

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科

030811

高雄縣立路竹高級中學

指導老師姓名

戴嘉亨

林烈毅

作者姓名

許任佑

黃馨儀

李亮瑩

郭昭延

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

科別：應用科學科

組別：國 中 組

作品名稱：利用影像處理軟體分析流場流速之研究

關鍵字：流場、雷射、影像處理軟體

摘要

流場流速之量測在現今流體力學領域中是一項重要的技術，由流場流速之分佈可使我們瞭解流場的特性，從而印證各種理論所得結果之適切性。

而由於目前量測流場流速之儀器設備皆相當昂貴，如須購置，對於學校而言是一項沉重之負擔，因此本研究想利用低功率雷射結合已經相當普遍之數位攝影機，產生數位影像後，再藉由影像處理軟體分析轉檔，最後由質點影像測速軟體分析，求得流場流速之分佈。

由研究之結果發現【1】研究並拍攝水在攝氏 90 度時之流場流速平均值約為 2.87×10^{-2} m/s，大於鋁粉之沉降速度 (1.64×10^{-3} m/s) 甚多，因此可視鋁粉為理想的可視化介質、【2】為避免變形計算誤差的產生，利用畫有刻度之投影片進行校正，可確保拍攝面與影像擷取裝置平行、【3】DV 之每張影像間隔 0.034 秒，因此所得之流速可視為瞬間速度、【4】每兩張影像圖可分析出一張流速圖，由多張流速圖之動畫可清楚看出流速的變化、【5】熱水上方之主要流場為向外且產生渦流，而其餘之流場則較不規則。

本研究結果雖在經濟性方面有其優點，但如能將雷射之功率提高、可視化介質反射率增大、攝影機之解析度提升，則完整性會更高。

利用影像處理分析流場流速之研究

壹、研究動機

在一次理化實驗中，利用酒精燈加熱燒杯，藉以觀察水受熱後之對流，由實驗雖可看出有熱對流現象產生，但進一步對於內部各點之流場流速之分布卻無法得知，經由找尋資料發現目前研究流場流速的方式中都需要用到高功率雷射，因此引起我們想要針對—「是否可利用一般光學實驗用的低功率雷射光結合當今已相當普及的數位攝影，再藉由影像處理軟體分析，量測流場之流速」此問題進行研究。

貳、研究目的

- 一、探討質點影像測速分析之相關理論及軟體操作。
- 二、探討利用鋁粉為可視化介質之流速限制。
- 三、探討如何校準拍攝面與影像面平行。
- 四、探討影像放大率之計算。
- 五、利用對水加熱產生對流現象後，分析接近水面處之流速分布。

參、研究設備器材與裝置圖

一、硬體部分：

桌上型電腦 (CPU P4 3.2G)	-----	1 台
數位攝影機 (SONY TRV40)	-----	1 台
雷射 (2mw)	-----	1 台
燒杯	-----	1 個
鋁粉 (粒徑約 40~49 μ m)	-----	1 瓶
玻璃棒	-----	2 支
酒精燈	-----	1 個
鐵製支架 (附陶瓷纖維網)	-----	1 組

