

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

兩刷式散熱裝置之研究

An investigation for wiper type heat dissipation device

計畫編號：NSC 89-2212-E-009-072

執行期限：90年8月1日至91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

計畫參與人員：童寶鴻、呂世傑 國立交通大學機械工程學系

一、中文摘要

本研究在高溫壁面上裝設往復運動薄塊以提高壁面熱傳效率，由於其運動模式與雨刷類似，因此命名為兩刷式散熱裝置。本期計劃以實驗方法探討兩刷式散熱裝置。首先以流場可視化技術觀察流場結構，與第一期數值結果相比較。此外，藉由量測壁面溫度，推算壁面平均紐塞數，探討兩刷式散熱裝置對壁面熱傳的影響。根據實驗結果，當噴流雷諾數相同時，薄塊移動速度對壁面總平均紐塞數的增加率有極大的影響，薄塊移動速度愈大壁面熱傳量愈高。

關鍵詞：兩刷式、流場可視化、電子元件散熱

Abstract

This study sets a block moving back and forth on the heated surface under the slot jet, and this device is named as "wiper type heat dissipation device." The flow field is observed by the flow visualization technology, and the heat transfer rate of the heated surface is measured by the surface temperature. Compared with the numerical results, the flow and thermal fields are similar, and the wiper type heat dissipation device increases the heat transfer rate effectively. As a result, the heat transfer rate increases with the moving velocity of the device.

Keywords: Wiper type, Flow visualization, Electronic cooling

二、緣由與目的

高溫壁面的熱傳問題在工業界中十分常見，空氣強制對流具有結構簡單、冷卻劑容易取得、成本低等特性，因而被廣泛的應用在電子設備的散熱。然而，近年來隨著工業技術的進步與半導體元件的快速發展，現今電子元件的發熱量已經達到每平方公分數十瓦的等級[1]，此時熱傳量已經達到空氣強制對流的極限，因此如何提升空氣強制對流的熱傳效能成為研究的主要課題之一。

提升熱傳的方法可分為主動式與被動式兩類[2]。Yeh[3]與 Sathe[4]將近年來有關電子元件和產

品散熱方法的文獻加以整理比較，舉凡現有增加熱傳效率的方法，對熱傳的增益均受到限制。因此，本計劃提出一種主動式提升熱傳方法，在高溫壁面上裝設薄塊，此薄塊直接與高溫壁面接觸，並且在高溫壁面上往復運動，由於其運動模式與雨刷類似，因此命名為兩刷式散熱裝置。受薄塊運動的影響，壁面上的邊界層不斷的被移除與重新生成，可大幅度地提高熱傳效率。在薄塊移動的同時，流體受薄塊的牽引，使溫度與速度場隨物體移動而變化，此流體與移動物體間相互影響的問題，被歸類於動態的移動邊界問題(moving boundary problem)。

本研究分兩年執行。第一年進行數值模擬，以 Arbitrary Lagrangian-Eulerian 法配合葛拉金有限元素法計算噴流中兩刷式散熱裝置對流場與溫度場的影響，並分析兩刷式散熱裝置對噴流高溫壁面熱傳的增益。由數值計算結果得知，兩刷式散熱機構破壞壁面邊界層且牽引低溫流體流向高溫壁面，大幅提高壁面熱傳效率[5]。同時，隨著掃動速度加快，壁面的熱傳量也隨之增加。

本研究第二年計劃則以實驗方法探討兩刷式散熱裝置。首先以流場可視化技術觀察流場結構，與數值結果相對照，驗證數值求得之流場特性。此外，藉由量測壁面溫度，推算壁面平均紐塞數，探討兩刷式散熱裝置對壁面熱傳的影響。根據實驗結果，當噴流雷諾數相同時，薄塊移動速度對壁面總平均紐塞數的增加率有極大的影響，薄塊移動速度愈大壁面熱傳量愈高，與數值結果相符。同時，薄塊移動速度與噴流流速之比值較大時(即無因次薄塊移動速度值較大)，則壁面總平均紐塞數增幅較大。

