

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

利用噴流增進活塞熱傳效率之研究(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2212-E-009-010-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學機械工程研究所

計畫主持人：傅武雄

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 5 月 9 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫期中報告

利用噴流增進活塞熱傳效益之研究 (1/3)

計畫類別：■個別型計畫 □整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2212-E-009 -010

執行期間：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

計畫主持人：傅武雄 教授

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立交通大學機械工程學系

中華民國 94 年 5 月 9 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

利用噴流增進活塞熱傳效益之研究 (1/3)

A Numerical Analysis In Improving Heat Transfer Efficiency on the Crown of the Piston

計畫編號：NSC 93-2212-E-009 -010

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

主持人：傅武雄 教授 國立交通大學機械工程學系

一、中文摘要

本文主要目的在以數值方法探討活塞內部加裝一冷卻渠道，觀察此渠道在近進口流、活塞做往復運動下以及浮力效應作用下，渠道內部流場和溫度場的變化，並討論冷卻流體對活塞高溫壁面的熱傳增益。

本研究採用葛拉金有限元素法，配合 Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE) 座標描述方法，首先探討冷卻流體在往復運動下的流場和溫度場之變化，以瞭解這類問題的運動機制，並進而針對不同引擎的擺置方式、流場雷諾數以及浮力效應，比較其對活塞高溫壁面的熱傳增益。綜合所獲得的研究結果，當活塞運動後，會在活塞高溫壁面附近產生類似牽引和推擠流體現象，使得原本附在高溫壁面上之溫度邊界層受到擾動而被破壞和縮小，熱傳效果會有效提升。而當進口流速度及重力方向相反的狀況下，高溫流體會因為浮力效應被帶離壁面，熱傳效率有提升的現象。

關鍵詞：噴流、熱對流、移動邊界

Abstract

The aim of this numerical analysis is to investigate the variations of flow and thermal fields in the cooling channel within the reciprocating piston, and discuss the heat transfer effect of the cooling flow on the heated crown of the piston.

At first, a Galerkin finite element formulation with ALE method is adopted to investigate the variations of the flow and thermal fields induced by the reciprocation of the piston. Then, the heat transfer effect on different model set up such like different Reynolds numbers, Grashof numbers, and piston's relative angles from horizon, will be shown and discussed. Based on the above procedures, the results show that the reciprocating piston may draw and push the cooling flow. This phenomenon will destroy the thermal boundary layer and contract its thickness. Therefore, the heat transfer rate is enhanced remarkably. On the other hand, when inlet flow direction is set up against gravity, heated fluid will be taken away from high temperature surface by buoyancy, that way

enhances heat transfer efficiency.

Keywords: jet flow, heat convection, moving boundary

二、緣由與目的

近年來為因應許多工程上的需要，機械元件所需承受的熱負載不斷增加，為解決此一現象所衍生的元件損害與故障，熱機構熱傳效應的提昇一直是重要的研究課題。

船舶的引擎為船舶推進的動力來源，一旦引擎發生故障，將造成船舶無法正常繼續航行。而位於引擎燃燒室附近之機械元件，因長期處在高溫高壓的熱負載狀態下，容易且經常發生故障。燃燒室內之活塞，其頂部直接與汽缸內之火焰接觸，除了承受爆炸瞬間的極大壓力外，亦從燃氣中吸收了大量的熱量，若活塞頂部溫度過高，又不能及時冷卻，使用日久，將造成活塞燒損或龜裂，這不只使引擎無法正常運轉，發揮其最大效率，也會使維修營運成本增加。

實際的活塞頂部受到引擎室爆炸的影響溫度非常之高，該區流場受溫度效應影響的比例非常大，因此自然對流效應不容忽視。

第五章 結果與討論

5.1 穩態下 Re 、 Gr 及重力方向對流場及溫度場的影響

圖 5-3 為 $Gr/Re^2 = 1$ 及 $Gr/Re^2 = 250$ 高溫壁面的局部熱傳率 Nu_x 分佈圖。當浮力效應較低時 ($Gr/Re^2 = 1$)，進口流體可以直接衝擊高溫壁面，在 $X = 1.4$ 附近有較高的熱傳效果，隨後流體向右流經高溫壁面，熱傳效率逐漸降低。雖然管道的左、右上角都有迴流區，左邊的迴流區較靠近進口流體，因此熱傳效率優於右邊的迴流區。當浮力效應升高 ($Gr/Re^2 = 250$)，進口的強制流體不易衝散靠近高溫壁面的溫度層化區，浮力效應讓該整區的流體往上堆擠，較冷的空氣對該區衝擊的影響相對變小，因此整個溫度層化區中的熱傳效益極低，所以局部紐塞數分佈幾乎為常數，是一個極為穩定的狀態。