二、軟體部分：

繪聲繪影軟體-----1套

Ulead GIF Animator 5.0-----1套

Ulead PHOTO Explorer7.0-----1套

質點影像測速分析軟體-----1套

tecplot 軟體（7.0版）-----1套

三、實驗裝置示意圖：

以下所有實驗一律在無其他光源的環境下進行。

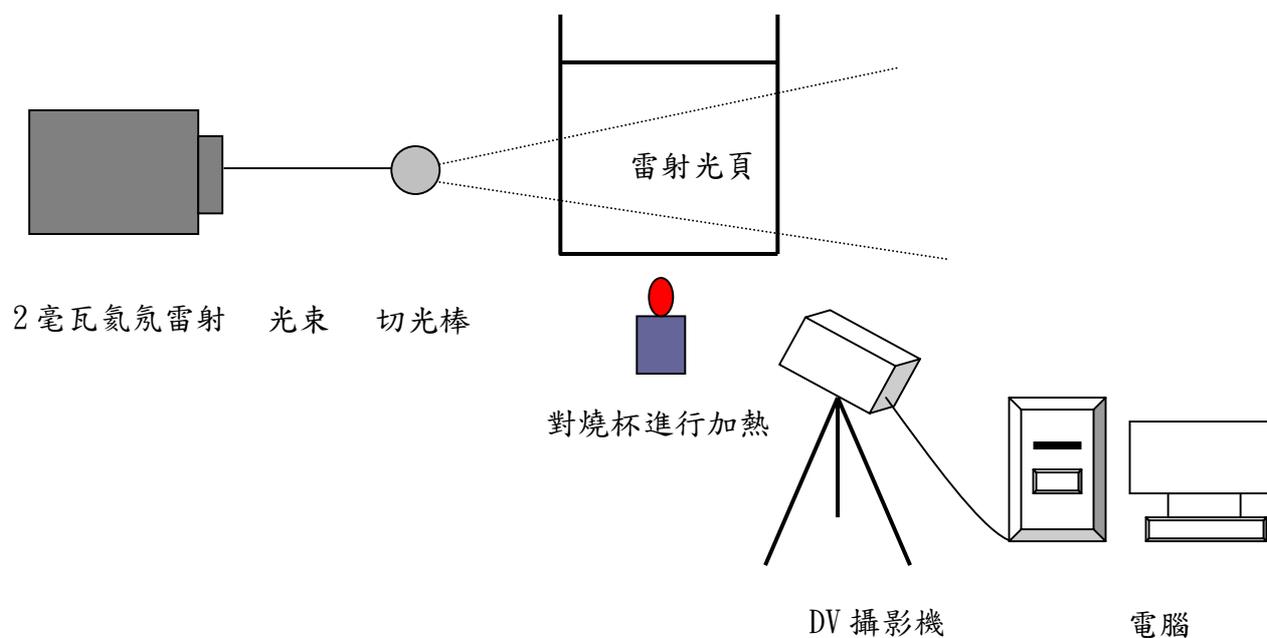


圖 1 實驗裝置示意圖

肆、研究原理

(一) 量測原理說明：

計算之基本概念可由圖 2 作說明，在 t_1 與 t_2 時間時拍攝下流場影像，若能找到某質點於 t_1 與 t_2 時之位置所在，從而計算出質點在時間 $(t_2 - t_1)$ 內所移動之距離 ΔS ，則此質點之速度可表示為 (1) 式

$$V_1 = \frac{\Delta S}{t_2 - t_1} \text{----- (1)}$$

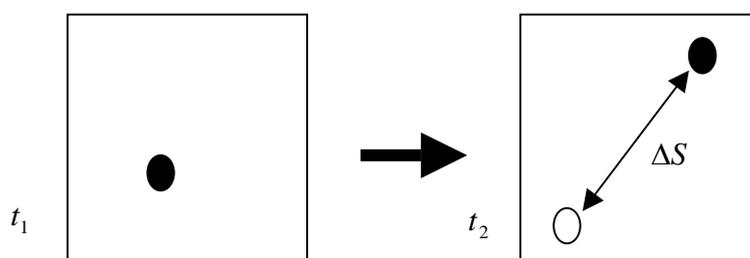


圖 2 單一質點影像

利用此基本概念，影像中任一質點之移動速度均可計算出來。然而在流場中並非只有少數幾顆，如圖 3 所示，如何能一一判別出兩張照片中相對之質點就成一難題。

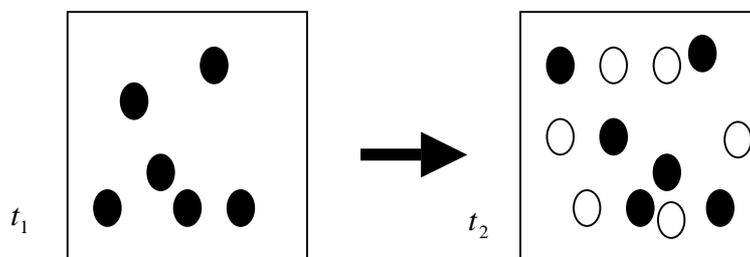


圖 3 成群質點影像

因此原始我們拍攝到的質點在下一時間會移動至下一個位置，而問題是—「其下一個位置會是在哪裡？」，因為平面中有相當多的質點，我們無法以肉眼加以辨識下一個位置在何處，所以必須藉助統計的方式，利用各週遭質點都有一個近似相同的移動速度，如此可在下一時間之影像中找到某一相同大小之影像區域，其質點的相關位置與此區域相同的方式加以計算。