三、實驗設備

實驗設備如圖 1 所示。分為高溫壁面加熱裝置與溫度量測裝置、風洞與風速量測裝置、往復運動機構、流場可視化設備與個人電腦等五部分。

3.1 高溫壁面加熱裝置與溫度量測裝置

壁面以加熱片加熱。每片加熱片上均黏有熱電偶以量測溫度及計算熱損失。將五塊加熱片緊密結合為加熱區塊，塞於 400mm*240mm 且厚度為 6mm 之組合巴沙木板，即成為噴流之衝擊面。同時，在加熱區塊後方貼附厚度為 23mm 之絕熱泡棉，減低熱量由加熱區塊背面散失。

為準確的控制每個加熱片之輸入熱量，將每一加熱片分別連接至 Good Will 公司之 GPC-3030D 型電源供應器，並且利用 TES 公司之 2201 型三用電表量測電壓與電流值。

溫度量測部分則利用 OMEGA 公司 TT-J-36 熱電偶(線徑為 0.005inch 之 J-TYPE 熱電偶)，配合 Yokogawa 公司之 DA-2500E 型資料擷取器，讀取各熱電偶溫度值。以 National Instruments 公司之 AT-GPIB 資料擷取卡，將熱電偶所量得的溫度值讀入個人電腦進行分析。

3.2 風洞與風速量測裝置

考慮實驗規劃，將風洞設計為開放吹氣型低速風洞。關於流速量測的部分，採用恆溫式熱線風速計，利用單絲熱線探針，與貝思公司 HW110 型熱線測速儀。結合 Advantech 公司 PCL-812PG 資料擷取卡，將數據讀入個人電腦進行分析。

3.3 往復運動機構

往復運動機構如圖 2 所示，包括薄塊、傳動組件，配合步進馬達及驅動器，即可使薄塊進行往復運動。各部分別詳述如下：

(A) 薄塊

薄塊(2)為一長 300mm 寬 6mm 厚 2mm 之壓克力棒。在薄塊上的適當位置加上兩滾珠軸承，配合位於壁面上的簡單滑道(4)，使薄塊在壁面上往復直線運動。此外，在薄塊兩邊貼上略超過薄塊寬度的膠布，使薄塊藉由膠布與高溫壁面保持接觸。同時在衝擊面上加裝兩組擋塊(3)，確保薄塊運動距離為實驗的設定值。

(B) 傳動組件

傳動組件包括圖 2 之(5)、(6)、(7)與(8)等四部分。(5)為一適當寬度的壓克力板，主要功用在於固定薄塊，同時配合一組簡單滑道，確保薄塊可與壁面接觸，並且在壁面上往復運動。(6)為一組簡單的軸承，藉由螺桿(7)與馬達接頭(8)固定，即可將馬達的小角度旋轉運動轉為薄塊的往復運動。

為達成薄塊往復運動的目的，馬達必須提供小角度的反覆旋轉給予傳動機構，因此選用 SANYO DENKI 公司的 103H8223-5111 型步進馬達。同時利用個人電腦，透過 RS-232 介面與 Parker 公司的 OEM650 型馬達控制器相連結，以控制步進馬達。

3.4 流場可視化設備

在流場可視化技術中，放煙線法(Smoke-Wire Techniques)是最常見，也最簡單的方法。歷經許多的改進與發展，目前放煙線法的技術已經非常成熟，可有效的觀測流場[7]。因此，採用放煙線法觀測往復式散熱機構之流場結構。

本計劃採用競輪企業之白脂油為煙油，並以 TAMIYA 公司 TS-6 號黑色無亮光漆將背景噴黑。同時利用 SONY 公司之 CCD-TR8 型 Hi8 電視攝錄機拍攝動態流場，結合個人電腦與 UPMOST 公司的 UPG-400A 型影像擷取卡，將電視攝錄機拍攝之動態影像，擷取出靜態的定格畫面。

四、實驗步驟

主要的實驗步驟可分為四部份：噴流流速量測、啟動往復運動、流場可視化與壁面溫度量測。

4.1 噴流流速量測

關於流速量測，採用恆溫式熱線風速計量測流體的流速，以個人電腦讀取熱線之電壓值，取一個小時的電壓平均值求得風速值，進而換算成噴流雷諾數。噴流雷諾數定義如下：

$$Re_j = \frac{v_0 W}{\epsilon} \quad (1)$$

式中的 v_0 為噴流入口流速

W 為噴口寬度

ϵ 為動黏滯係數(kinematic viscosity)

