

## 具不同位置之交錯隔板水平質源於矩形盒中之熱質自然對流研究

王士榮

機械工程系

## 摘要

本研究是以實驗方法來探討具交錯開口隔板水平質源矩形密閉區域中，其溫度梯度與濃度梯度所引起的熱質自然對流現象。上下板由壓克力板所組成，左、右邊界之銅板為極板以恆溫水槽來控制水平溫度梯度，盒內不同位置及不同開口之隔板為壓克力所組成，主要作為阻礙板。而實驗區域，利用其幾何形狀與邊界條件的設計，使得在實驗中可以觀察到盒內流場的改變，並針對相關無因次參數來探討封閉區域內流場結構影響。實驗工作流體為硫酸銅水溶液。溫度梯度由兩個不同溫度的恆溫水槽維持，濃度梯度則由電化學系統來建立，於銅板加上端電壓，使其成為電極造成濃度梯度。對於封閉盒內流場現象，乃是採用雷射光暗影法(shadowgraph)來觀測流場，並以相機拍照紀錄以利分析。為了瞭解流場結構，對流場的溫度及濃度分佈做量測。最後，對於質傳遞率Sh值與 $Gr_m$ 、 $Gr_t$ 之關係也做量測與分析。本實驗中無因次參數範圍如下： $Pr=7\sim 8$ ， $Sc=1700\sim 2500$ ， $Gr_t=8.16\times 10^5$ ， $Gr_m=4.36\times 10^6\sim 6.15\times 10^6$ ， $|N|=3.02\sim 6.03$

## 一、前言

自然對流在密閉盒中之熱和質傳遞可應用在工業和幾何物理上，例如石油化學工業過程、食品工業、晶粒回復、電化學過程、燃料電池、污染污物驅散和地下水之電解，至此介於熱和濃度之浮力之相關性為所關心的，雙擴散被分類成以下種類，熱和質之梯度以沿密閉盒水平放置，其一為順向或逆向，其它分類為熱和質之梯度為垂直放置，或為順向或逆向。兩類之問題當在文獻中延伸考慮，大部份會假設流體為二維流動，最近SeZai 和Mohmed在三維立體矩形內填入多孔介質和主要針對逆向之熱和質梯度的三維流動，結果顯示，在所控制參數之固定範圍內流動有可能會轉變成三維和多重解，因此，此很難適合做二維假設，對所控制參數之範圍，再進一步討論熱和濃度梯度之間其有交叉之相關關係，熱和濃度梯度可由垂直和水平引入，然而或許可為其它方式，此類問題最近由Mohaned和Bennacer所考慮，其假設流動為二維和展弦比為2之密閉盒來做分析討論 $Pr=0.71$ ， $Le=10$ ， $Gr_t=10^6\sim 10^8$ ， $Da=10^{-4}\sim 10^{-6}$ 和浮力比介於 $0.25\leq N\leq 2.0$ ，流動之分叉點可由N值做預測大約在0.8至1.0範圍。分歧點的產生是當濃度浮力開始克服熱時所引導產生之流動。其主要之迴流可由熱來支配其流動且當濃度梯度增加受限制。

封閉區域內具隔板之自然對流現象除了和房間內的空氣品質有關外，它在太陽能收集器、室內隔間的能量傳遞、容器內電子元件發熱之自然冷卻、核能反應器冷卻及晶體成長各方面。這些應用方面不難發覺有些不只是探討”熱”自然對流，”質”這方面的考慮也是非常重要的，此為本計畫致力探討具矩形封閉盒內熱質自然對流圓柱效應之動機。

Brown及Solvason (1962) [1] 曾在兩個chambers中加了一個隔板，而隔板上又有小的開口實驗條件下進行“質熱”自然對流的觀察研究，Nansteel and Greif (1981, 1984) [2][3] 發現隔板在封閉盒中可能產生recirculation zone降低熱傳效應，Bejan et al. (1983) [4] 以水為工作流體，探討具隔板密閉空間自然對流的實驗研究，指出開口比對於熱傳遞及流場形態有很大影響。Winters (1982) [5] 則針對不同雷利數 ( $10^6 \sim 10^{11}$ ) 做數值上的分析，發現當雷利數較低時 ( $10^6$ )，流體之分流主要產生於隔板之後，而在高雷利數時，流體之分流產生在隔板之前。Patankar (1990) [6] 針對立方空間具垂直分隔板的自然對流現象做分析，雷利數控制在  $10^4 \sim 10^7$ ，工作流體為水，結果顯示當隔板高度相同時，二維流場的  $\overline{Nu}$  值比三維流場的  $\overline{Nu}$  大 15%~66%，當雷利數提高時，二維與三維  $\overline{Nu}$  值的差距越小。Chou (1990) [7] 研究具間隙隔板與無間隙隔板區間內自然對流現象，結果發現有間隙隔板的熱傳率大約比無間隙隔板的熱傳率大 14%~30%，但隔板的大小對於下半部區間的溫度場、速度場的分佈並沒有太大的影響。D.A.Olson (1990) [8] 針對密閉區間內有無隔板與隔板的熱傳現象做一系列的觀察，並對於不同位置的速度場、溫度場做比較，結果發現有隔板的密閉區間，其熱傳率比無隔板的熱傳率降低 10%~15%，且隔板將會改善在隔板附近二次流的現象。E.Zimmerman (1986) [9] 在密閉方盒上下兩隔板中，發現主流強度隨隔板熱傳增加而降低，而Nu隨有隔板和隔板熱傳導增加而降低。S.Acharya (1989) [10] 對不同隔板位置及高度之密閉方盒中，於低Ra值 ( $10^6 \sim 10^{11}$ ) 流體在熱隔板及隔板之後有分離流動趨勢，高Ra值 ( $10^6$ ) 流動分離趨勢沿著冷板形成，引導分離之迴圈 (eddy) 在冷板和隔板間產生。對於不具隔板之封閉盒內之熱質自然對流現象，Z.L.Wang已研究多年，見文獻(1985) [11]。

熱質自然對流研究方面，早期在海洋學頗受重視，H. Stommel (1956) [12] 指出海洋受日照影響在海洋上層造成熱且濃的流體，由於鹽水濃度擴散速率遠小於溫度擴散速率，導致了濃度極不均勻的現象，稱之為鹽手指 (salt-finger)。1971年，C.F.Chen et al. [13] 在密閉盒中裝入鹽水，於垂直濃度梯度建立後，在盒之側面加熱，發現當雷利數大於臨界值時，會有層狀迴流的產生，而每一層狀迴流的厚度大約相等。而 J.Lee et al. [14] 利用薄膜滲透法製造濃度梯度而在盒之側邊加熱，發現浮力比大小不同時流場亦有不同形態。Kamakura [15] 以實驗和數值的方法分析垂直濃度梯度和水平溫度梯度的自然對流現象，觀察到多層迴流及迴流間的界面產生，並對流場的溫度分佈及濃度分佈加以分析。T.F.Lin, R.Viskanata 等人相繼發表溫度梯度與重力方向垂直的論文。T.F.Lin et al.(1993) [16] 以數值的方法探討方形密閉空間中液態水混合液的暫態逆向熱質對流，發現隨著時間的增加，質浮力造成的迴圈逐漸形成並將熱浮力造成的迴圈擠壓到中間區域，最後形成多層流結構。R.Viskanata et al.(1991) [17] 以兩種不同氣體來進行水平溫度梯度和濃度梯度質熱自然對流研究，在質熱浮力逆向的例子，發現流體在冷板附近由於逆向浮力而產生不穩定狀況。J.Lee(1998) [18] 研究鹽水在矩形密閉 (水平溫度梯度和濃度梯度) 展弦比為 0.2~25 中，顯示迴圈數目會隨浮力比的上升而增加，另逆向較順向層數為多，且各層流動結構並非同時產生，而是由上板及下板開始形成關於矩形封閉盒中水平溫度以及垂直濃度梯度之自然對流效應之數值分析可見於

A.A.Mohamad,R.Bennacer[19]其發現在二維和三維之熱傳和質傳並無明顯不同。

## 二、研究方法

本計劃是在矩形盒中以加熱恆溫水槽造成水平溫度差與電化學系統之電解作用形成之異相濃度梯度之自然對流現象之研究，以所預期的濃度梯度，再配合較容易控制的溫度梯度，交叉熱質對流便可形成。實驗中預計要完成之部分為：