圖 5-6 為 $Re=200$ ， $Gr/Re^2 = 1$ 、250 和

$Re = 500$, $Gr/Re^2 = 0.16$ 、 40 , 且重力方向和進口流速度相反的高溫面局部紐塞數比較圖。由於重力方向和進口流體速度方向相反, 不論 $Re=200$ 或 $Re=500$, 浮力效應較強者較容易在活塞頂部形成溫度層化區, 溫度邊界層變厚而且均勻分布, 熱傳效果變差, 且整個高溫壁面的熱傳效率幾乎是常數。當浮力效應減弱時, 強制對流則主導熱傳效益, 在高溫壁面的衝擊點附近, 則形成熱傳效率最大的區域, 隨後向右隨著流體和高溫面不斷的做熱傳遞而減小。另外左上角的迴流區較靠近進口冷卻流體, 右上角的迴流區則靠近溫度較高的出口流體, 因此左側高溫壁面的紐塞數高於右側高溫壁面的紐塞數。另外雷諾數較高者由於有較高的慣性力, 活塞頂部熱傳效率較好。

圖 5-9 為 $Re = 200$, $Gr/Re^2 = 1$, 重力方向和進口強制流相同、重力方向和進口強制流相反, 以及 $Re = 200$, $Gr/Re^2 = 17.5$, 重力方向和進口強制流相同的局部紐塞數比較圖。改變重力相對進口流速度的方向, 浮力效應會分別有將熱流體帶離高溫壁面以及將熱流體推向高溫壁面的現象, 因此在熱傳效率上有所差異, 重力和進口流速度方向相同的狀況整體熱傳效率較好。流體流經右側壁面時, 由於流體溫度已經升高, 因此右側壁面的熱傳效率相差不大。當重力和進口流速度方向相同, 提升浮力效應為 $Gr/Re^2 = 17.5$ 時, 有較高速且量較多的冷卻流體直接衝擊頂部高溫面, 約在 $X = 1.4$ 附近有局部熱傳率突增的情形。水平管部分, 因為有流體緊貼壁面流動, 局部熱傳率亦較高。左管左壁面附近, 因為浮力效應增強, 該區的流體被帶往離高溫面更遠的地方, 局部熱傳率也較高。

5.3 頻率及振幅對流場及溫度場的影響

圖 5-15(a)、圖 5-15(b)分別為 1/4、2/4 週期及 3/4、4/4 週期和穩態的局部紐塞數比較圖。圖 5-15(a)中局部紐塞數的分佈可以發現 1/4 週期時有熱傳率有三個局部峰值現象, 也就是有三次衝擊的狀況發生, 其中一個出現在靠近右側壁面的地方。比較圖 5-3 穩態狀況下的高溫面局部紐塞數分佈圖, 發現在活塞做往復運動時, 高溫面會有二次以上衝擊現象發生, 而穩態則沒有這樣的現象。穩態狀況中, 進口流體從左側管道進入水平管道時, 只對活塞頂部做了一次衝擊, 然後就向右流去, 是由於水平管道高度無法讓進口流體在內部擺動。然而在活塞往復運動下, 流道壁面移動會牽引流體, 而短時間內上下移動的流道使流體無法完全沿著管道向右流動, 流體會隨著管道的上下移動而上下晃動, 因此會有再次撞擊的現象發生。1/4 週期的第一次衝擊是由進口流體造成, 和穩態現象相同。二次衝擊區形成的原因是, 受到管道向上移動的影響, 水平管道高度相對增加所致, 衝擊位置約在高溫壁面 $X = 3.6$ 處, 此處熱傳效率明顯增加。而在水平管道最右方的區域因為流體被回吸, 造成流道右上角流體

滯留, 局部熱傳率又再度下降, 因此第三次衝擊區較不明顯。當活塞運動到 2/4 週期時, 第一次衝擊區的局部紐塞數有下降的情形, 第二次衝擊區有增加且往右的情形。流場在 2/4 週期只剩下進口流速度的影響, 沒有流道向上的牽引, 流體容易從左側管道進入水平管道, 因此第一次衝擊區的局部熱傳率下降。第二次衝擊區也因此受到更多的流體衝擊, 而局部熱傳率增加, 並且比 1/4 週期時更偏向右方。在 1/4、2/4 週期時第三次衝擊的效果差距則很小。

從圖 5-15(b)中可以發現, 3/4 週期的局部紐塞數有比 1/4、2/4 週期整體下降的情形, 並且出現多次的局部熱傳率峰值。在 3/4 週期時, 活塞往下移動對進口流的相對速度達到最大, 被高溫壁面的流體往下擠壓, 流體容易從左管流進水平管, 向右流動的趨勢較強。流體在水平管道中向右流動, 活塞向下移動, 這樣的相對速度結果致使流體三次衝擊高溫壁面, 但也由於相對速度較強, 冷熱流體接觸的時間短, 導致局部紐塞數全面性下降。當活塞移動到 4/4 週期時, 進口流速度和活塞高溫面的相對速度減小, 進口流對上方的高溫壁面比較不敏感, 因此較晚轉入水平管道, 以致冷熱流體接觸較久, 熱量傳遞的效果較好, 造成第一次衝擊區的局部紐塞數較高。流體在第一次衝擊後往 JK 壁面衝擊, 之後反彈後再度對活塞頂部衝擊, 慣性力減弱, 造成局部紐塞數比第一次小的第二次衝擊。