由反覆調整風洞風扇的電壓值，使噴流雷諾數值符合實驗所需。

4.2 啟動往復運動

本計劃以解析度為 36000 步/轉之步進馬達帶動往復運動機構。如圖 2，馬達轉軸與薄塊移動平面的距離為螺桿(7)長度 200mm。由於薄塊往復運動距離為 20mm，經過反覆測試，測得馬達正反轉所需步數約為 600 步，換算為馬達轉動角度為 6 度(600 步/36000 步 * 360 度)。根據三角函數關係，此時的薄塊運動距離約為 20.93mm ($2 * 200mm * \sin(6 / 2)$)。因此在衝擊板上加裝兩組擋塊(3)，限制薄塊運動範圍為實驗所需的 20mm。

關於薄塊的移動速度可由下式求得：

$$v_b = R S \cos \theta \quad (2)$$

式中之 v_b 表示薄塊瞬時移動速度

R 表示薄塊移動距離與馬達轉軸的距離(200mm)

S 為馬達轉速

θ 為馬達與鉛直線間夾角

由於往復運動距離短，致使馬達僅轉動 600 步後即停止轉動，此時馬達轉速約為 0.516 轉/秒，並且仍處在加速的階段(如圖 3(a))。因此，薄塊在加熱區塊上不是等速度運動，此時的薄塊移動速度與位置關係如圖 3(b)，圖中的虛線區分加熱片的位置，兩條曲線分別為薄塊由左方向右與由右向左運動時的薄塊速度與位置關係曲線。由於薄塊在加熱片 3 上方時的運動速度約為薄塊平均速度，因此，改為利用計算薄塊連續往復運動 24000 次所需的時間與移動的總距離，估算薄塊的平均運動速度。

此外，受馬達旋轉的影響，薄塊移動平面會上下擺動。由上述角度與長度關係，計算出薄塊移動平面上下擺動振幅為 0.27mm ($200mm * (1 - \cos(6 / 2))$)。因此設計圖 2 中的滑道(4)與薄塊上較寬的膠布，將薄塊限制在衝擊面上，且藉由膠布與壁面保持接觸。由於擺動振幅較小，故可忽略薄塊移動平面的上下擺動。

4.3 流場可視化

將噴流雷諾數與薄塊往復運動速度調整為所需數值後，利用放煙線法觀測壁面附近的流場變化，進行流場可視化研究。實驗步驟如下：

- 利用靜態的流場(薄塊靜止不動)調校攝影機的焦距，並將之固定，以免拍攝動態流場時產生失焦現象。
- 啟動往復運動機構並開始錄影。
- 在放煙裝置的鎳鉻絲上，塗上適量的煙油，且將鎳鉻絲置於欲觀測流場位置之上游。
- 加熱鎳鉻絲開始放煙。
- 啟動個人電腦，以相關軟硬體處理動態影像。

4.4 壁面溫度量測

本計劃藉由量測高溫壁面溫度，進而計算壁面平均紐塞數，評估噴流中往復式熱傳機構對熱傳效能的影響。每塊加熱片上都有五條熱電偶線，其中兩條熱電偶預埋在鎳鉻絲中，兩條熱電偶黏貼於銅片背面，另一條熱電偶則黏貼在巴沙木背面。以個人電腦每 30 秒求各量測點的平均溫度，連續量測一小時，觀察其溫度變化。溫度量測的實驗步驟如下：

- 將噴流雷諾數調整至實驗所需數值，並待流場穩定後，啟動電源供應器使加熱片溫度上升。
- 個別調整各加熱片的輸入功率，使各加熱片表面溫度皆相同。
- 啟動往復運動機構，開始紀錄各監測點溫度。
- 每一小時觀測溫度變化，並調整電源供應器，使加熱片表面保持等溫。若加熱片表面溫度趨於穩定，則實驗完成，開始分析數據。反之，繼續實驗。

首先，將加熱片依序命名為第 1 至 5 塊加熱片，則噴口正對加熱片 3。表 1 為噴流雷諾數 515，無因次薄塊移動速度 1.12 時，薄塊開始往復運動後第 16 小時，第 2 至 4 塊加熱片平均溫度與輸入電壓、電流值。以下利用表 1 中加熱片 3 之數據說明壁面紐塞數與熱量散失的估算方法。

