

## 第二章 理論分析

### 2-1 彩色質點影像測速法 (CPIV)

彩色質點影像測速法 (CPIV) 由多彩聲光調變器 (PCAOM)、旋轉八面鏡及同步訊號控制器之功能，將 ARGON 雷射之混合光束個別區分為藍色光束及綠色光束，並在旋轉八面鏡下形成一藍、綠間隔之光頁，再利用彩色攝影機 (CCD) 之電子快門進行重複曝光，並擷取數位影像，如圖 2-1 及 2-2 示意圖；再由影像程式將數位影像訊號區分為藍色及綠色之亮度值，個別儲存藍色及綠色亮度值所分佈之檔案；將影像中的藍色亮度值及綠色亮度值分佈之檔案，由數位相關法計算，配合質問窗之大小及運算方法及功能設定，將質點顆粒所運動之距離給予計算出，再除以已知之時間間距，即可得知該質問窗內質點運動的瞬時速度值。

CPIV 法之原理係結合質點影像測速法 (PIV) 及數位質點影像測速法 (DPIV) 兩種方法之優點所發展出來測速方法：

1. 質點影像測速法 (PIV)：調整曝光之時間間距及藍、綠切換速度，為單一張影像多次重複曝光。
2. 數位質點影像測速法 (DPIV)：時序性的擷取瞬間影像。

因此具有時序性之擷取影像，且每一張數位影像具有重複曝光之質點

分佈，且有藍、綠兩組數位影像訊號檔進行分析，求得位移大小及方向，進而將位移量除以重複曝光之時間間距，得其速度向量值(Jaw et al., 2001；Gogineni et al., 1998)。

## 2-2 CPIV 影像初步處理方法

在 CPIV 影像之初步處理流程，首先將所擷取之數位影像檔進行處理，其分析的方式分為二部份：

第一部份是利用 Matlab 程式，由於 CCD 所拍攝下來之影像，每一個畫素值皆由 RGB 三種顏色所組成，因此利用 Matlab 的功能將數位影像最原始的二維 RGB 數位訊號轉為實數格式檔，並將影像區分為藍色及綠色之實數格式兩個檔案。如圖 2-3。

第二部分利用 Fortran 程式將 Matlab 所轉換之實數格式轉為整數格式，此部分稱為亮度值之轉檔過程。所得之影像為整數格式如圖 2-4，將為程式計算所使用畫素之亮度值，其亮度值範圍為 0~255 (0 為最暗，255 為最亮)，再進一步做影像分析及計算。

## 2-3 程式計算分析

原始影像經由 2.2 節處理過後，已成為影像數位化訊號，影像計算是根據數位化訊號進行分析，其流程如圖 2-5。在計算過程中，首先將影像劃分為數個質問窗 (interrogating window)，並以質問窗為影像計

算處理為基準，其質問窗之劃分方法如下：

1. 先去除影像邊界：於邊界處亮度一般會比較不清楚，先加以濾除。
2. 再設定影像質問窗大小，以奇數為主，視影像品質及流場速度而定，一般採 21-31 個畫素。
3. 再設定質問窗移動大小，一般為質問窗大小之半。
4. 再設定質問窗之最大位移量，亦視影像品質而定，一般須小於質問窗之大小，如 10 個畫素。
5. 再以質問窗為計算單位，進行影像質點位移量之比對。

### 2-3-1 互相關函數法(cross correlation)

影像分析的方式是依照影像訊號亮度值、及設定質問窗大小進行分析，步驟如下：

1. 以藍色影像訊號值，如圖 2-6 所示之 image1 為基礎，設定質問窗並決定其形心位置點；
2. 以綠色影像訊號值，如圖 2-6 所示之 image2，為影像訊號值位移 (m, n) 與 image1 進行比對，決定其質點之位移量。位移過程係利用互相關函數法之最大值視為最有可能之位移，此位移量即代表該質問窗之平均位移量。