圖 5-18(a) 圖 5-18(b)分別為 1/4、2/4 週期, 3/4、4/4 週期與穩態的局部紐塞數比較圖。當 Gr/Re^2 值大幅提升到 $Gr/Re^2 = 250$, 浮力效應大為提升, 且在重力與進口流速度相反下, 高溫流體累積在活塞流道頂部, 浮力對流場的影響已遠大於活塞運動以及進口流速度對流場的影響, 活塞頂部流體發生溫度層化現象, 在高溫壁面附近的熱量傳遞現象是由熱傳導主導, 局部紐塞數的變化全部都侷限在 0~1 之間, 相較 $Gr/Re^2 = 1$ 時的結果非常的小。圖 5-18(a)1/4 週期時, 活塞向上的速度達到最大值, 加上浮力效應大幅度增強, 因此在水平管道中央區域的流體不易往右流動, 因此造成局部紐塞數分佈為中央較左右兩側略低的狀況。2/4 週期時, 活塞停止於上始點, 內部空間加大的效應消失, 致使左側進口流體相對的比較容易衝擊左側高溫壁面。右側高溫壁面仍累積稍前活塞向上移動所留下的高溫流體, 右側高溫壁面局部紐塞數稍微下降。圖 5-18(b)中 3/4 週期時, 活塞向下速度達到最高值, 流動現象和 1/4 週期時相似, 局部紐塞數分佈左右兩側略高於中央區域。4/4 週期時, 活塞停止於下始點, 活塞和進口流體之間的相對速度減弱, 加上層化區造成的緩衝效果, 使左側進口流體提早轉入水平管道, 而無法順利衝擊左側高溫壁面, 導致局部紐塞數略為降低。水平管道右側的流體因為相對速度的消失, 反而順利流入右側管道, 牽引部分右側高溫壁面的高溫流體

往下流，造成右側高溫壁面的局部紐塞數略為提升。

圖 5-19 為當重力方向與進口強制流相反， $Gr/Re^2 = 1$ 、 $Gr/Re^2 = 250$ 下，各經過 70τ ，到達周期穩定的平均紐塞數對時間的變化分佈。可以發現由於浮力效應的影響， $Gr/Re^2 = 250$ 時流道振動對活塞頂部的熱傳影響已經非常小，平均紐塞數分佈遠小於 $Gr/Re^2 = 1$ 的平均紐塞數分佈，並且比較早進入穩定週期變化。

5.4 重力方向和進口流相反， Re No、 F_c 及 L_c 對流場及溫度場的影響

圖 5-22(a) 圖 5-22(b) 分別為 1/4、2/4 週期，3/4、4/4 週期與穩態的局部紐塞數比較圖。將圖 5-22(a) 和圖 5-15(a) 相比較，前者在增加雷諾數 Re 後，慣性力增強，不但使高溫面熱傳率有整體提高的現象，另外進口流體衝擊高溫面後，流體反彈效應增強，增加再次衝擊壁面的機會，因此在高溫壁面形成三個局部紐塞數的高峰。圖 5-22(b) 中，3/4、4/4 週期的高溫面整體的局部紐塞數有比圖 5-22(a) 要低的現象。當活塞往下移動至 3/4 週期時，是活塞往下加速的過程，由於進口流相對活塞頂部高溫面的速度面增強，流體流經左側垂直管進入水平管道時被高溫壁面附近的熱流體更快速的壓縮，提早轉向進入水平管道，減弱衝擊高溫壁面的效果。此時管道空間有減少效應，因此紐塞數分佈有四個頂點，比管道向上移動時多一個。

圖 5-23 為 $Re = 200$ ， $Gr/Re^2 = 1$ 及 $Re = 500$ ， $Gr/Re^2 = 0.16$ 的高溫面平均紐塞數對時間的分佈比較圖。圖中可以發現， $Re = 200$ ， $Gr/Re^2 = 1$ 下約在 $\tau = 5$ 後活塞頂部的平均熱傳率達到穩定週期現象，而 $Re = 500$ ， $Gr/Re^2 = 0.16$ 要在約 $\tau = 10$ 後才達到穩定周期。另外在固定的 $Gr = 40000$ ，增加雷諾數，浮力相對於進口流、活塞移動對流場的影響降低，因此活塞頂部的平均熱傳率會增加。

圖 5-26(a) 圖 5-26(b) 分別為 1/4、2/4 週期，3/4、4/4 週期與穩態的局部紐塞數比較圖。和流場狀況 ($Re = 200$ 、 $Gr/Re^2 = 250$) 相比，高溫面最高的紐塞數變化在 0~4 之間，有較大的情形，但和浮力效應低 ($Gr/Re^2 = 0.16$) 的狀況相比仍然非常小。圖 5-26(a) 1/4、2/4 週期下，由於流場的雷諾數較前例 ($Re = 200$ 、 $Gr/Re^2 = 250$) 要強，進口流體慣性力增加，整個高溫面的熱傳效率稍有提升，而在右側管道可以往下帶走更多的熱量，因此高溫面右方的局部熱傳率較高。圖 5-26(b) 3/4、4/4 週期下的狀況則相反，由於進口流相對高溫壁面的速度提升，活塞在往下移動的過程中高溫面左側的局部熱