### (一) 實驗部份

1. 本實驗各邊界條件及座標系統如圖1所示
2. 完成各部分邊界條件矩形盒耐力板及銅板之製作，並進行銅板表面研磨加工處理。
3. 進行雷射光暗影法平行光之調整作業流程，如圖2所示：
  - (1) 將一具35mW的氦氖雷射(He-Ne laser)投射出之紅色雷射光束之雜訊，以Pin-hole過濾形成單束光
  - (2) 經十倍率物鏡將光束放大。
  - (3) 放大之光束經透鏡及聚光透鏡，再此需調整兩者之間聚焦距離，使投射至矩形盒之光束為十公分之平行光束。
4. 建立實驗設備電路圖如圖3所示，極板之輸入電源，乃電源經一直流電源供應器轉變為直流電後所提供的，並經一可變電阻與電流計串接，用以量度容器所通過之電流，極板再與電壓計並聯，用以量度容器兩端電位降。
5. 完成按照計劃的預定濃度值調配溶液，實驗採用的硫酸銅水溶液濃度範圍為0.025~0.069，硫酸濃度約為1.5 M。
6. 組合展弦比(Ar)為0.5的矩形盒，其尺寸圖及座標系統，如圖1 所示。將硫酸銅溶液注入密閉盒內，然後放置實驗平台，並使用水平儀校正水平度。
7. 使用兩台恆溫水槽設定溫度後，使其均勻流過傳熱板(上、下兩板)，即可造成恆定的垂直溫度梯度，如圖3所示。待盒內溶液出現熱穩定狀態後，再加入質傳效應。
8. 濃度效應之建立，於盒內隔板通入電流後，在兩極板附近產生化學變化，陽極會產生銅離子的解離(dissolution)，陰極為銅的析出(deposition)。
9. 採用雷射光暗影法(shadowgraph)之平行光幕來觀察流場，以單眼數位相機拍攝記錄。
10. 測定極限電流，將極限電流除以反應極板的面積，可得極限電流密度。
11. 針對流場溫度量測使用 T type (銅，銅鎳合金) 熱電偶計，伸入流場內量取 $x/W=0.125, 0.5, 0.875$ ， $z/L=0.5$ 處y方向的溫度分佈，並由溫度資料收集器讀取溫度值。
12. 流場濃度的量測主要是利用光線透過硫酸銅溶液時，被硫酸銅所吸收的光強度和溶液的濃度關係用非干擾(nonintrusive)的方法來求得。並量取 $x/W=0.125, 0.5, 0.875$ ， $z/H=0.5$ 處y方向的濃度分佈收集器讀取溫度值。

### (二) 實驗分析比較

1. 初期以實驗之交叉之溫度梯度、濃度梯度觀察密閉盒中之流場型與文獻做比較。

2. 再針對不同邊界條件之流場型態、溫度分佈、濃度分佈做分析。
3. 討論質傳遞率 (Sh) 與  $Gr,t$ 、 $Gr,m$  之關係
4. 討論質傳遞率 (Sh) 與不同邊界條件之  $Gr,t$ 、 $Gr,m$  之關係
5. 初期以實驗之交叉之溫度梯度、濃度梯度觀察密閉盒中之流場型與文獻做比較。
6. 再針對不同邊界條件之流場型態、溫度分佈、濃度分佈做分析。
7. 討論質傳遞率 (Sh) 與  $Gr,t$ 、 $Gr,m$  之關係
8. 討論質傳遞率 (Sh) 與不同邊界條件之  $Gr,t$ 、 $Gr,m$  之關係

### 三、結果與討論

#### (一) 熱質流場觀察

##### 1. 上、下高隔板熱質逆向流場觀察

當硫酸銅溶液為 0.05M,  $Gr,m = 4.36 \times 10^6$ 、 $Gr,t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N = -5.34$  逆向之情況下, 即左板為熱板 (陽極), 右板為冷板 (陰極) 於純熱時當溫度場達到穩定時, 溫度效應所造成的流向, 在溫度邊界層內, 熱板附近流體受熱向上運動, 到達頂板後往上隔板左方移動, 在熱板和上隔板間區域累積熱而輕的流體, 流體有停滯的傾向, 在此區域的流體溫度變化不大, 形成一個熱堆積 (thermal stratified region) 區域又順著上隔板左方流向, 上隔板下方開口處堆積在開口處, 主流體沿上隔板右方流向頂板再到冷板溫度邊界層內遇冷收縮密度變大, 沿冷板向下流動到底板, 部份較輕的流體沿著下隔板右方竄升至開口處, 冷與熱之流體兩者之間堆積在上隔板下方及下隔板上方之開口處, 高溫流體沿上隔板右方流向頂板, 低溫流體沿下隔板左方流向底板時有渦卷現象, 渦流現象是因為推擠之後釋放出來的低濃度流場, 同時受重力、濃度及熱板溫度效應所影響, 並由於質之擴散效應使低濃度之邊界層逐漸向下移而高濃度邊界層向上堆積之影響, 推擠到下方穩定狀態而形成渦流現象。順著底板流至熱板溫度邊界層內遇熱膨脹密度變小, 沿熱板竄升如此形成一個循環, 而在熱板與上隔板上方處及冷板與下隔板下方處形成二個流動緩慢的區域。

加入質傳後, 溫度效應使靠近熱板附近的流體受熱上升, 而濃度效應卻使熱板 (陽極) 處, 流體濃度變大而上升, 因熱效應較強, 熱板附近高濃度流體受熱上升至頂板而轉向上隔板左方。當流體離開熱板溫度邊界層時, 溫度效應減弱, 部份高濃度流體以 finger 的型態往上竄升至頂板, 形成一個流動緩慢的區域。同樣地, 冷板附近低濃度流體因熱效應較弱而往下流, 到達底板後再轉向下隔板右方, 但一離開冷板後溫度效應減弱, 部份低溫低濃度流體以 finger 的型態向下流動, 形成一個流動緩慢的區域如圖 4 所示。

##### 2. 上、下高隔板熱質順向流場觀察

當硫酸銅溶液為 0.05M,  $Gr,m = 4.36 \times 10^6$ 、 $Gr,t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N = 5.34$  順向之情況下, 即左板為熱板 (陰極), 右板為冷板 (陽極)

於純熱時當溫度場達到穩定時，溫度效應所造成的流向，在溫度邊界層內，熱板附近流體受熱向上運動，到達頂板後往隔板移動，在熱板和隔板間區域累積熱而輕的流體，流體有停滯的傾向，在此區域的流體溫度變化不大，形成一個熱堆積（thermal stratified region）區域，主流順著上隔板左方，流向上隔板下方開口處，堆積在開口處，並沿上隔板右方流向頂板再到冷板溫度邊界層內遇冷收縮密度變大，沿冷板向下流動到底板，部份較輕的流體沿著下隔板右方竄升至開口處，冷與熱之流體兩者之間堆積在上隔板下方及下隔板上方之開口處，高溫流體沿上隔板右方流向頂板，低溫流體沿下隔板左方流向底板時有渦流現象，渦流現象是因為推擠之後釋放出來的低濃度流場，同時是受重力、濃度及熱板溫度效應所影響由於質之擴散效應使低濃度之邊界層逐漸向下移，而高濃度邊界層向上堆積之影響，推擠到下方穩定狀態而形成渦流現象。順著底板流至熱板溫度邊界層內遇熱膨脹密度變小，沿熱板竄升如此形成一個循環如此形成一個循環，而在熱板與上隔板左方處及冷板與下隔板右方處形成二個流動緩慢的區域。

加入質傳後，溫度效應使靠近熱板附近的流體受熱上升，而濃度效應卻使熱板（陰極）處，流體濃度變大而下降，因熱效應較強，熱板附近高濃度流體受熱上升至頂板而轉向上隔板左方。當流體轉向離開熱板時，溫度效應減弱，部份高濃度流體向上流動至頂板，形成一個流動緩慢的區域。同樣地，冷板附近低濃度流體因低溫效應較強而向下流動，到達底板後再轉向下隔板右方移動，但一離開冷板後溫度效應減弱，部份低溫低濃度流體往上竄升，形成一個流動緩慢的區域，而密度的大小形成了層化現象，層化現象分為三個層次，上層為密度最小，最輕，浮在最上層，下層為密度最大，最重，沉積在最下層，中間層密度介於最上層與最下層之間，最上層流體受到冷板溫度邊界層內影響，開始收縮，密度變大，沿冷板向下流動到底板，逐漸向上推擠使得中間層範圍縮小如圖 5 所示。

### 3. 開口隔板熱質逆向流場觀察

當硫酸銅溶液為 0.069M， $Gr_m = 6.15 \times 10^6$ 、 $Gr_t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N = -7.53$  逆向之情況下，即左板為熱板（陽極），右板為冷板（陰極）。

於純熱時當溫度場達到穩定時，溫度效應所造成的流向，在溫度邊界層內，熱板附近流體受熱向上運動，到達頂板後往上隔板左方移動，在熱板和上隔板間區域累積熱而輕的流體，流體有停滯的傾向，在此區域的流體溫度變化不大，形成一個熱堆積（thermal stratified region）區域又順著上隔板左方流向，上隔板下方開口處堆積在開口處，主流體沿上隔板右方流向頂板再到冷板溫度邊界層內遇冷收縮密度變大，沿冷板向下流動到底板，部份較輕的流體沿著下隔板右方竄升至開口處，冷與熱之流體兩者之間堆積在上隔板下方及下隔板上方之開口處，高溫流體沿上隔板右方流向頂板，低溫流體沿下隔板左方流向底板時有渦卷現象，渦流現象是因為推擠之後釋放出來的低濃度流場，同時受重力、濃度及熱板溫度效應所影響，並由於質之擴散效應使低濃度之邊界層逐漸向下移而高濃度邊界層向上堆積之影響，推擠到下方穩定狀態而形成渦流現象。順著底板流至熱板溫度邊界層內遇熱膨脹密度變小，沿熱板竄升如此形成一個循環，而在熱板與上隔板

上方處及冷板與下隔板下方處形成二個流動緩慢的區域。

加入質傳後，如圖 6(a)溫度效應使靠近熱板附近的流體受熱上升，而濃度效應卻使熱板（陽極）處，流體濃度變大而上升，因熱效應較強，熱板附近高濃度流體受熱上升至頂板而轉向上隔板左方。當流體離開熱板溫度邊界層時，溫度效應減弱，部份高濃度流體以 finger 的型態往上竄升至頂板，形成一個流動緩慢的區域。同樣地，冷板附近低濃度流體因熱效應較弱而往下流，到達底板後再轉向下隔板右方，但一離開冷板後溫度效應減弱，部份低溫低濃度流體以 finger 的型態向下流動，形成一個流動緩慢的區域，如圖 6(b) (c)所示。