其相關函數法之說明如下：

分離之互相關函數(discrete cross correlation function)計算，其定義為：

$$C(m,n) = \sum_i \sum_j image_1(i, j) image_2(i - m, j - n) \quad (2-1)$$

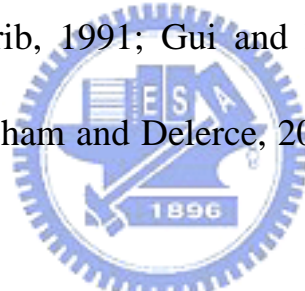
其中 $image_1$ 及 $image_2$ 為質問窗於第一張及第二張之影像檔； $C(m,n)$ 摺合積分值，其最大值為質點之最可能位移量； $i$ 及 $j$ 為兩張影像比對之初始位置， $m$ 及 $n$ 為影像一及影像二橫軸及縱軸之位移量，因此 $(i-m, j-n)$ 為第二張影像與第一張影像相配(matching)的位置。

### 2-3-2 質問窗內之質點之比對演算

為了降低質點的流失及質問窗內多峰值誤差的產生，將質問窗之邊長設為可動式，尋找質問窗內之質點，進行動態比對方式，稱為動態位移質問窗。其優點可降低在密度較高時多峰值所產生的誤差及質點比對的準確性。質問窗內質點的尋找方式如圖 2-8 所示，由每一個質問窗中心，以所設定的動態質問窗大小，如 9 (H) × 9 (V) 之小質問窗內之質點數進行比對，若於 9×9 之小質問窗內之質點超過所設定值之質點顆粒，則該質問窗內之相關函數即停止運算，並做出位移量之判斷，若低於所設定值，則該小質問窗再往外增大，如 13×13、17×17，直到質問窗與原設定質問窗大小為止，因此，可改善質問窗在質點分佈密時，影像計算所造成之誤差量。

### 2-3-3 圖形比對正相關法

於 CPIV 法中兩張影像檔經由數位相關函數計算過後，將第一張影像質問窗內與第二張之質問窗內之畫素值摺積計算後，出現峰值 (peak value) 後，如圖 2-7 所示，得知  $C(m,n)$  之最大值，並推算第一張與第二張之質問窗內質點亮度值之位移平均值，再利用相關係數法，設置一互相關係數值 (cross correlation coefficient)，其值範圍介於  $-1 \leq \bar{C}(m,n) \leq 1$  之間，其設定值可依影像之品質良窳設定加以判斷，如  $\bar{C}(m,n) \geq 0.6$ ，若高於此相關係數值，則可判定此質問窗內之有效平均位移量 (Willert and Gharib, 1991; Gui and Merzkirch, 1998; Fincham and Spedding, 1997; Fincham and Delerce, 2000; Huang et al., 1997)，其方法如下所示：



$$\bar{C}(m,n) = \frac{\sum_i \sum_j [image_1(i,j) - \overline{image_1}] [image_2(i-m, j-n) - \overline{image_2}]}{\sqrt{\sigma_1(i,j)\sigma_2(i,j)}} \quad (2-2)$$

$$\sigma_1 = \sum_i \sum_j [image_1(i,j) - \overline{image_1}]^2 \quad (2-3)$$

$$\sigma_2 = \sum_i \sum_j [image_2(i-m, j-n) - \overline{image_2}]^2 \quad (2-4)$$

$$\overline{image_1} = \frac{1}{B_x B_y} \sum_i \sum_j image_1(i,j) \quad (2-5)$$

$$\overline{image_2} = \frac{1}{B_x B_y} \sum_i \sum_j image_2(i-m, j-n) \quad (2-6)$$

其中  $\overline{image_1}$  為第一張  $image_1$  質問窗內亮度強度平均值； $\overline{image_2}$  為第二張  $image_2$  質問窗內亮度強度平均值， $m$  及  $n$  為第二張影像與第一張之位移

量， $B_x$ 及 $B_y$ 為x方向及y方向質問窗邊長。

### 2-3-4 影像分析之誤差來源

在 CPIV 法之精確度與質問窗空間的比對關係，利用較小的質問窗，可提高精確度，但相對影像的品質要好，若影像品質差時，在整體的影像比對上，將會因的質問窗內之質點不足而無法判定質點之位移向量，而形成空白處。另一方面，若當流體速度快時，所劃分之質問窗內之質點之位移過大時，甚至超過所設定的質問窗時，亦無法判定質點之位移向量而形成空白處。相反地，若質問窗設為太大，則準確度就低，使 $\bar{C}(m,n)$ 小於所設定之相關係數值，因此需要以試誤法進行質問窗的調整。