傳率較高。

圖 5-27 為 Re 分別為 200， $Gr/Re^2 = 1$ 、250 及 500， $Gr/Re^2 = 0.16$ 、40，且重力方向和進口流速度相反的高溫面平均紐塞數對時間分佈比較圖。從圖中發現，增加雷諾數和降低 Gr 值可以增加活塞頂部的熱傳效率，而降低雷諾數或增加 Gr 值流場會在活塞高溫面附近形成層化區，讓活塞頂部的熱傳效率降低。

5.5 改變重力和進口流速度的相對方向，對流場及溫度場的影響

圖 5-30(a) 圖 5-30(b) 分別為 1/4、2/4 週期，3/4、4/4 週期與穩態的局部紐塞數比較圖。和圖 5-15(a) 的狀況類似，由於前述管道體積增大的現象，圖 5-30(a) 中 1/4、2/4 週期都有三次衝擊現象。此例為重力和進口流速度方向相同的狀況，熱的流體容易被浮力帶離高溫壁面，在同樣的雷諾數下，1/4、2/4 週期的高溫面熱傳率普遍提升。圖 5-30(b) 3/4、4/4 週期的局部紐塞數分佈和圖 5-15(b) 的現象一樣，分別有四次及三次對活塞頂部衝擊的情形，唯此例中浮力會將熱流體帶離高溫壁面，熱傳效率全面提升。

圖 5-31 為 $Re = 200$ 、 $Gr/Re^2 = 1$ 、 $F_c = 0.2$ 及 $L_c = 0.2$ ，重力和進口流速度相同及重力和進口流速度相反的活塞頂部平均紐塞數對時間分佈的比較圖。在雷諾數同樣是 $Re = 200$ 及浮力效應 $Gr/Re^2 = 1$ 之下，進口流速度和重力方向同向，浮力會將高溫壁面附近的熱流體帶離高溫壁面，而進口流速度和重力方向反向，則浮力會將高溫壁面附近的熱流體更帶向高溫壁面，因此在熱傳效率上會有前者較高的結果。另外由穩定周期下平均紐塞數最高值和最低值的差異中發現，當重力和進口流速度方向相同時，活塞做往復運動會對平均熱傳率有更大的擾動。

第六章 結論與建議

當重力方向和進口流速度相反，浮力效應從較弱的狀況下增強時，高溫流體會累積在活塞流道頂端，高溫流體區內部的熱傳遞現象漸漸由熱傳導主導，形成溫度層化區。進口流比較不容易將活塞頂部的流體溫度層化區衝散，導致活塞頂部的熱傳效率降低。

當重力方向和進口流速度相反，活塞內部冷卻流體之雷諾數增加時，流場會具有較大的慣性力，除了導致流體衝擊高溫壁面的現象更加明顯外，流體在隨活塞作往復運動期間，流道內部流場的擾動會隨著雷諾數的增加而增加並增大，因此活塞頂部高溫壁面的熱傳效益會明顯地隨著雷諾數的增加而增加。

當改變活塞的擺置角度，旋轉 180° 後，重力方向和進口流體速度的方向相同，左側管道浮力和流體流向相反，為反向抵抗流，右側管道浮力則和流體流向相同，為助益流。管道內的浮力

會將熱的流體帶離高溫壁面，因此高溫面的熱傳效率有提高的現象。再加上流道往復運動對流場的影響，更加容易增加流道內冷流體對活塞頂部接觸的效果，而有熱傳效率增加的情形。

參考文獻

[1] P. P. Grassmann, and M. Tuma, "Applications of the Electrolytic Method- . Mass Transfer within a Tube for Steady, Oscillating and Pulsating Flows," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 22, pp. 799-804, 1979.

[2] A.T. Patera, and B.B. Mikic, "Exploiting Hydrodynamic Instabilities Resonant Heat Transfer Enhancement," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 29, No. 8, pp. 1127-1138, 1986.

[3] S. Y. Kim, B. H. Kang, and A. E. Hyun, "Heat Transfer in the Thermally Developing Region of a Pulsating Channel Flow," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 36, No. 17, pp. 1257-1266, 1993.

[4] A. E. Bergles, "Heat Transfer Enhancement – The Encouragement and Friction in Tubes with Repeated-Rib Roughness," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 14, No. 4, pp. 601-617, 1971.

[5] R. L. Webb, E. R. G. Eckert, and R. J. Goldstein, "Heat Transfer and Friction in Tubes with Repeated-Rib Roughness," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 14, No. 4, pp. 601-617, 1971.

[6] M. J. Lewis, "An Elementary Analysis for Predicting the Momentum and Heat Transfer Characteristics of a Hydraulically Rough Surface," *ASME Journal of Heat Transfer*, Vol. 97, No. 2, pp. 249-267, 1975.

[7] J. C. Han, "Heat Transfer and Friction in Channels with Two Opposite Rib-Roughed Walls," *ASME Journal of Heat Transfer*, Vol. 106, pp. 774-781, 1984.