#### 4. 開口隔板熱質順向流場觀察

當硫酸銅溶液為 0.069M， $Gr_m = 6.15 \times 10^6$ 、 $Gr_t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N=7.53$  順向之情況下，即左板為熱板（陰極），右板為冷板（陽極）。

於純熱時當溫度場達到穩定時，溫度效應所造成的流向，在溫度邊界層內，熱板附近流體受熱向上運動，到達頂板後往隔板移動，在熱板和隔板間區域累積熱而輕的流體，流體有停滯的傾向，在此區域的流體溫度變化不大，形成一個熱堆積（thermal stratified region）區域，主流順著上隔板左方，流向上隔板下方開口處，堆積在開口處，並沿上隔板右方流向頂板再到冷板溫度邊界層內遇冷收縮密度變大，沿冷板向下流動到底板，部份較輕的流體沿著下隔板右方竄升至開口處，冷與熱之流體兩者之間堆積在上隔板下方及下隔板上方之開口處，高溫流體沿上隔板右方流向頂板，低溫流體沿下隔板左方流向底板時有渦流現象，渦流現象是因為推擠之後釋放出來的低濃度流場，同時是受重力，濃度及熱板溫度效應所影響由於質之擴散效應使低濃度之邊界層逐漸向下移，而高濃度邊界層向上堆積之影響，推擠到下方穩定狀態而形成渦流現象。順著底板流至熱板溫度邊界層內遇熱膨脹密度變小，沿熱板竄升如此形成一個循環如此形成一個循環，而在熱板與上隔板左方處及冷板與下隔板右方處形成二個流動緩慢的區域。

加入質傳後，如圖 7(a)溫度效應使靠近熱板附近的流體受熱上升，而濃度效應卻使熱板（陰極）處，流體濃度變大而下降，因熱效應較強，熱板附近高濃度流體受熱上升至頂板而轉向上隔板左方。當流體轉向離開熱板時，溫度效應減弱，部份高濃度流體向上流動至頂板，形成一個流動緩慢的區域。同樣地，冷板附近低濃度流體因低溫效應較強而向下流動，到達底板後再轉向下隔板右方移動，但一離開冷板後溫度效應減弱，部份低溫低濃度流體往上竄升，形成一個流動緩慢的區域，而密度的大小形成了層化現象，層化現象分為三個層次，上層為密度最小，最輕，浮在最上層，下層為密度最大，最重，沉積在最下層，中間層密度介於最上層與最下層之間，最上層流體受到冷板溫度邊界層內影響，開始收縮，密度變大，沿冷板向下流動到底板，逐漸向上推擠使得中間層範圍縮小，如圖 7(b) (c)所示。

#### 5. 開口隔板（低濃度）熱質逆向流場觀察

當硫酸銅溶液為 0.05M， $Gr_m = 4.36 \times 10^6$ 、 $Gr_t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N = -5.34$  逆向之情況下，即左板為熱板（陽極），右板為冷板（陰極）。

於純熱時當溫度場達到穩定時，溫度效應所造成的流向，在溫度邊界層內，熱板附近流體受熱向上運動，到達頂板後往上隔板左方移動，在熱板和上隔板間區域累積熱而輕的流體，流體有停滯的傾向，在此區域的流體溫度變化不大，形成一個熱堆積（thermal stratified region）區域又順著上隔板左方流向，上隔板下方開口處堆積在開口處，主流體沿上隔板右方流向頂板再到冷板溫度邊界層內遇冷收縮密度變大，沿冷板向下流動到底板，部份較輕的流體沿著下隔板右方竄升至開口處，冷與熱之流體兩者之間堆積在上隔板下方及下隔板上方之開口處，高溫流體沿上隔板右方流向頂板，低溫流體沿下隔板左方流向底板時有渦流現象，渦流現象是因為推擠之後釋放出來的低濃度流場，同時受重力、濃度及熱板溫度效應所影響，並由於質之擴散效應使低濃度之邊界層逐漸向下移而高濃度邊界層向上堆積之影響，推擠到下方穩定狀態而形成渦流現象。順著底板流至熱板溫度邊界層內遇熱膨脹密度變小，沿熱板竄升如此形成一個循環，而在熱板與上隔板上方處及冷板與下隔板下方處形成二個流動緩慢的區域。

加入質傳後，溫度效應使靠近熱板附近的流體受熱上升，而濃度效應卻使熱板（陽極）處，流體濃度變大而上升，因熱效應較強，熱板附近高濃度流體受熱上升至頂板而轉向上隔板左方。當流體離開熱板溫度邊界層時，溫度效應減弱，部份高濃度流體以 finger 的型態往上竄升至頂板，形成一個流動緩慢的區域。同樣地，冷板附近低濃度流體因熱效應較弱而往下流，到達底板後再轉向下隔板右方，但一離開冷板後溫度效應減弱，部份低溫低濃度流體以 finger 的型態向下流動，形成一個流動緩慢的區域如圖 8 所示。

#### 6. 開口隔板（低濃度）熱質順向流場觀察

當硫酸銅溶液為 0.05M， $Gr_m = 4.36 \times 10^6$ 、 $Gr_t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N = 5.34$  順向之情況下，即左板為熱板（陰極），右板為冷板（陽極）

於純熱時當溫度場達到穩定時，溫度效應所造成的流向，在溫度邊界層內，熱板附近流體受熱向上運動，到達頂板後往隔板移動，在熱板和隔板間區域累積熱而輕的流體，流體有停滯的傾向，在此區域的流體溫度變化不大，形成一個熱堆積（thermal stratified region）區域，主流順著上隔板左方，流向上隔板下方開口處，堆積在開口處，並沿上隔板右方流向頂板再到冷板溫度邊界層內遇冷收縮密度變大，沿冷板向下流動到底板，部份較輕的流體沿著下隔板右方竄升至開口處，冷與熱之流體兩者之間堆積在上隔板下方及下隔板上方之開口處，高溫流體沿上隔板右方流向頂板，低溫流體沿下隔板左方流向底板時有渦流現象，渦流現象是因為推擠之後釋放出來的低濃度流場，同時是受重力，濃度及熱板溫度效應所影響由於質之擴散效應使低濃度之邊界層逐漸向下移，而高濃度邊界層向上堆積之影響，推擠到下方穩定狀態而形成渦流現象。順著底板流至熱板溫度邊界層內遇熱膨脹密度變小，沿熱板竄升如此形成一個循環如此形成一個循環，而在熱板與上隔板左方處及冷板與下隔板右方處形成二個流動緩慢的區域。

加入質傳後，溫度效應使靠近熱板附近的流體受熱上升，而濃度效應卻使熱板（陰極）處，流體濃度變大而下降，因熱效應較強，熱板附近高濃度流體受熱上升至頂板而轉向上隔板左方。當流體轉向離開熱板時，溫度效應減弱，部份高濃度流體向上流動至頂板，形成一個流動緩慢的區域。同樣地，冷板附近低濃度流體因低溫效應較強而向下流動，到達底板後再轉向下隔板右方移動，但一離開冷板後溫度效應減弱，部份低溫低濃度流體往上竄升，形成一個流動緩慢的區域，而密度的大小形成了層化現象，層化現象分為三個層次，上層為密度最小，最輕，浮在最上層，下層為密度最大，最重，沉積在最下層，中間層密度介於最上層與最下層之間，最上層流體受到冷板溫度邊界層內影響，開始收縮，密度變大，沿冷板向下流動到底板，逐漸向上推擠使得中間層範圍縮小如圖 9 所示。

### 7. 中開口隔板熱質逆向流場觀察

當硫酸銅溶液為 0.069M， $Gr,m = 6.15 \times 10^6$ 、 $Gr,t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N = -7.53$  逆向之情況下，即左板為熱板（陽極），右板為冷板（陰極）

於純熱時當溫度場達到穩定時，溫度效應所造成的流向，在溫度邊界層內，熱板附近流體受熱向上運動，到達頂板後往上隔板左方移動，在熱板和上隔板間區域累積熱而輕的流體，流體有停滯的傾向，在此區域的流體溫度變化不大，形成一個熱堆積（thermal stratified region）區域又順著上隔板左方流向，上隔板下方開口處堆積在開口處，主流體沿上隔板右方流向頂板再到冷板溫度邊界層內遇冷收縮密度變大，沿冷板向下流動到底板，部份較輕的流體沿著下隔板右方竄升至開口處，冷與熱之流體兩者之間堆積在上隔板下方及下隔板上方之開口處，高溫流體沿上隔板右方流向頂板，低溫流體沿下隔板左方流向底板時有渦卷現象，渦流現象是因為推擠之後釋放出來的淡濃度流場，同時受重力、濃度及熱板溫度效應所影響，並由於質之擴散效應使低濃度之邊界層逐漸向下移而高濃度邊界層向上堆積之影響，推擠到下方穩定狀態而形成渦流現象。順著底板流至熱板溫度邊界層內遇熱膨脹密度變小，沿熱板竄升如此形成一個循環，而在熱板與上隔板上方處及冷板與下隔板下方處形成二個流動緩慢的區域。

加入質傳後如圖 10 (a) 所示，溫度效應使靠近熱板附近的流體受熱上升，而濃度效應卻使熱板（陽極）處，流體濃度變大而上升，因熱效應較強，熱板附近高濃度流體受熱上升至頂板而轉向上隔板左方。當流體離開熱板溫度邊界層時，溫度效應減弱，部份高濃度流體以 finger 的型態往上竄升至頂板，形成一個流動緩慢的區域。同樣地，冷板附近低濃度流體因熱效應較弱而往下流，到達底板後再轉向下隔板右方，但一離開冷板後溫度效應減弱，部份低溫低濃度流體以 finger 的型態向下流動，形成一個流動緩慢的區域如圖 10 (b)、10 (c) 所示。