(二) 玻璃棒使雷射產生光頁原理說明：

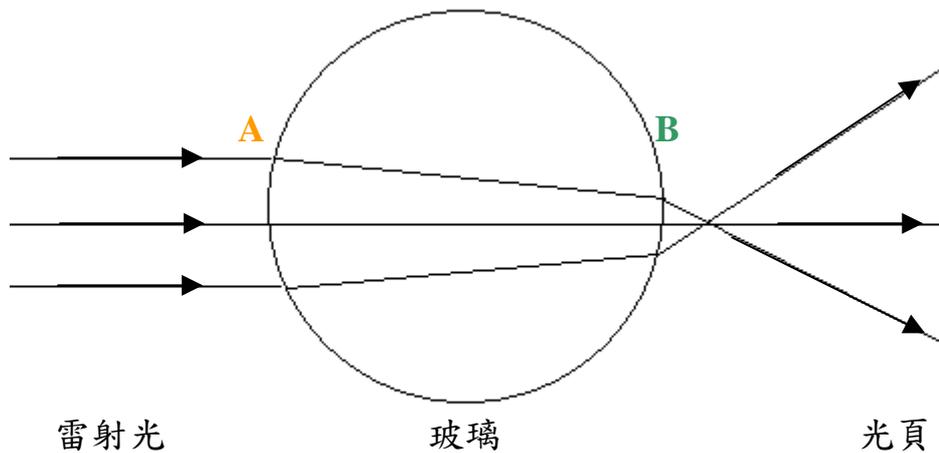


圖 4 玻璃棒使雷射產生光頁原理說明圖

1. 雷射從 A 點入射後，會因為玻璃棒類似為凸透鏡使得光線往內聚，而到達 B 點時，又因為折射率變大，故折射角變大，因此往外形成類似扇形之光區，如圖 4 所示。
2. 流場離玻璃棒愈近，所形成之光頁面積愈小，但強度較強；反之，如較遠則光頁面積較大但強度變弱。

伍、實驗過程

一、過程一：研究質點影像測速分析之相關理論及軟體操作。

(一) 相關理論

互相關計算：

隨著影像擷取技術的進步，互相關計算成為近年來質點影像測速分析方式，原因在於互相關分析沒有自相關計算之方向判定問題，互相關計算僅在某一方向、某一特定位置出極大相關性係數值，可輕易判別出流速方向及大小。除此之外，自相關計算主要用於重複曝光的影像上，若間隔時間內質點移動速度過小，導致影像上隻質點重疊，在計算上會導致速度誤判。

而速度過快將使大部分影像區域內之質點跑到區域外，使自相關性計算之結果可性度不高。利用兩張獨立、不同時間擷取之流場影像來計算互相關計算理論則無此問題。而互相性計算理論進行質點影像測速分析，其理論如(2)式所式：

$$R(m,n) = \frac{\sum \sum [X(i,j) \cdot Y(i-m, j-n)]}{\sqrt{\sum_i \sum_j X^2(i,j)} \sqrt{\sum_i \sum_j Y^2(i-m)(j-n)}} \quad (2)$$

式中， $R(m,n)$ 維護相關係數， X, Y 分別表示在 t_1 與 t_2 時間拍攝之流場影像， i, j 為影像區域 X, Y 方向之陣列足碼， m, n 為影像區域在 X, Y 方向之位移量。

當 $R(m,n)$ 為計算區域中之最大互相關係數值，表示在 t_1 與 t_2 時間所拍攝之影像 Y 在距離計算之影像區域 (M, N) 處，存在一個與計算之影像區域具有質點影像性質最銜進的影像，即計算之影像區域平均整體移動到 (M, N) 處，故可得知此影像區域之平均影像流速 V_i 為(3)式

$$\bar{V}_i = \frac{M}{\Delta t} \bar{j} + \frac{N}{\Delta t} \bar{j} \text{-----} (3)$$

若影像與真實流場之放大率為 C，則真實之流場流速 V_R 可換算如 (4) 式所示。

$$\bar{V}_R = \frac{CM}{\Delta t} \bar{i} + \frac{CN}{\Delta t} \bar{j} \text{-----} (4)$$

利用相關性的計算，各影像區域的平均流速均可被分析出來，透過放大率的轉換以求得實際之流速，此為質點影像測速分析流速計算支原理，因此質點影像測速分析流速計算式以計算質點之影像區域再不變形、不旋轉、內部質點不遺失、不增加的前題下發展出來之質點追蹤計算法。

3. 高斯區線適配法：

受到影像解析度之影響，數位影像僅能表現整數像素距離之移動，即移動距離之精確度最多僅能達一個像素長度，而有 ± 0.5 像素長度的誤差範圍產生，如圖 5 所示，圖中指出了實際質點與數位影像質點之差別，數位影像是以一個像素長度作為一個最小單位，當質點僅佔有此像素點之部份空間時，其影像表現仍以一個像素為基準，而已較淡化之色彩呈現，由此可知，數位影像所呈現之精確度為一個像素 (pixel)。