在忽略輻射的前提下，當熱量加入加熱片後，有三種傳遞的途徑，一為經由表面的銅箔傳入流場，此為計算紐塞數的主要部分。另一為經由巴沙木向外散逸，第三部份為加熱片彼此間的熱傳。

(A) 輸入加熱片的能量

以電源供應器提供加熱片能量，輸入能量為輸入電壓與電流乘積

$$Q_{in} = \bar{v} * I = 1.629 * 0.076 = 0.124 \text{ W} \quad (3)$$

(B) 散逸的能量

熱量由巴沙木背面散逸

$$Q_{lose} = k_b \times A_b \times dT / dy \quad (4)$$

式中的 k_b 為巴沙木熱傳導係數 $= 0.055 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

A_b 為巴沙木面積 $= 0.04 * 0.01 = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

dT 為巴沙木兩端溫度差
 $= 34.89 - 33.33 = 1.56 \text{ }^\circ\text{C}$

dy 為巴沙木厚度 $= 0.003 \text{ m}$

因此 $Q_{lose} = 0.011 \text{ W}$

(C) 加熱片間熱傳

在薄塊開始運動後，加熱片表面溫度變化劇烈，不易將各加熱片表面溫度調為完全相同，

使得加熱片間有些微的熱傳量。

由加熱片 3 傳至加熱片 2 之能量

$$Q_{3 \rightarrow 2} = k_m \times A_m \times dT / dx \quad (5)$$

式中的 k_m 為加熱片間 AB 膠熱傳導係數

$= 0.189 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

A_m 為加熱片接觸面積

$= 0.04 * 0.008 = 3.2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

dT 為兩加熱片溫度差

$= 34.84 - 34.70 = 0.14 \text{ }^\circ\text{C}$

dy 為 AB 膠厚度約 0.001 m

因此 $Q_{3 \rightarrow 2} = 0.008 \text{ W}$

同理，由加熱片 3 傳至加熱片 4 之能量

$$Q_{3 \rightarrow 4} = 0.004 \text{ W}$$

(D) 壁面紐塞數估算

由加熱片傳入流場的能量為

$$Q_{air} = Q_{in} - Q_{lose} - Q_{3 \rightarrow 2} - Q_{3 \rightarrow 4} \\ = 0.124 - 0.011 - 0.008 - 0.004 = 0.101 \text{ W}$$

根據紐塞數定義

$$Nu_w = \frac{h \cdot w}{k} = \frac{Q_{air}}{A_h \Delta T} \cdot \frac{W}{k} \quad (6)$$

式中的 A_h 為加熱片表面積

$= 0.04 * 0.01 = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

ΔT 為加熱片表面與噴流進口溫度差
 $= 34.84 - 24.02 = 10.82 \text{ }^\circ\text{C}$

W 為噴口寬度 $= 0.02 \text{ m}$

k 為空氣熱傳導係數 $= 0.025 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

因此，加熱片 3 之紐塞數為

$$Nu_{w3} = \frac{Q_{air}}{A_h \Delta T} \cdot \frac{W}{k} = \frac{0.101 \times 0.02}{4 \times 10^{-4} \times 10.819 \times 0.025} = 18.67$$

五、結果討論

本研究以實驗方法探討往復運動機構對噴流熱流場的影響。首先，將無薄塊運動時的高溫壁面紐塞數與相關文獻比較。在流場方面，以放煙線法進行流場可視化，並與第一年之數值結果比較。在熱場方面，量測壁面溫度並估算壁面紐塞數，研究往復式運動機構對噴流熱傳效率的提昇。

5.1 靜態結果比較

參考 Chou 與 Hung [8] 及 Heiningen [9] 的相關文獻，得知有限空間噴流衝擊系統中，停滯點紐塞數與噴流雷諾數關係如下

$$Nu_s = C Re_j^{0.5} (H/W)^{-0.17} \quad (7)$$

式中 C 為常數 $= 0.574$

Re_j 為噴流雷諾數

H 為噴口至衝擊面距離

W 為噴口寬

將第一年之數值結果與第二年期之實驗值，與 Chou 與 Hung [8] 及 Heiningen [9] 等結果，根據式(7)描繪於圖 4，圖中兩虛線表示誤差值在 $\pm 15\%$ 的範圍。如圖所示，不論數值與實驗的結果，均落在 15% 的誤差線範圍以內，有相當的準確性。