### 8. 中開口隔板熱質順向流場觀察

當硫酸銅溶液為 0.069M， $Gr,m = 6.15 \times 10^6$ 、 $Gr,t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N = 7.53$  順向之情況下，

即左板為熱板（陰極），右板為冷板（陽極）

於純熱時當溫度場達到穩定時因尚未加入質傳，溫度效應所造成的流向與在逆向流場相同，最後在熱板與上隔板左方處及冷板與下隔板右方處形成二個流動緩慢的區域。

加入質傳後如圖 11 (a) 所示，溫度效應使靠近熱板附近的流體受熱上升，而濃度效應卻使熱板（陰極）處，流體濃度變大而下降，因熱效應較強，熱板附近高濃度流體受熱上升至頂板而轉向上隔板左方。當流體轉向離開熱板時，溫度效應減弱，部份高濃度流體向上流動至頂板，形成一個流動緩慢的區域。同樣地，冷板附近低濃度流體因低溫效應較強而向下流動，到達底板後再轉向下隔板右方移動，但一離開冷板後溫度效應減弱，部份低溫低濃度流體往上竄升，形成一個流動緩慢的區域，而密度的大小形成了層化現象，層化現象分為三個層次，上層為密度最小，最輕，浮在最上層，下層為密度最大，最重，沉積在最下層，中間層密度介於最上層與最下層之間，最上層流體受到冷板溫度邊界層內影響，開始收縮，密度變大，沿冷板向下流動到底板，逐漸向上推擠使得中間層範圍縮小如圖 11 (b) 11 (c) 所示。

## (二) 溫度量測

溫度量測使用 T type 熱電偶計伸入流場內量取  $x/W=0.125$ 、 $0.5$ 、 $0.875$ ， $z/H=0.5$  處 y 方向之溫度分佈，

### 1. 上、下高隔板熱質逆向流場觀察

當硫酸銅溶液為  $0.05M$ ， $Gr_m = 4.36 \times 10^6$ 、 $Gr_t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N = -5.34$  逆向之情況下，即左板為熱板（陽極），右板為冷板（陰極）。如圖 12 當純溫度梯度達到熱穩定時，流場的溫度分佈大致隨著高度的增高而增加，由於在隔板和熱板之間的區域累積了熱而輕的流體，形成了熱堆積區，當高度升至隔板高度時，溫度會產生很大的變動。在隔板右邊的區域（ $\bar{x}=0.875$ ），溫度分佈隨高度成線性增加，並無跳躍性的增加。此由於隔板右邊的區域並無流體的堆積，熱量的傳遞是靠對流效應。而在熱堆積區的熱量傳遞是靠熱傳導效應，整個區域的溫度接近熱板的溫度。

加入質傳後，陽極解離，陰極吸附，底部開始堆積高濃度流體，底部流體的溫度略高於本體溶液的溫度，整體的溫度分佈大致隨著高度的增高而增加。在熱堆積區，由於質熱作用方向相反而帶動流體的對流運動，熱量的傳遞不單靠傳導效應，整個熱堆積區域的溫度不再接近熱板溫度。在  $\bar{x}=0.125$  時，頂板溫度分佈跨到熱堆積區時有很大的變動。由  $t=60min$  之  $0.6$  無因次溫度上升至  $t=180min$  無因次溫度之  $0.8$ ，而非平穩的遞增。

### 2. 上、下高隔板熱質順向流場觀察

當硫酸銅溶液為  $0.05M$ ， $Gr_m = 4.36 \times 10^6$ 、 $Gr_t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N = 5.34$  順向之情況下，即左板為熱板（陰極），右板為冷板（陽極）如圖 13 當純溫度梯度達到熱穩定時，流場

的溫度分佈大致隨著高度的增高而增加，由於在隔板和熱板之間的區域累積了熱而輕的流體，形成了熱堆積區，當高度升至隔板高度時，溫度會產生很大的變動。在隔板右邊的區域 ( $\bar{x}=0.875$ )，溫度分佈隨高度成線性增加，並無跳躍性的增加。此由於隔板右邊的區域並無流體的堆積，熱量的傳遞是靠對流效應。而在熱堆積區的熱量傳遞是靠熱傳導效應，整個區域的溫度接近熱板的溫度。

加入質傳後，陽極解離，陰極吸附，底部開始堆積高濃度流體，底部流體的溫度略高於本體溶液的溫度，整體的溫度分佈大致隨著高度的增高而增加。在熱堆積區，由於質熱作用方向相反而帶動流體的對流運動，熱量的傳遞不單靠傳導效應，整個熱堆積區域的溫度不再接近熱板溫度。在  $\bar{x}=0.125$  時，頂板溫度分佈跨到熱堆積區時有很大的變動。由  $t=60\text{min}$  之 0.6 無因次溫度上升至  $t=180\text{min}$  無因次溫度之 0.8，而非平穩的遞增。

### 3. 開口隔板熱質逆向流場觀察

當硫酸銅溶液為 0.69M， $Gr_m = 6.15 \times 10^6$ 、 $Gr_t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N = -7.53$  逆向之情況下，即左板為熱板（陽極），右板為冷板（陰極）。如圖 14 當純溫度梯度達到熱穩定時，流場的溫度分佈大致隨著高度的增高而增加，由於在隔板和熱板之間的區域累積了熱而輕的流體，形成了熱堆積區，當高度升至隔板高度時，溫度會產生很大的變動。在隔板右邊的區域 ( $\bar{x}=0.875$ )，溫度分佈隨高度成線性增加，並無跳躍性的增加。此由於隔板右邊的區域並無流體的堆積，熱量的傳遞是靠對流效應。而在熱堆積區的熱量傳遞是靠熱傳導效應，整個區域的溫度接近熱板的溫度。加入質傳後，陽極解離，陰極吸附，在熱堆積區，由於質熱作用方向相反而帶動流體的對流運動，熱量的傳遞不單靠傳導效應，整個熱堆積區域的溫度不再接近熱板溫度。在  $\bar{x}=0.125$  時，頂板溫度分佈跨到熱堆積區時有很大的變動。由  $t=60\text{min}$  之 0.6 無因次溫度上升至  $t=180\text{min}$  無因次溫度之 0.8，而非平穩的遞增。

### 4. 開口隔板熱質順向流場觀察

當硫酸銅溶液為 0.069M， $Gr_m = 6.15 \times 10^6$ 、 $Gr_t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N = 7.53$  順向之情況下，即左板為熱板（陰極），右板為冷板（陽極）如圖 15 當純溫度梯度達到熱穩定時，流場的溫度分佈大致隨著高度的增高而增加，由於在隔板和熱板之間的區域累積了熱而輕的流體，形成了熱堆積區，當高度升至隔板高度時，溫度會產生很大的變動。在隔板右邊的區域 ( $\bar{x}=0.875$ )，溫度分佈隨高度成線性增加，並無跳躍性的增加。此由於隔板右邊的區域並無流體的堆積，熱量的傳遞是靠對流效應。而在熱堆積區的熱量傳遞是靠熱傳導效應，整個區域的溫度接近熱板的溫度。加入質傳後，陽極解離，陰極吸附，在熱堆積區，由於質熱作用方向相反而帶動流體的對流運動，熱量的傳遞不單靠傳導效應，整個熱堆積區域的溫度不再接近熱板溫度。在  $\bar{x}=0.125$  時，頂板溫度分佈跨到熱堆積區時有很大的變動。由  $t=60\text{min}$  之 0.6 無因次溫度上升至  $t=180\text{min}$  無因次溫度之 0.8，而非平穩的遞增。

兩者之比較：(逆向流場)

左熱板與上隔板之區域最高溫=0.84 比右冷板與上隔板之區域最高溫=0.62 來的高，右冷板與下隔板之區域最低溫=0.165 且有堆積現象，比左熱板與下隔板之區域最低溫=0.36 來的低，最低溫可由圖 15 圖形上曲線分佈得到結果，有明顯之區別。

$\bar{x}=0.5$  時因剛好在上下隔板位置所以單獨量測開口位置溫度變化隔板左側開口溫度為，最高溫=30.8 度，計算後=0.715，最低溫=26.5 度，計算後=0.5。隔板右側開口溫度為，最高溫=24.9 度，計算後=0.42，最低溫=21.5 度，計算後=0.25。可由圖 15 圖形上曲線分佈得到結果，有明顯跳開的現象。且溫度不隨時間改變而有所變化。

#### 5. 開口隔板 (低濃度) 熱質逆向流場觀察

當硫酸銅溶液為 0.05M， $Gr_m = 4.36 \times 10^6$ 、 $Gr_t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N = -5.34$  逆向之情況下，即左板為熱板 (陽極)，右板為冷板 (陰極)。如圖 16 當純溫度梯度達到熱穩定時，流場的溫度分佈大致隨著高度的增高而增加，由於在隔板和熱板之間的區域累積了熱而輕的流體，形成了熱堆積區，當高度升至隔板高度時，溫度會產生很大的變動。在隔板右邊的區域 ( $\bar{x}=0.875$ )，溫度分佈隨高度成線性增加，並無跳躍性的增加。此由於隔板右邊的區域並無流體的堆積，熱量的傳遞是靠對流效應。而在熱堆積區的熱量傳遞是靠熱傳導效應，整個區域的溫度接近熱板的溫度。