### 2-4 子畫素修正

子畫素修正之目的主要來自於在互相關計算時以整數畫素做運算，當質點顆粒位於兩個整數畫素間( $i, i+1$ )，質點在位移的判斷上會有 $\pm 0.5$ 個畫素位移誤差值，為了降低 $\pm 0.5$ 個畫素位移誤差值，使用子畫素來修正之，可更精確的表示出位移量。其方法有好幾種方式，如高斯曲線修正法(Cowen and Monismith, 1997)、拋物線修正法(parabolic curve)、Whittaker 修正法及形心修正法(Lourenco and Krothapalli 1995; Gui et al., 2000; Forliti et al., 2000)。在這些修正法中又以高斯修正法較廣被接受，其主要原因是從影像分析中所得之質

點強度分佈結果較接近高斯分佈，因此在兩張影像之質點分佈情況，經由高斯分佈計算後之結果亦為高斯分佈。所以，在子畫素修正法中利用高斯子畫素修正法較為合理。其差分法演算法是利用鄰近之質問窗所得之相關係數值作為差分修正，其演算式如下：

$$x = x_0 + \frac{\log \bar{C}(x_0 - 1, y_0) - \log \bar{C}(x_0 + 1, y_0)}{2[\log \bar{C}(x_0 - 1, y_0) + \log \bar{C}(x_0 + 1, y_0) - 2\log \bar{C}(x_0, y_0)]} \quad (2-7)$$

$$y = y_0 + \frac{\log \bar{C}(x_0, y_0 - 1) - \log \bar{C}(x_0, y_0 + 1)}{2[\log \bar{C}(x_0, y_0 - 1) + \log \bar{C}(x_0, y_0 + 1) - 2\log \bar{C}(x_0, y_0)]} \quad (2-8)$$

其中，修正後之位移量  $(x, y)$ ， $(x_0, y_0)$  為整數數位相關法所得峰度值之位置， $\bar{C}(m, n)$  數位相關計算所得之高斯分佈值。

## 2-5 不一致資料去除與資料補齊

對於在影像計算過程中，質點與質點之比對過程，有時會發生誤判，這些誤判會造成不一致結果，如圖 2-9 所示。整體而言，需將這些較不一致之速度向量值加予去除，如圖 2-10 所示，其去除的方法是利用周邊鄰近幾個質問窗內速度向量值資料加以判別，其方法如下：

1. 找出相對誤差值：

$$Vel = \frac{\sum_i |v_i - v_0|}{\sum_i |v_i|} \quad (2-9)$$

$$\theta_i = \frac{\sum_i |\theta_i - \theta_0|}{\sum_i \theta_i} \quad (2-10)$$

$$v_i(i, j) = \sqrt{u(i, j)^2 + v(i, j)^2} \quad (2-11)$$

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{v(i, j)}{u(i, j)} + 360 \quad (2-12)$$

$$val(i, j) = \sqrt{Vel^2 + \theta_i^2} \quad (2-13)$$

其中*i*及*j*為質問窗位置， $v_0$ 為每個位置之速度向量值； $v_i$ 為 $v_0$ 周邊八個速度向量，若周邊八個質問窗向量值為0，則不以列入計算；*Vel*為相對誤差值； $\theta_i$ 為向量之與x軸之角度，加360可使 $\theta_i$ 為正值；*val*為判別有效之向量值。

2. 為了判別 $v_i$ 是否有效值，即在*val*設一有效標準值，根據Jaw and Chen, (2000); Jaw et al., (2001); Nogueira et al., (1997)等之建議，可依不同影像條件，設*val*值於25-35%以內為有效向量值。
3. 根據此方法重複1及2點，將影像全部向量值掃過，判斷其有效速度向量值，將有效之速度向量留下，並將不一致資料去除。

經過以上判別後，可將不一致速度向量資料去除，因此，於速度向量圖上有可能會出現幾個空白處，因此，須在將所去除之向量值予以修補。判斷方式為在同一區域影像之空白處超過設定值20則不予差分補圖，如圖2-11所示。