5.2 流場可視化

圖 5(a)至(e)為噴流雷諾數 1054(噴流流速 0.764m/s),無因次薄塊移動速度為 0.284(薄塊移動速度 0.217m/s)時之流場煙線圖;(1)至(5)則為噴流雷諾數 1000,無因次薄塊移動速度 0.5 時,數值計算所得速度向量圖;兩組圖中,薄塊的位置相對應。噴流雷諾數與無因次薄塊移動速度定義如前。

如圖 5(a)所示,薄塊由高溫壁面的右端點開始向左運動,對應數值結果之(1)圖。放煙線的位置為薄塊右方的白色三角符號頂點處,但不在數值結果之速度向量圖的範圍內(約在 $X=0.9$ 處)。圖 5(1)中薄塊向左運動,薄塊後方的流體有部分向左流動。因此,圖 5(a)中薄塊後方可觀察到向左延伸的煙線,顯示薄塊後方的流體受薄塊牽引而向左流動填補薄塊運動產生的空間。

圖 5(b)與(c)為薄塊向左運動時的煙線圖,對應數值結果為(2)與(3)圖,受電視錄影機為每秒 30 格的影響,煙線與速度向量圖無法完全對應。由於薄塊向左運動,薄塊後方的流體受牽引亦向左流動,並且在薄塊後方形成迴流區(如圖 5(2))。相較於煙線圖,煙粒子向左流動,在迴流區的位置形成一團白色煙霧,與數值結果相類似。隨著薄塊持續向左運動,迴流區亦逐漸發展,同時有少部分流體自薄塊後方越過薄塊流向薄塊前方(圖 5(3))。在圖 5(c)的煙線圖中,也觀察到流體流向高溫壁面與翻越薄塊的現象。

當薄塊運動到左端點後,即改向右方運動,表示於圖 5 之(d)與(e)及(4)與(5)。由數值結果得知,當薄塊開始反向運動時,薄塊後方將生成新的迴流區,同時有邊界層生成;而薄塊前方的流體相互推擠,產生另一迴流區與向上流動的流體。觀察煙線圖,此時煙線位置距離薄塊較遠,並位於噴流的下游,故煙粒子不能進入薄塊前方的區域,導致無法觀察薄塊前方的流場特性。然而,薄塊後方仍可觀察到迴流區,主要是因為在薄塊向左運動時,少數煙粒子受薄塊牽引而越過薄塊,因此在薄塊後方仍能見到淡淡的白煙。隨著薄塊持續向右運動,薄塊後方的煙粒子逐漸散去,因此在圖 5(e)中,無法觀測薄塊後方的流場結構。

5.3 壁面溫度量測

圖 6 為實驗噴流雷諾數 515、無因次薄塊移動速度 1.12,與數值計算之噴流雷諾數 500、無因次薄塊移動速度 1.0 時,壁面總平均紐塞數與時間關係圖。總平均紐塞數定義如前。圖中帶有菱形資料點的實線為加熱片 3 在薄塊往復運動下的每一小時之總平均紐塞數值(由各點溫度值之一小時平均值,利用 4.4 節中紐塞數值的求法求得);實線為無薄塊時加熱片 3 之穩態總平均紐塞數值;虛線為數值計算噴流雷諾數 500、無因次薄塊移動速度 1.0 時,壁面無薄塊情況下的壁面總平均紐塞數值;長短虛線則為薄塊移動數週期後,壁面總平均紐塞數之穩定值。因薄塊移動速度較大,壁面的總平均紐塞數值持續變動,大約在開始往復運動 13 小時後才趨於穩定,因此取第 13 至 16 小時總平均紐塞數的平均值(17.97),與穩態總平均紐塞數值(10.92)比較,顯示往復運動可提升 65%之熱傳量。比較數值

與實驗結果,實驗之噴流雷諾數為 515 高於數值計算值 500,因此實驗之穩態紐塞數值略高於計算值。同時,實驗之無因次薄塊移動速度較數值計算時的無因次薄塊移動速度大,使得實驗之總平均紐塞數增加幅度大於數值計算的總平均紐塞數增幅(10.45 增加至 15.77,增幅 51%)。