加入質傳後，陽極解離，陰極吸附，底部開始堆積高濃度流體，底部流體的溫度略高於本體溶液的溫度，整體的溫度分佈大致隨著高度的增高而增加。在熱堆積區，由於質熱作用方向相反而帶動流體的對流運動，熱量的傳遞不單靠傳導效應，整個熱堆積區域的溫度不再接近熱板溫度。在  $\bar{x}=0.125$  時，頂板溫度分佈跨到熱堆積區時有很大的變動。由  $t=60\text{min}$  之 0.6 無因次溫度上升至  $t=180\text{min}$  無因次溫度之 0.8，而非平穩的遞增。

#### 6. 開口隔板 (低濃度) 熱質順向流場觀察

當硫酸銅溶液為 0.05M， $Gr_m = 4.36 \times 10^6$ 、 $Gr_t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N = 5.34$  順向之情況下，即左板為熱板 (陰極)，右板為冷板 (陽極) 如圖 17 當純溫度梯度達到熱穩定時，流場的溫度分佈大致隨著高度的增高而增加，由於在隔板和熱板之間的區域累積了熱而輕的流體，形成了熱堆積區，當高度升至隔板高度時，溫度會產生很大的變動。在隔板右邊的區域 ( $\bar{x}=0.875$ )，溫度分佈隨高度成線性增加，並無跳躍性的增加。此由於隔板右邊的區域並無流體的堆積，熱量的傳遞是靠對流效應。而在熱堆積區的熱量傳遞是靠熱傳導效應，整個區域的溫度接近熱板的溫度。

加入質傳後，陽極解離，陰極吸附，底部開始堆積高濃度流體，底部流體的溫度略高於本體溶液的溫度，整體的溫度分佈大致隨著高度的增高而增加。在熱堆積區，由於質熱作用方向相反而帶動流體的對流運動，熱量的傳遞不單靠傳導效應，整個熱堆積區域的溫度不再接近熱板溫度。在  $\bar{x}=0.125$  時，頂板溫度分佈跨到熱堆積區時有很大的變動。

動。由  $t=60\text{min}$  之 0.6 無因次溫度上升至  $t=180\text{min}$  無因次溫度之 0.8，而非平穩的遞增。

### 7. 中開口隔板熱質逆向流場觀察

當硫酸銅溶液為 0.069M， $Gr,m = 6.15 \times 10^6$ 、 $Gr,t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N = -7.53$  逆向之情況下，即左板為熱板（陽極），右板為冷板（陰極）。純熱情況下，當純溫度梯度達到熱穩定時，流場的溫度分佈大致隨著高度的增高而增加，由於在上隔板和熱板之間的區域累積了熱而輕的流體，形成了熱堆積區，當高度升在開口高度時，溫度會產生很大的變動。隔板右邊的區域 ( $x/W = 0.875$ )，溫度分佈隨高度成線性增加，並無跳躍性的增加。此由於上隔板右邊的區域並無流體的堆積，熱量的傳遞是靠對流效應。而在上隔板左邊熱堆積區的熱量傳遞是靠熱傳導效應，整個區域的溫度接近熱板的溫度。

加入質傳後，陽極解離，陰極吸附，由於質熱逆向於下隔板與熱板間整體的溫度分佈大致隨著高度的增高而增加，由 0.4 無因次溫度上升至無因次溫度之 0.5。在下隔板與冷板間  $x/W = 0.875$  時整體的溫度分佈大致隨著高度的增高而增加，由 0.2 之無因次溫度上升至 0.4 無因次溫度。在  $x/W = 0.125$  時，頂板溫度分佈跨到熱堆積區時有很大的變動。由於質熱作用方向相反而帶動流體的對流運動，熱量的傳遞不單靠傳導效應，整個熱板區域的溫度接近 0.9 無因次溫度。 $x/W = 0.5$  時因剛好在上下隔板位置所以單獨量測開口位置溫度變化可由圖 18 圖形上曲線分佈得到結果在缺口位置有明顯跳開的現象。且溫度不隨時間改變而有所變化 ( $x/W = 0.125$  位置停在 0.4 無因次溫度， $x/W = 0.875$  位置停留在 0.6 無因次溫度)。

### 8. 中開口隔板熱質順向流場觀察

當硫酸銅溶液為 0.069M， $Gr,m = 6.15 \times 10^6$ 、 $Gr,t = 8.16 \times 10^5$ 、 $N = 7.53$  順向之情況下，即左板為熱板（陰極），右板為冷板（陽極）純熱情況下，當純溫度梯度達到熱穩定時，上隔板和熱板之間的區域累積了熱而輕的流體，形成了熱堆積區，當高度升在開口高度時，溫度會產生很大的變動。隔板右邊的區域 ( $x/W = 0.875$ )，溫度分佈隨高度成線性增加，並無跳躍性的增加。而在熱堆積區的熱量傳遞是靠熱傳導效應，整個區域的溫度接近熱板的溫度。

加入質傳後，陽極解離，陰極吸附，底部開始堆積高濃度流體，底部流體的溫度略高於本體溶液的溫度，整體的溫度分佈大約在 0.4 之無因次溫度。在熱堆積區，由於質熱作用方向相同而帶動流體的對流運動，熱量的傳遞不單靠傳導效應，整個熱堆積區域的溫度接近熱板溫度。在  $x/W = 0.125$  時，開口溫度分佈跨到頂板熱堆積區時有很大的變動。由  $t=60\text{min}$  之 0.4 無因次溫度上升至  $t=180\text{min}$  無因次溫度之 0.8，而非平穩的遞增。 $x/W = 0.5$  時因剛好在上下隔板開口位置所以單獨量測開口位置溫度變化可由圖 19 圖形上曲線分佈得到結果，亦有明顯跳開的現象，( $x/W = 0.125$  位置停在 0.4 無因次溫度， $x/W = 0.875$  位置停留在 0.7 無因次溫度)。

### (三) 質傳遞率分析

以固定  $Gr_m$  及不同開口和隔板位置來觀察  $Sh$  與  $Gr_t$  之關係，其結果如圖 20、圖 21、圖 22、圖 23 所示， $Sh$  會隨著  $Gr_t$  的增加而增加。原因是  $Gr_t$  增加時，兩板的溫度差增加，流體的溫度效應增加，流體的對流效應加強。加入質傳均會帶動質量的傳遞，故會造成質傳遞率的增加。

## 四、結論

根據前面的實驗結果可以得到以下結論

### (一) 流場型態：

1. 逆向：封閉盒內具上，下隔板例子中，頂板與上隔板左方形成熱堆積及底板與下隔板右方形成冷堆積，為兩個流動緩慢區域。加入質傳後亦會形成高濃度或低濃度質邊界層之堆積，冷板和熱板附近不斷有 finger type flow 產生。
2. 順向：上，下隔板中，頂板與上隔板左方形成熱堆積及底板與下隔板右方形成冷堆積，為兩個流動緩慢區域。加入質傳後亦會形成高濃度或低濃度質邊界層之層化現象。層化現象分為三個層次，上層為密度最小，最輕，浮在最上層，下層為密度最大，最重，沉積在最下層，中間層密度介於最上層與最下層之間，最上層流體受到冷板溫度邊界層內影響，開始收縮，密度變大，沿冷板向下流動到底板，逐漸向上推擠使得中間層範圍縮小。

### (二) 溫度分佈：

純溫度梯度達到穩定後，除熱堆積及冷堆積外，溫度分佈大致隨  $y$  而呈等溫直線，整體無因次溫度隨溫度增加而上升。左熱板與上隔板左方之區域最高溫比右冷板與上隔板右方之區域最高溫來的高，右冷板與下隔板右方之區域最低溫且有堆積現象，比左熱板與下隔板左方之區域最低溫來的低，單獨量測開口位置溫度變化，可由圖 14、圖 15 圖形上曲線分佈得到結果，有明顯跳開的現象。

### (三) 濃度分佈：

在質熱逆向實驗中，底板與熱板區域的濃度值最高，頂板與冷板區域的濃度值最低，整體濃度值隨時間增加而降低。質熱順向實驗中，頂板與冷板區域的濃度值最高，底板與熱板區域的濃度值最低。整體濃度值隨時間增加而降低。

### (四) 質傳遞率分析：

固定  $Gr_m$  來觀察  $Sh$  與  $Gr_t$  之關係， $Sh$  會隨著  $Gr_t$  的增加而增加。在逆向實驗中，因質熱作用方向相反，造成質量傳遞率減少。在順向實驗中，發現堆積現象會降低質傳

