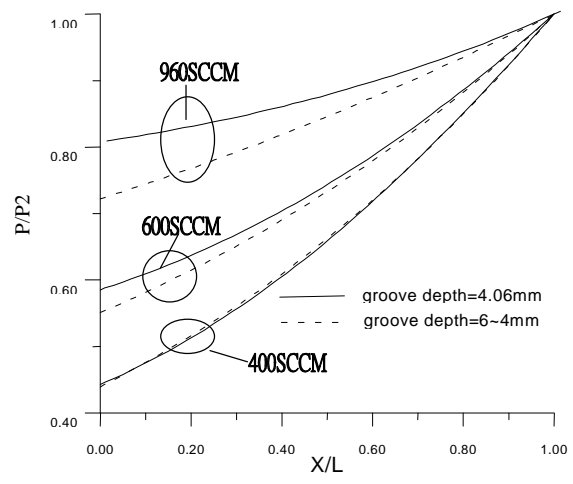
6. Y. K. Lee and J. W. Lee, "Direct Simulation of Compression Characteristics for a Simple Drag Pump Model", Vacuum, Vol. 47, pp. 807-809, 1996



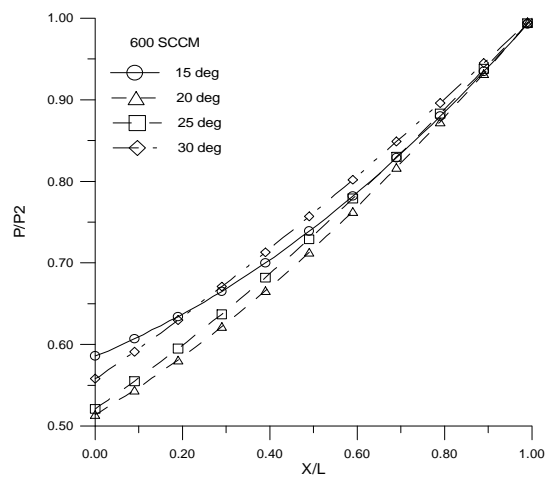
圖二、比較進出口壓力差的預測及實驗值



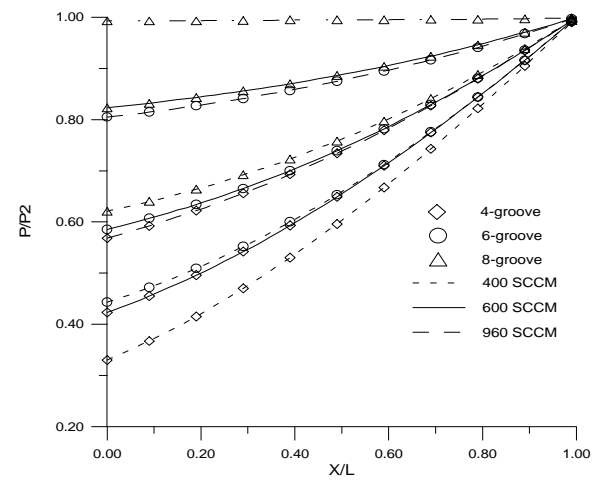
(a)



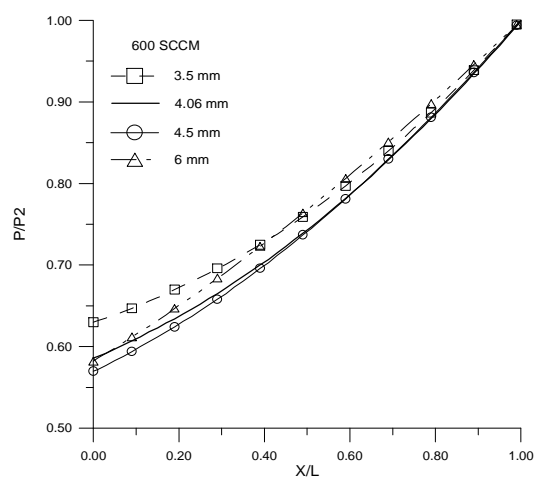
(d)



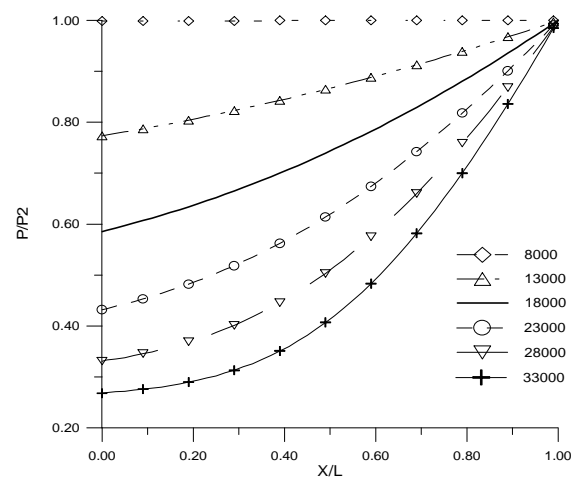
(b)



(e)



(c)



(f)

圖三、沿流道之壓力變化