[8] S. W. Chang and L. M. Su, "Influence of Reciprocating Motion on Heat Transfer Inside a Ribbed Duct with Application to Piston Cooling in Marine Diesel Engines," *Journal of Ship Research*, Vol. 41, No. 4, pp. 332-339.

[9] W. F. Noh, "A time-dependent two-space-dimensional coupled Eulerian-Lagrangian code," in: B. Alder, S. Fernbach and M. Rotenberg, eds., *Methods in computational Physics*, Academic Press, New York, Vol. 3, p. 117, 1964.

[10] C. W. Hirt, A. A. Amsden, and H. K. Cooks, "An arbitrary Lagrangian-Eulerian computing method for all flow speeds," *Journal of Computational Physics*, Vol. 14, pp. 227-253, 1974.

[11] T. J. R. Hughes, W. K. Liu, and T. K. Zimmermann, "Lagrangian-Eulerian Finite Element Formulation For Incompressible Viscous Flows," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 29, pp. 329-349, 1981.

[12] A. Huerta and W. K. Liu, "Viscous Flow With Large Free Surface Motion," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 69, pp. 277-324, 1988.

[13] T. Belytschko, D. P. Flanagan, and J. M. Kennedy, "Finite Element Methods With User-Controlled Meshes For Fluid-Structure Interaction," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 33, pp. 669-688, 1982.

[14] J. Donea, S. Giuliani, and J. P. Halleux, "An Arbitrary Lagrangian-Eulerian Finite Element Method For Transient Dynamic Fluid Structure Interactions," *Computer Methods in Applied Mechanics and*

Engineering, Vol. 33, pp. 689-723, 1982.

[15] A. Huerta, and W. K. Liu, "Viscous Flow Structure Interaction," *Journal of pressure vessel technology*, Vol. 110, pp. 15-21, 1988.

[16] T. Nomura and T. J. R. Hughes, "An Arbitrary Lagrangian-Eulerian Finite Element Method For Interaction Of Fluid And A Rigid Body," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 95, pp. 115-138, 1992.

[17] T. Nomura, "Finite Element Analysis Of Vortex-Induced Vibrations Of Bluff Cylinders," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 46, pp. 587-594, 1993.

[18] H. H. Hu, "Direct Simulation Of Flows Of Solid-liquid Mixtures," *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 22, pp. 335-352, 1996.

[19] A. Masud and T. J. R. Hughes, "A Space-Time Galerkin/Least-Squares Finite Element Formulation Of The Navier-Stokes Equation For Moving Domain Problems," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 146, pp. 91-126, 1997.

[20] 楊德良, 張仁德, "結構物在風場中之數值模擬研究", 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告, 1995.

[21] 黃建平, "無塵室內工作人員移動對塵粒擴散之影響", 國立交通大學機械工程研究所碩士論文, 1996.

[22] 楊肅正, "穩定流場下剛體移動衍生之熱流現象", 國立交通大學機械工程研究所碩士論文, 1997.

[23] 楊肅正, "擺動矩形體在流動場中之流場與熱傳特性研究", 國立交通大學機械工程研究所博士論文, 2000.

[24] W. K. Liu, H. Chang, J. S. Chen, and T. Belytschko, "Arbitrary Lagrangian-Eulerian Petrov-Galerkin Finite Element For Nonlinear Continua," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 68, pp. 259-310, 1988.

[25] S. Chippada, T. C. Jue, and B. Ramaswamy, "Finite Element Simulation Of Combined Buoyancy And Thermocapillary Driven Convection In Open Cavities," *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 38, pp. 335-351, 1995.

[26] J. Wang and M. S. Gadala, "Formulation And Survey Of ALE Method In Nonlinear Solid Mechanics," *Finite Elements in Analysis and Design*, Vol. 24, pp. 253-269, 1997.

[27] D. W. Pepper and J. C. Heinrich, *The Finite Element Method: Basic Concepts And Applications*, Taylor & Francis, 1992.

[28] 林清貴, "往復運動對半封閉渠槽的流場與熱傳影響之數值模擬", 國立清華大學動力機械工程研究所碩士論文, 2002.

[29] 劉謹德, "通道內設凸起物往復運動時混合對流之熱傳研究", 國立成功大學造船暨船舶機械工程研究所碩士論文, 2001.

[30] 黃睿哲, "往復通道加裝凸起物紊流場觀察與數值模擬分析", 國立成功大學造船暨船舶機械工程研究所碩士論文, 2001.

[31] 廖英皓, "活塞頂部之熱傳分析", 國立交通大學機械工程研究所碩士論文, 2003.

[32] Orhan Aydm, "Aiding And Opposing Mechanisms Of Mixed Convection In A Shear- And Buoyancy-Driven Cavity," *International Communications in Heat and Mass Transfer* Vol.26, No.7, October, 1999, pp. 1019-1028

[33] Robert W. Fox & Alan T. McDonald *Introduction to Fluid Mechanics*, FIFTH EDITION.