遞率。

### 參考資料

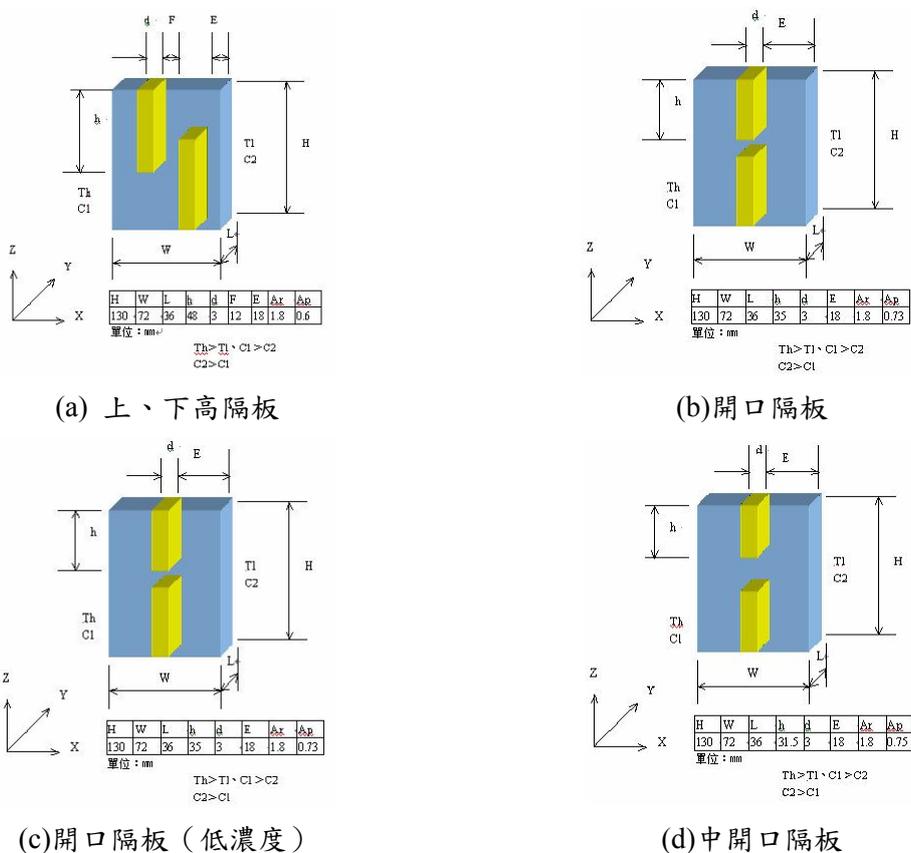
1. W.G. Brown and K.R. Solvason "Natural Convection Through Rectangular Openings in Partitions -1" Int.J.Heat and Mass Transfer,Vol.5,pp.859-868.1962
2. M.W. Nansteel and R. Greif , " Natural Convection in Undivided and Partially Divided Rectangular Enclosures" Journal of Heat Transfer,Vol.103,pp.623-629,1981
3. M.W. Nansteel and R. Greif , "An Investigation of Natural Convection in Enclosures with Two and Three Dimensional Partitions" Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol.27, No.4, pp.561-571. 1984
4. N.N. Lin, and Adrian Bejan, "Natural Convection in a Partially Divided Enclosure" Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol.26,No.12,pp.1867-1878.1983
5. K.H. Winters, "The Effect of Conducting Division on the Natural Convection of Air in a Rectangular Cavity with Heated Side Walls" ASME Paper No.82-TH69,1982
6. S.V. Patankar, "Natural convection in a Partitioned Cubic Enclosure", Journal of Heat Transfer Vol.114, pp.410-417,1992
7. C.H. Chou, "Investigation of Natural Convection in Partially Divided Rectangular Enclosures Both With and without an Opening in the Partition Plate Measurement Results" Journal of Heat Transfer, Vol.122. pp.648-652,1990
8. D.A Olson, L.R. Glicksman and H.M. Ferm "Steady-State Natural Convection in Empty and Partitioned Enclosures at High Rayleigh Numbers" , Journal of Heat Transfer, Vol.112, pp.640-647,1990
9. E. Zimmerman and S. Acharya, "Free Convection Heat Transfer in a Partially Divided Vertical Enclosure with Conducting End Wall" Int. J. of Heat Mass Transfer, Vol.30, pp.319-331,1987
10. S. Acharya and R. Jetli "Heat Transfer Due to Buoyancy in a Partially Divided Square Box" Int. J. of Heat Mass Transfer, Vol.33, No.5, pp.931-942,1990
11. Y. Kamotani , L.W. Wang, S. Ostrach and H.D. Jiang, "Experimental Study of Natural Convection in Shallow Enclosures with Horizontal Temperature and Concentration Gradients" , Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.28, No.1 pp. 165-173, 1985
12. H. Stommel, A. B. Arons and D. Blanchard, "An Oceanographical Curiosity the Perpetual Salt Fountain", Deep. Sea Res.15,275-280,1956
13. C. F. Chen, D. G. Briggs and R. A. Wirtz, "Stability of Thermal Convection in a Salinity Gradient Due to Lateral Heating", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.14, pp. 57-65,1971
14. J. Lee, M.T. Hyun and K.W. Kim, "Confined Natural Convection Due to Lateral Heating in a Stably Stratified Solution", Int. J. Heat and Mass Transfer, 31,No.10, 1969-1977, 1990
15. K. Kamakura, "Experimental and Numerical Analyses of Double Diffusive Natural Convection Heated and Cooled from Opposing Vertical Walls with an Initial Condition of a

Vertically Linear Concentration Gradient" Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 36, pp.2125-2134,1993

16. J. Chang, T.F. Lin and C.H. Chien, "Unsteady Thermosolutal Opposing Convection of A Lique-Water Mixture in a Square Cavity-I, Flow Formation and Heat and Mass Transfer Characteristics" Int. J. of Heat and Mass Transfer Vol.36, No.5, pp.1315-1331,1993

17. J.A. Weaver, and R. Viskanta, "Natural Convection in Binary Gases Due to Horizontal Thermal and Solutal Gradients", J. Heat Transfer, Vol.133 pp.141-147,1991

圖表



左、右板為極板且為熱板、冷板，上、下板壓克力板，中間置隔板

圖 1.本實驗矩形密閉盒之邊界條件

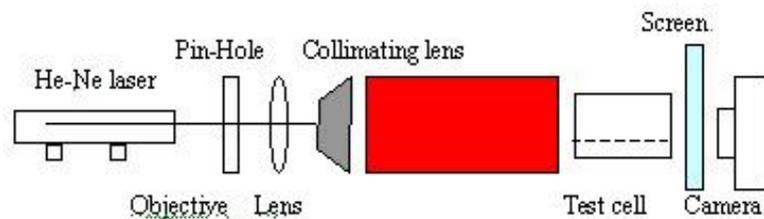


圖2.雷射光暗影法設備圖

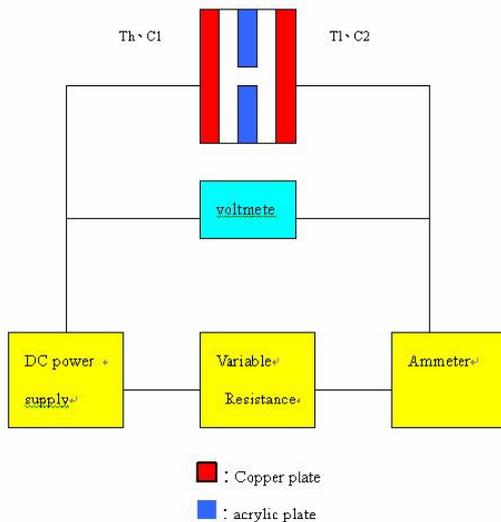
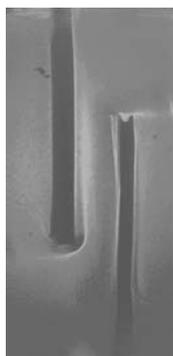


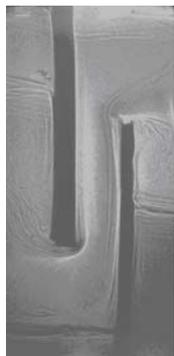
圖3.實驗裝置之設備電路圖



(a)



(b)

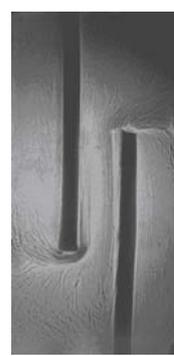


(c)

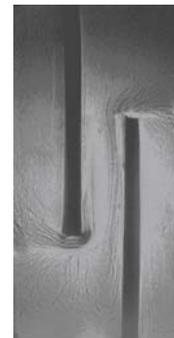
圖 4 上、下高隔板熱質逆向流場觀察  $Ar=1.8, Ap=0.6, Gr,m=6.15 \times 10^6$  (a) $t=10min$ (b)  $t=120min$ (c)  $t=180min$



(a)

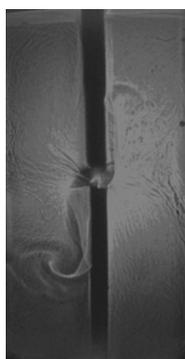


(b)

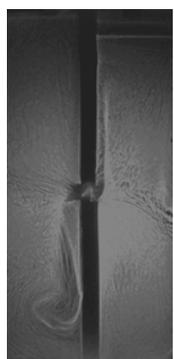


(c)

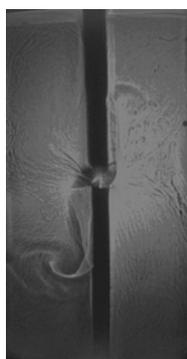
圖 5 上、下高隔板熱質順向流場觀察  $Ar=1.8, Ap=0.6, Gr,m=6.15 \times 10^6$  (a)  $t=10min$ (b)  $t=120min$ (c)  $t=180min$



(a)



(b)

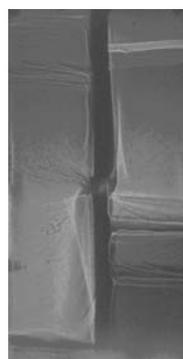


(c)

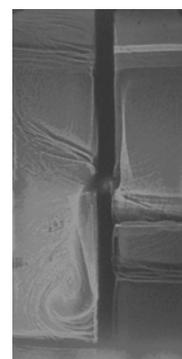
圖 6 開口隔板熱質逆向流場觀察  $Ar=1.8, Ap=0.73, Gr,m=6.15 \times 10^6$  (a) $t=10min$  (b) $t=120min$  (c) $t=180min$