圖 7 所示為實驗噴流雷諾數 722、無因次薄塊移動速度 0.45,與數值計算噴流雷諾數 750、無因次薄塊移動速度 0.5 時,壁面總平均紐塞數與時間關係圖。圖中的線條所表示的總平均紐塞數值變化情況,可對應於圖 6。如圖所示,總平均紐塞數值約在第 18 小時後開始趨於穩定值,較穩態值增加 30%(14.62 增至 18.98)。至於數值結果,總平均紐塞數由穩態值 14.87 增加至 20.12,增加幅度為 35%。由於數值計算之雷諾數與無因次薄塊移動速度值皆比實驗部分大,因此穩態總平均紐塞數值與其增加幅度易大於實驗值。此外,相較於圖 6,由於噴流雷諾數提高,圖 7 之總平均紐塞數高於圖 5-10 中的總平均紐塞數值。然而,因為無因次薄塊移動速度降低,總平均紐塞數的增加幅度縮小為 30%左右。

圖 8 則為實驗噴流雷諾數 1054、無因次薄塊移動速度 0.31,數值計算之噴流雷諾數 1000、無因次薄塊移動速度 0.5 時,壁面總平均紐塞數與時間關係圖。受限於步進馬達反覆小角度轉動引起的振動問題,薄塊移動速度無法隨噴流雷諾數增加而增加,亦即當噴流雷諾數上升時,無因次薄塊移動速度持續下降,導致實驗部分的總平均紐塞數增加幅度也逐漸下降。比較圖 6、圖 7 與圖 8,實驗部分的紐塞數增加幅度由 65%、30%降至 20%左右。

此外,比較數值噴流雷諾數 1000 無因次薄塊移動速度 0.5,與實驗噴流雷諾數 1054 無因次薄塊移動速度 0.26 之結果,數值部分總平均紐塞數由 15.54 增至 21.87,增加幅度為 41%;實驗部分總平均紐塞數則由 16.74 增至 20.11,增加幅度僅為 20%。由此得知,當往復運動速度較快時,噴流熱傳效率有較大的提昇,與第一年期數值計算所得之結論相符。

另一方面,比較噴流雷諾數 1000 無因次薄塊移動速度 0.5 與噴流雷諾數 500 無因次薄塊移動速度 1.0 的兩組數值結果,若將無因次薄塊移動速度值換算成有因次值,則兩者之有因次薄塊移動速度相同。當噴流雷諾數由 1000 減為 500,對應的總平均紐塞數增加幅度反而由 41%增為 51%。可見,在薄塊以相同的移動速度於噴流高溫壁面上往復運動時,若薄塊移動速度與噴流流速之比值較大(即無因次薄塊移動速度值較大),則壁面總平均紐塞數增幅較大。

六、結論

本章利用實驗方法,探討噴流中往復運動機制對熱流場的影響。以流場可視化技術觀察流場結構,並且量測壁面溫度,進而計算壁面紐塞數值,比較不同噴流雷諾數與無因次薄塊移動速度對熱

傳的增益。獲得以下結論：

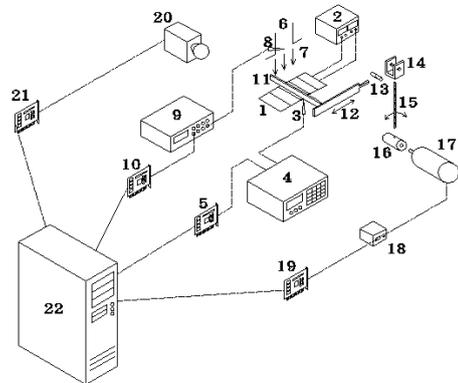
1. 由流場可視化結果，可觀察到邊界層生成與薄塊牽引流體流向高溫壁面等現象，與數值結果相似。同時，根據數值計算結果，薄塊的往復運動會在現流場中的相關位置產生迴流區，皆在流場煙線圖中得到定性的證實。
2. 比較數值與實驗結果得知，當噴流雷諾數相同時，薄塊移動速度對壁面總平均紐塞數的增加率有極大的影響。以噴流雷諾數 1000 左右時為例，若無因次薄塊移動速度由 0.5 減少至 0.26，壁面總平均紐塞數的增加率將由 41% 大幅下降至 20%。
3. 當薄塊以相同的移動速度在噴流高溫壁面上往復運動時，若薄塊移動速度與噴流流速之比值較大(即無因次薄塊移動速度值較大)，則壁面總平均紐塞數增幅較大。