為更精確計算流場流速，使流速之計算精確度能達到次像素 (sub-pixel) 大小，經由參考資料 (數位訊號—影像與語音處理 林宸生 全華科技圖書有限公司) 發現，我們可假設質點在數位影像中之灰階度分布呈現高斯分布，則由互相關計算所得之流速則可改成 (5) 式與 (6) 式，修正後精確度會小於一個像素。

$$M = M_0 + \frac{\log R(M_0 - 1, N_0) - \log R(M_0 + 1, N_0)}{2 \times [\log R(M_0 - 1, N_0) + \log R(M_0 + 1, N_0) - 2 \log R(M_0, N_0)]} \text{-----} (5)$$

$$M = M_0 + \frac{\log R(M_0, N_0 - 1) - \log R(M_0, N_0 + 1)}{2 \times [\log R(M_0, N_0 - 1) + \log R(M_0, N_0 + 1) - 2 \log R(M_0, N_0)]} \text{----- (6)}$$

其中 M_0 與 N_0 微粒用戶相關性計算所得之初始 X 與 Y 方向之位移量， R 為互相關係數， M 與 N 為修正後之 X 與 Y 方向之位移量。

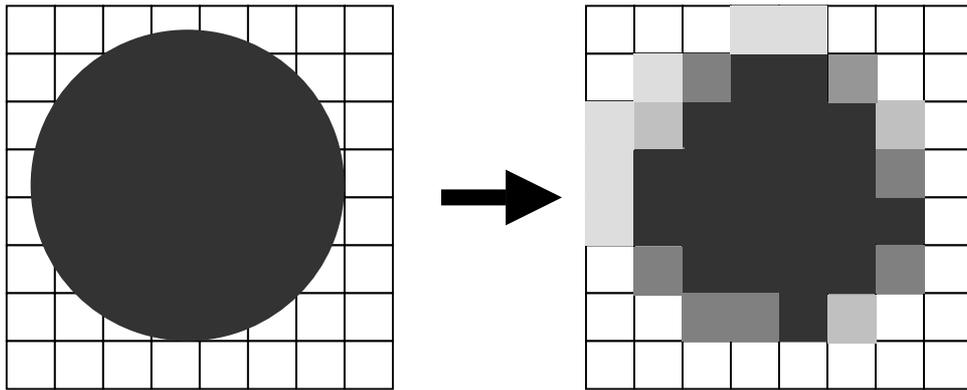


圖 5 實際質點與數位影像質點之差別

(二) 軟體操作

質點影像測速分析軟體：

1. 說明：

一般市售的影像處理軟體並無法分析有關「向量」之功能，因此為進行本研究，得知成大水利暨海洋工程學系有此相關軟體，商借後對軟體進行研究，以下是此軟體之相關內容與功能之敘述。