(a)

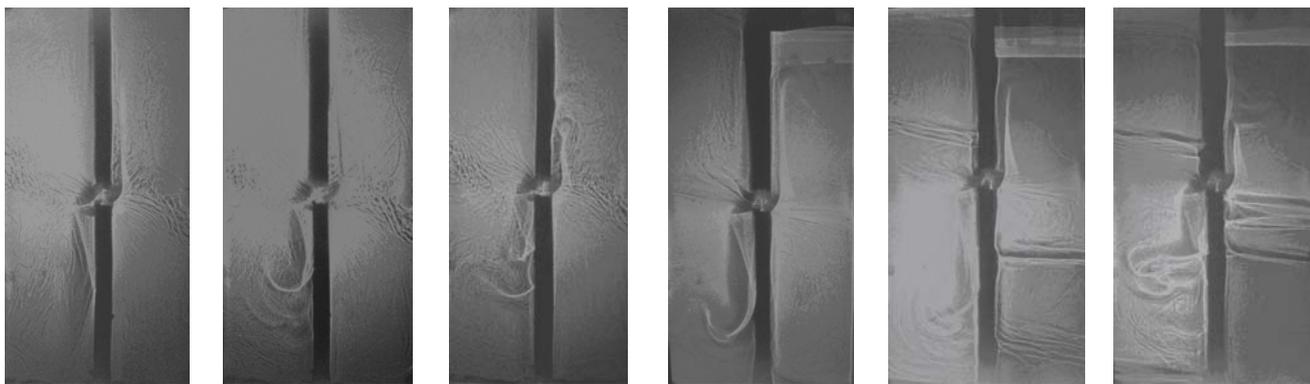


(b)



(c)

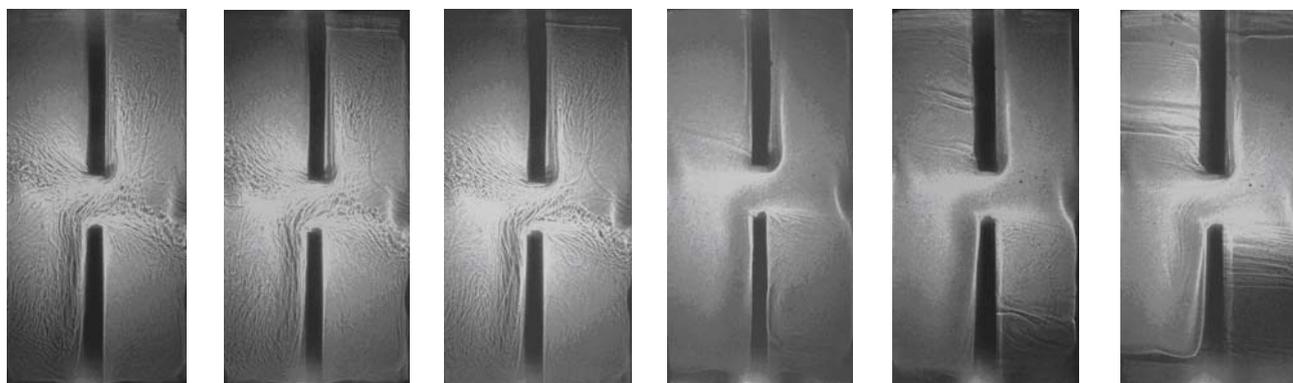
圖 7 開口隔板熱質順向流場觀察  $Ar=1.8, Ap=0.73, Gr,m=6.15 \times 10^6$  (a) $t=10min$  (b) $t=120min$  (c) $t=180min$



(a) (b) (c) (a) (b) (c)

圖 8 開口隔板 (低濃度) 熱質逆向流場觀察  $Ar=1.8, Ap=0.73, Gr,m=4.36 \times 10^6$  (a)t=10min (b)t=120min (c)t=180min

圖 9 開口隔板 (低濃度) 熱質順向流場觀察  $Ar=1.8, Ap=0.73, Gr,m=4.36 \times 10^6$  (a)t=10min (b)t=120min (c)t=180min



(a) (b) (c) (a) (b) (c)

圖 10. 中開口隔板熱質逆向流場觀察  $Ar=1.8, Ap=0.75, Gr,m=6.15 \times 10^6$  (a)t=10min (b)t=120min (c)t=180min

圖 11. 中開口隔板熱質順向流場觀察  $Ar=1.8, Ap=0.75, Gr,m=6.15 \times 10^6$  (a)t=10min (b)t=120min (c)t=180min

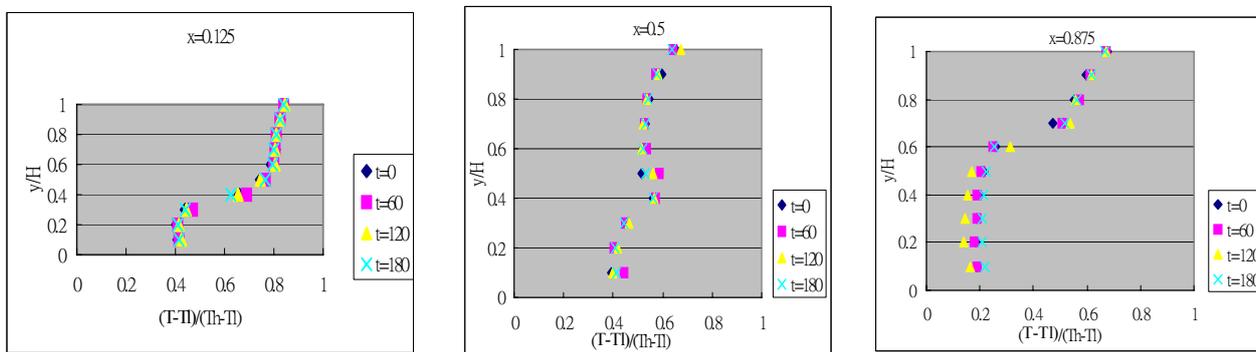


圖 12. 上、下高隔板熱質逆向溫度分布  $Ar=1.8, Ap=0.6, Gr,m=4.36 \times 10^6, Gr,t = 8.16 \times 10^5$