[34] 謝文健, "利用有限元素法解析密閉式空間內自然對流問題", 國立交通大學機械工程研究所碩士論文, 1987。

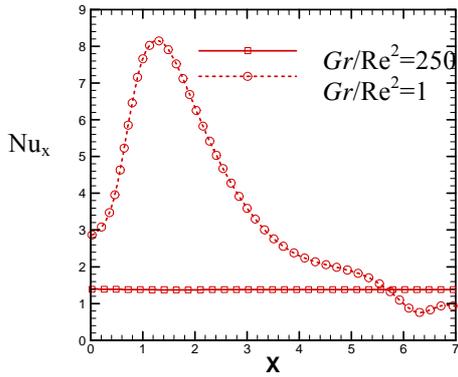


圖 5-3 $Re = 200$ $Gr/Re^2 = 1$ 、 $Gr/Re^2 = 250$ ，穩態流場之高溫面局部 Nu_x 分佈圖

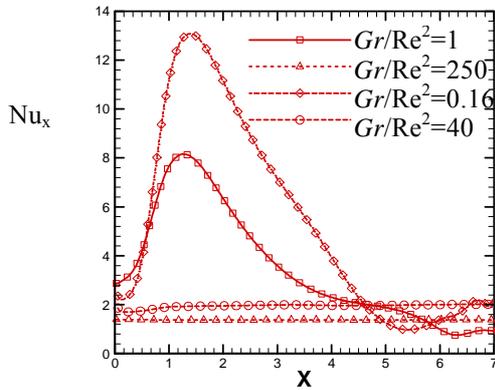


圖 5-6 $Re = 200$ $Gr/Re^2 = 1$ 、 250 ； $Re = 500$ $Gr/Re^2 = 0.16$ 、 40 ，重力和進口流反向，穩態流場之高溫面局部 Nu_x 分佈圖

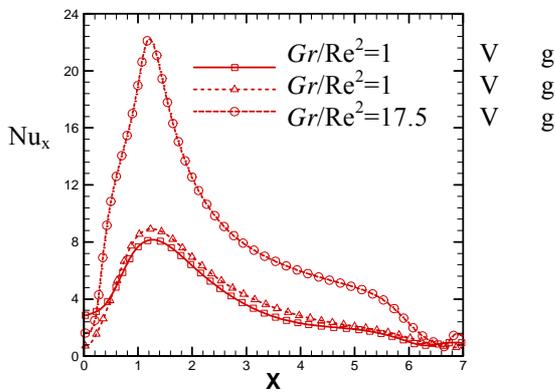


圖 5-9 $Re = 200$ $Gr/Re^2 = 1$ 、 17.5 ，重力方向分別和進口流相同； $Re = 200$ $Gr/Re^2 = 1$ ，重力方向分別和進口流相反，穩態流場之高溫面局部 Nu_x 分佈圖

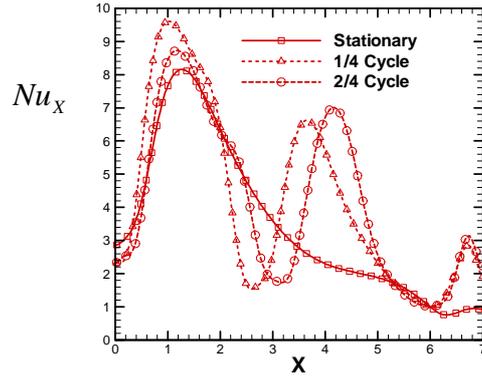


圖 5-15(a) $Re = 200$ ， $Gr/Re^2 = 1$ ， $F_c = 0.2$ ， $L_c = 0.5$ ，重力方向和進口流相反，1/4 及 2/4 週期瞬間之局部紐塞數比較圖

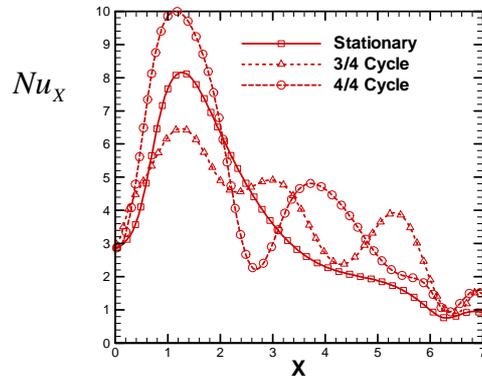


圖 5-15(b) $Re = 200$ ， $Gr/Re^2 = 1$ ， $F_c = 0.2$ ， $L_c = 0.5$ ，重力方向和進口流相反，3/4 及 4/4 週期瞬間之局部紐塞數比較圖

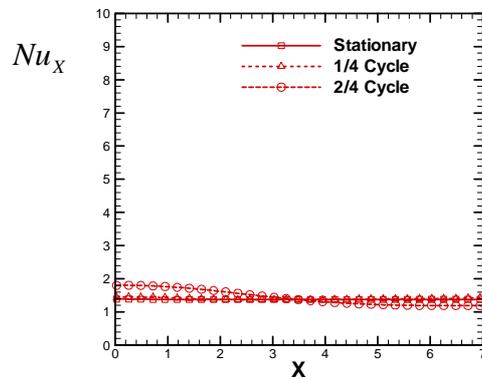


圖 5-18(a) $Re = 200$ ， $Gr/Re^2 = 250$ ， $F_c = 0.2$ ， $L_c = 0.5$ ，重力方向和進口流相反，1/4 及 2/4 週期瞬間之局部紐塞數比較圖