七、參考資料

- [1] K.C. Cheng and G.J. Hwang, "Forced and Mixed Convection Cooling in Computers," Cooling Techniques for Computers, Win Aung, Hemisphere, Washington D.C., 1991.
- [2] A.E. Bergles, "Recent Development in Convective Heat-transfer Augmentation," Applied Mechanics Reviews, vol.26, pp.675-682, 1973.
- [3] L.T. Yeh, "Review of Heat Transfer Technologies in electronic equipment," Journal of Electronic Packaging, vol.117, pp.333-339, 1995.
- [4] S. Sathe and B. Sammakia, "A Review of Recent Developments in Some Practical Aspects of Air-cooled Electronic Packages," Journal of Heat Transfer, vol.120, pp.830-839, 1998.
- [5] W.S. Fu, K.N. Wang and W.W. Ke, "An Investigation of a Block Moving Back and Forth on a Heat Plate under a Slot Jet", International Journal of Heat and Mass Transfer, vol.44, pp.2609-2619, 2001.
- [6] W.S. Fu and K.N. Wang, "An Investigation of a Block Moving Back and Forth on a Heat Plate under a Slot Jet, Part II (the Effect of Block Moving Distance and Vacant Distance)", in press by International Journal of Heat and Mass Transfer.
- [7] W.J. Yang, Handbook of Flow Visualization, Hemisphere, Washington D.C., 1989.
- [8] Y.J. Chou and Y.H. Hung, "Impingement Cooling of an Isothermally Heated Surface with a Confined Slot Jet", Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME, vol.116, pp.479-482, 1994.
- [9] A.R.P. van Heiningen, A.S. Mujumdar and W.J.M. Douglas, "Numerical Prediction of the Flow Field and Impingement Heat Transfer Caused by a Laminar Slot Jet", Journal of Heat Transfer- Transactions of the ASME, vol.98, pp.654-658, 1976.

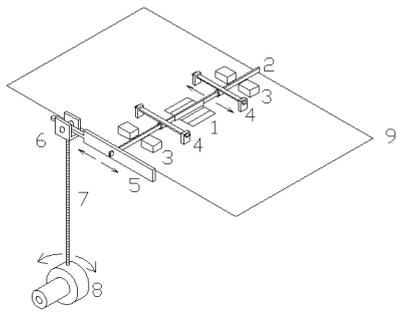
表 1 噴流雷諾數 515，無因次薄塊移動速度 1.12，薄塊移動第 16 小時，加熱片 2 至 4 之溫度平均值與輸入電壓、電流值

| | 表面溫度(°C) | 中心溫度(°C) | 巴沙木背面溫度(°C) | 室溫(°C) | 輸入電壓(V) | 輸入電流(A) |
|-------|----------|----------|-------------|--------|---------|---------|
| 加熱片 2 | 34.70 | 35.23 | 33.42 | 24.02 | 1.970 | 0.072 |
| 加熱片 3 | 34.84 | 34.89 | 33.33 | 24.02 | 1.629 | 0.076 |
| 加熱片 4 | 34.76 | 35.56 | 33.31 | 24.02 | 1.973 | 0.081 |



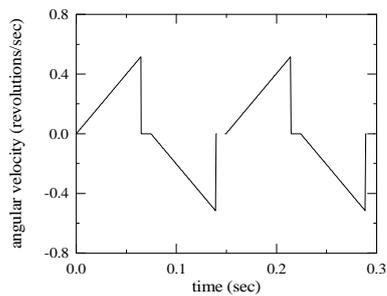
- | | |
|-----------|----------------|
| (1) 加熱銅片 | (10) 資料擷取卡 |
| (2) 電源供應器 | (11) 薄塊 |
| (3) 熱電偶 | (12)~(16) 傳動組件 |
| (4) 資料擷取器 | (17) 步進馬達 |
| (5) 資料擷取卡 | (18) 馬達驅動器 |
| (6) 風洞 | (19) 介面卡 |
| (7) 噴流 | (20) 電視攝錄機 |
| (8) 熱線 | (21) 影像擷取卡 |
| (9) 熱線測速儀 | (22) 個人電腦 |