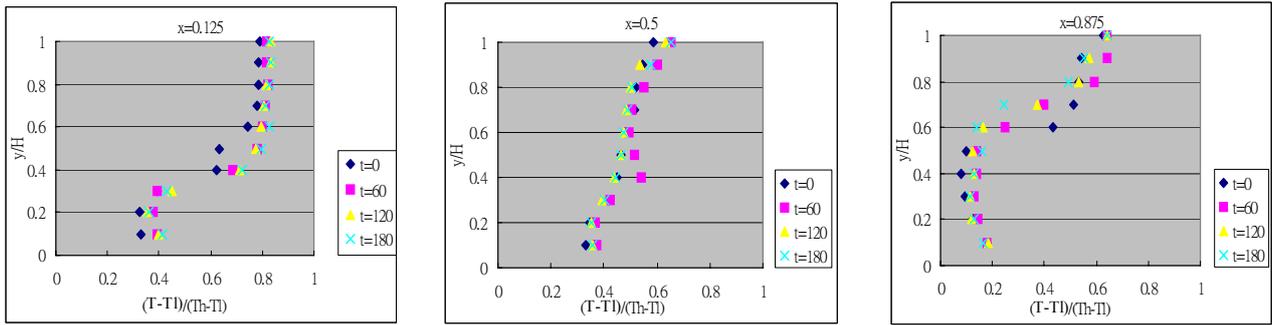


圖 13. 上、下高隔板熱質順向溫度分布  $Ar=1.8, Ap=0.6, Gr,m=4.36 \times 10^6$

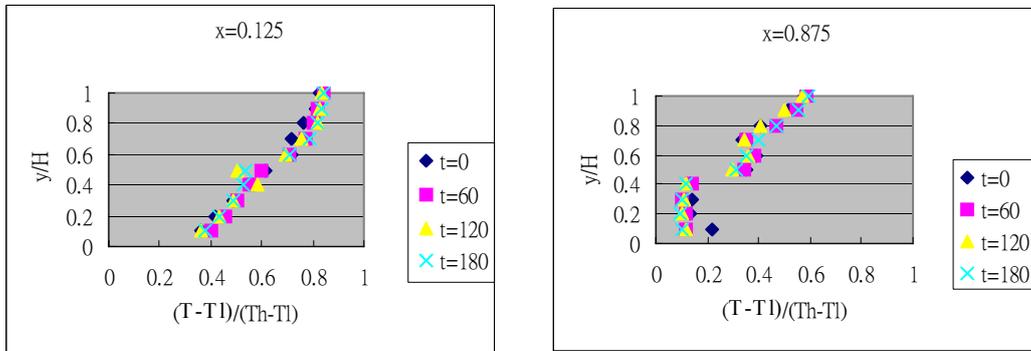


圖 14. 開口隔板熱質逆向溫度分布  $Ar=1.8, Ap=0.73, Gr,m=6.15 \times 10^6$

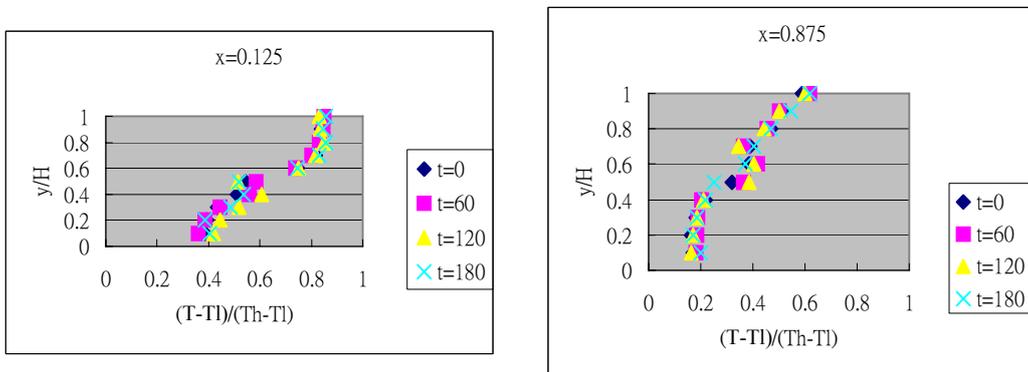


圖 15. 開口隔板熱質順向溫度分布  $Ar=1.8, Ap=0.73, Gr,m=6.15 \times 10^6$

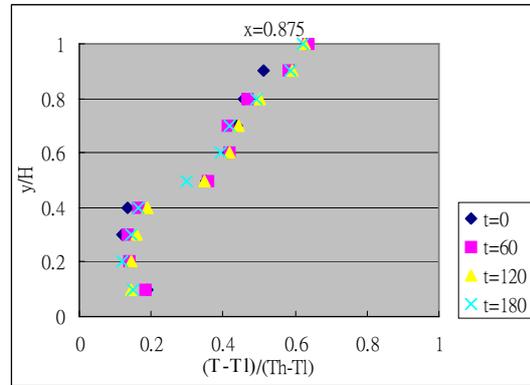
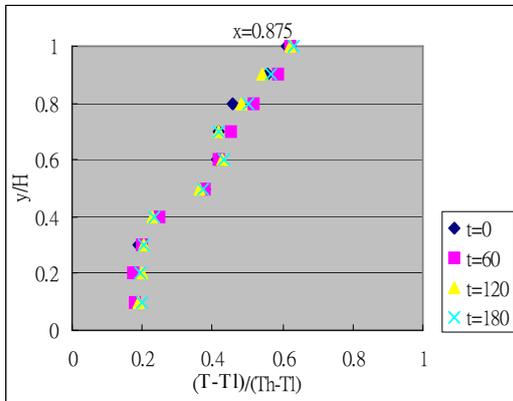
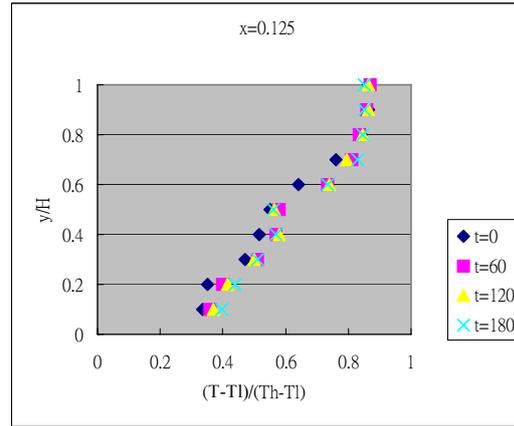
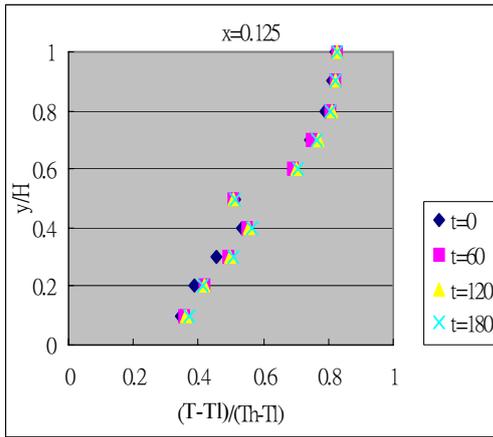


圖 16. 開口隔板（低濃度）熱質逆向溫度分布  $Ar=1.8, Ap=0.73, Gr, m=4.36 \times 10^6$

圖 17. 開口隔板（低濃度）熱質順向溫度分布  $Ar=1.8, Ap=0.73, Gr, m=4.36 \times 10^6$

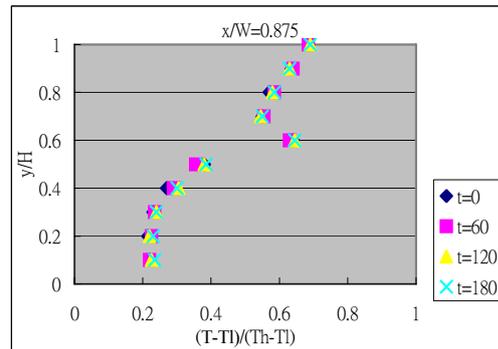
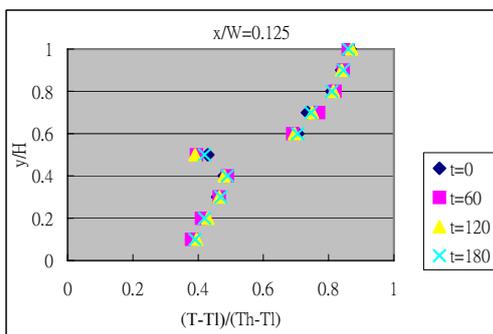


圖 18. 中開口隔板熱質逆向溫度分布  $Ar=1.8, Ap=0.75, Gr, m=4.36 \times 10^6$

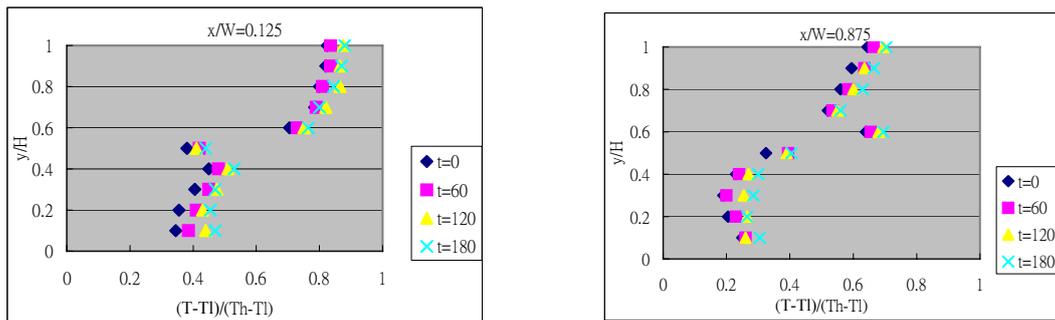


圖 19. 中開口隔板熱質順向溫度分布  $Ar=1.8, Ap=0.75, Gr,m=4.36 \times 10^6$

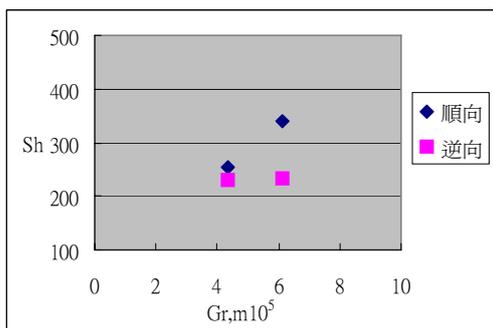


圖 20 上、下高隔板 Correlation of Sh with Gr,m ( $Gr,t=8.16 \times 10^5$ )

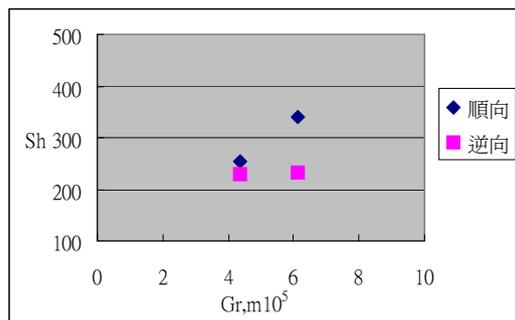


圖 21 開口隔板 Correlation of Sh with Gr,m ( $Gr,t=8.16 \times 10^5$ )

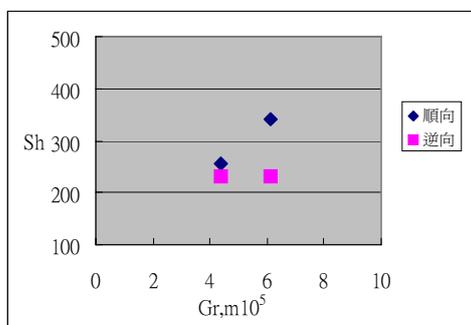


圖 22 開口隔板 (低濃度) Correlation of Sh with Gr,m ( $Gr,t=8.16 \times 10^5$ )

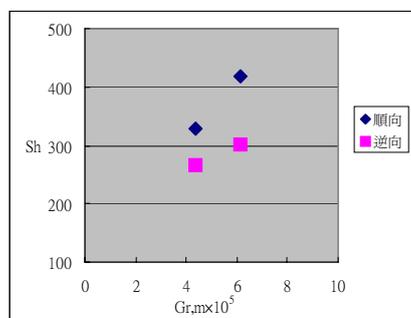


圖 23 中開口隔板 Correlation of Sh with Gr,m ( $Gr,t=8.16 \times 10^5$ )

符號說明

- Ap : 開口比  $(H-h)/H$
- Gr,t : 溫度的 Grashof 數
- Gr,m : 濃度的 Grashof 數
- N : 濃度差與溫度差造成之浮力比
- Pr : Prandtl 數  $(\nu/\alpha)$
- Sc : Schmidt 數  $(\nu/D)$