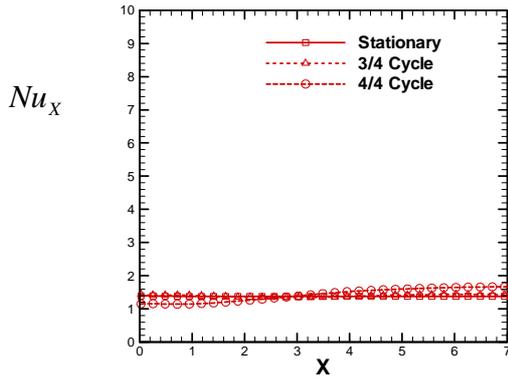


圖 5-18(b) $Re = 200$, $Gr/Re^2 = 250$, $F_c = 0.2$, $L_c = 0.5$, 重力方向和進口流相反 , 3/4 及 4/4 週期瞬間之局部紐塞數比較圖

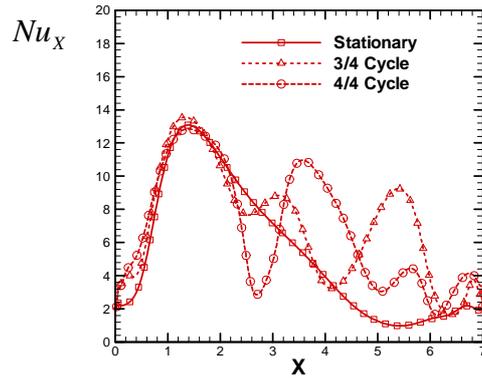


圖 5-22(b) $Re = 500$, $Gr/Re^2 = 0.16$, $F_c = 0.2$, $L_c = 0.5$, 重力方向和進口流相反 , 3/4 及 4/4 週期瞬間之局部紐塞數比較圖

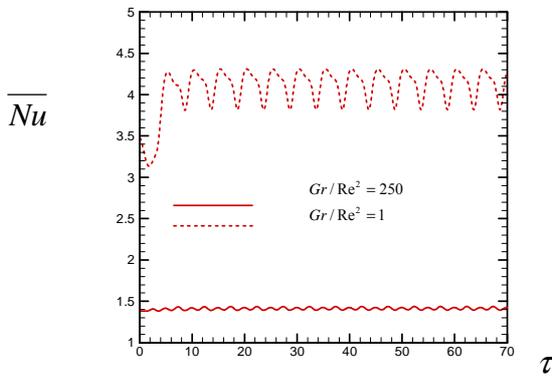


圖 5-19 $F_c = 0.2$ 、 $L_c = 0.5$, Gr/Re^2 分別為 1 及 250 , 且重力方向和進口流相反的高溫面平均紐塞數對時間分佈圖

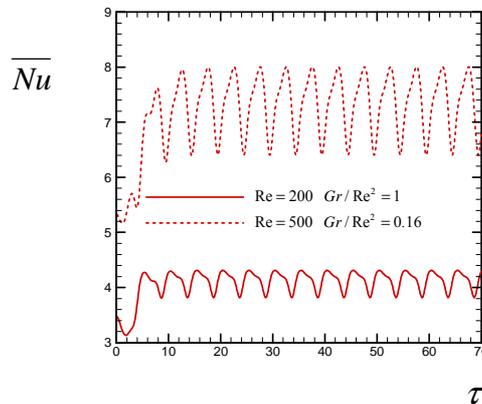


圖 5-23 $F_c = 0.2$ 、 $L_c = 0.5$, Re 分別為 200 及 500 , Gr/Re^2 分別為 1 及 0.16 且重力方向和進口流相反的高溫面平均紐塞數對時間分佈圖

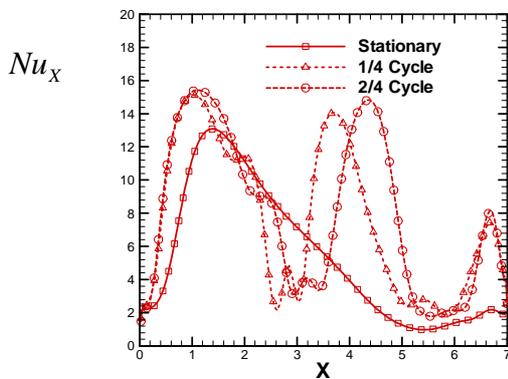


圖 5-22(a) $Re = 500$, $Gr/Re^2 = 0.16$, $F_c = 0.2$, $L_c = 0.5$, 重力方向和進口流相反 , 1/4 及 2/4 週期瞬間之局部紐塞數比較圖