圖 1 實驗裝置圖

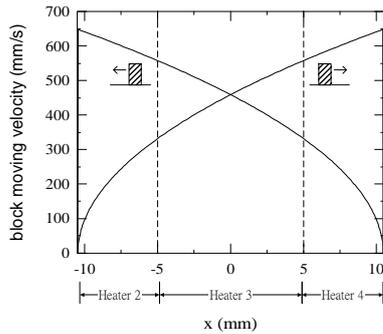


- (1) 加熱區塊
- (2) 薄塊
- (3) 擋塊
- (4) 滑道與滾珠軸承
- (5) 薄塊固定板
- (6) 軸承
- (7) 螺桿
- (8) 馬達接頭
- (9) 衝擊面

圖 2 往復運動機構圖



(a) 馬達轉速與時間關係圖



(b) 薄塊移動速度與位置關係圖
圖 3 馬達轉動與薄塊運動特性圖

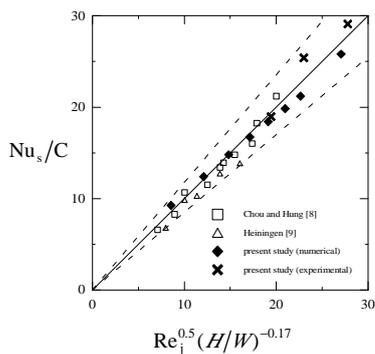


圖 4 靜態結果比較圖

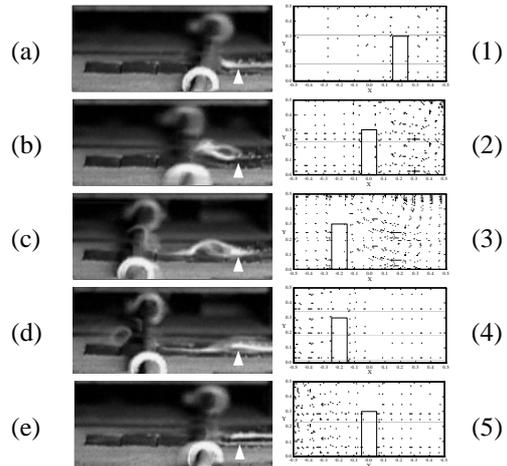


圖 5 (a)~(e) 噴流雷諾數 1054，無因次薄塊移動速度 0.284 時之煙線圖(1)~(5) 噴流雷諾數 1000，無因次薄塊移動速度 0.5 時之速度向量圖

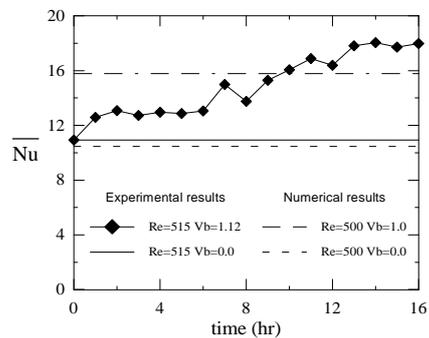


圖 6 實驗噴流雷諾數 515，無因次薄塊移動速度 1.12；與數值噴流雷諾數 500，無因次薄塊移動速度 1.0 時，之壁面總平均紐塞數與時間關係圖

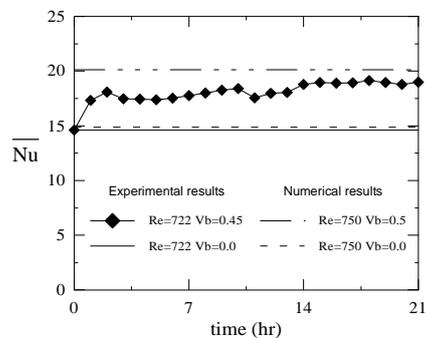
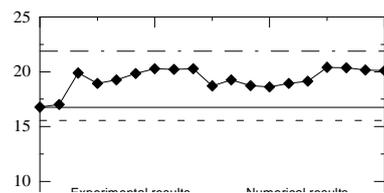


圖 7 實驗噴流雷諾數 722，無因次薄塊移動速度 0.45；與數值噴流雷諾數 750，無因次薄塊移動速度 0.5 時，之壁面總平均紐塞數與時間關係圖



$\overline{\text{Nu}}$

圖 8 實驗噴流雷諾數 1054，無因次薄塊移動速度 0.31；與數值噴流雷諾數 1000，無因次薄塊移動速度 0.5 時，之壁面總平均紐塞數與時間關係圖