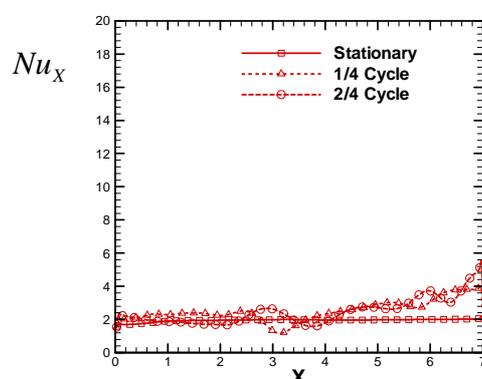


圖 5-26(a) $Re = 500$, $Gr/Re^2 = 40$, $F_c = 0.2$, $L_c = 0.5$, 重力方向和進口流速度相反 , 1/4 及 2/4 週期瞬間之局部紐塞數比較圖

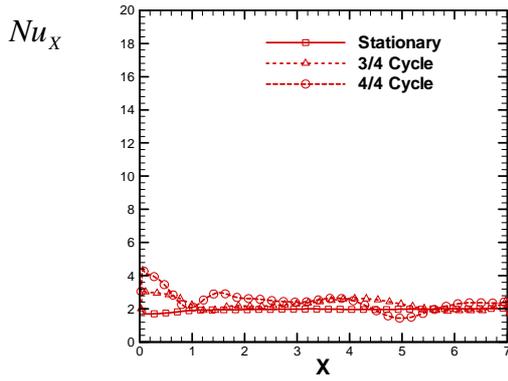


圖 5-26(b) $Re = 500$, $Gr/Re^2 = 40$, $F_c = 0.2$, $L_c = 0.5$, 重力方向和進口流速度相反, 3/4 及 4/4 週期瞬間之局部紐塞數比較圖

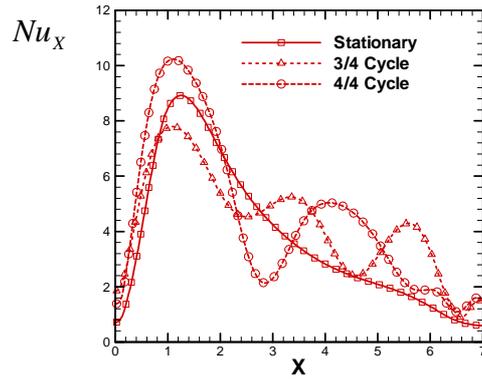


圖 5-30(b) $Re = 200$, $Gr/Re^2 = 1$, $F_c = 0.2$, $L_c = 0.5$, 重力方向和進口流相同, 3/4 及 4/4 週期瞬間之局部紐塞數比較圖

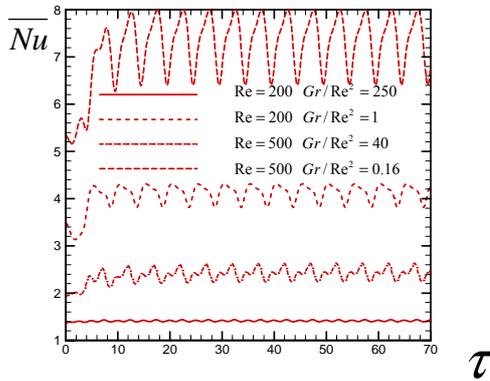


圖 5-27 $F_c = 0.2$ 、 $L_c = 0.5$, Re 分別為 200 及 500 , Gr/Re^2 分別為 250、1、40 及 0.16 且重力方向和進口流速度相反的高溫面平均紐塞數對時間分佈比較圖

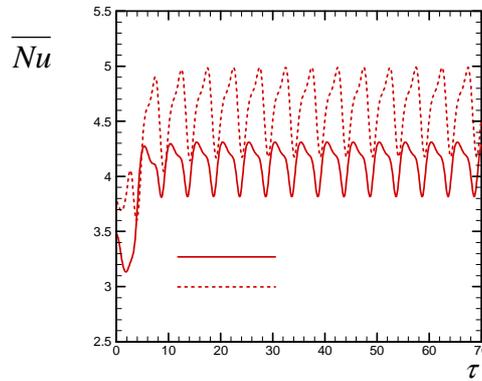


圖 5-31 $Re = 200$, $Gr/Re^2 = 1$, $F_c = 0.2$, $L_c = 0.5$, 重力方向分別和進口流相同及相反的高溫面平均紐塞數對時間分佈圖

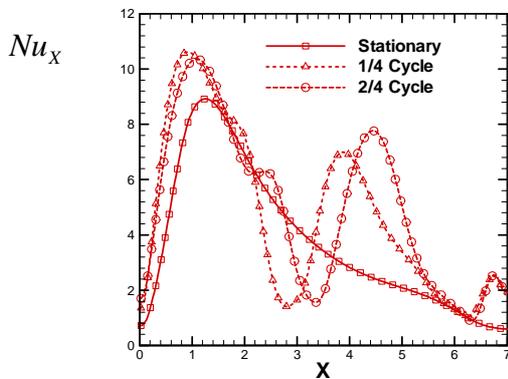


圖 5-30(a) $Re = 200$, $Gr/Re^2 = 1$, $F_c = 0.2$, $L_c = 0.5$, 重力方向和進口流相同, 1/4 及 2/4 週期瞬間之局部紐塞數比較圖