2. 軟體內容與功能：

此軟體與可透過交談視窗介面進行影像資料參數之輸入、絕對座標墜定義、邊界區域之移除、流速即時結果顯示，以及質點影像測速分析軟體流速計算相關功能，如圖 6 所示。

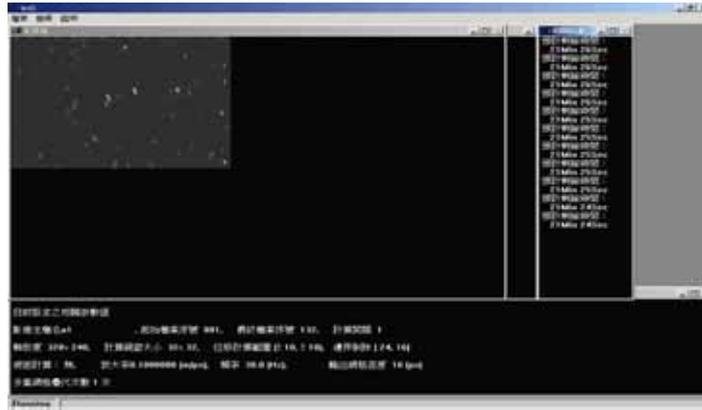


圖 6 質點影像測速分析軟體之視窗圖

其整個計算流程如圖 7 所示。

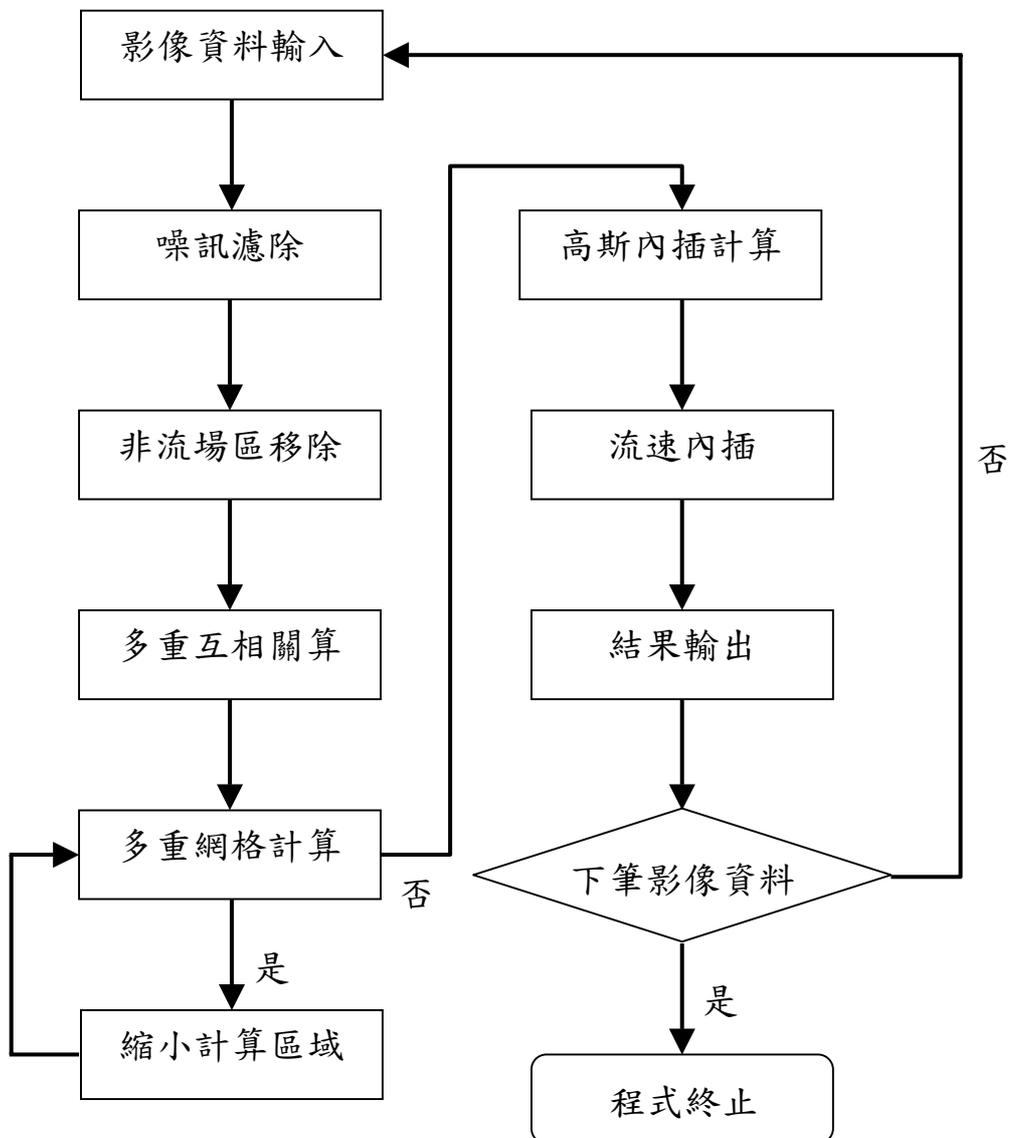


圖 7 質點影像測速分析軟體分析計算流程圖

二、過程二：研究利用鋁粉為可視化介質之流速限制。

(一) 說明：本研究利用鋁粉為可視化之介質，但發現鋁粉會沉降，故想了解鋁粉沉降之速率，並了解是否會影響量測水之流速。

(二) 實驗一：研究鋁粉之沉降速度

1. 步驟：

- a. 將水槽之一面貼上黑紙，並在黑紙上切割出長 4 公分寬 0.5 公分之缺口，水槽裝水後靜置直至水面不再晃動再放入鋁粉，任其自由沉降。
- b. 利用 DV 對準兩張黑紙之缺口處拍攝，在擷取其影像後利用質點影像測速分析其流速，可得沉降速率。

2. 結果：

鋁粉之比重為 2.708g/cm^3 ，平均粒徑為 $45\mu\text{m}$ ，由質點影像測速分析其流速，發現其沉降速度平均約為 $1.64\times 10^{-3}\text{m/s}$ 。

3. 分析：

因各質點之速度不同，因此取平均值；此外鋁粉不可加入太少（約 $1\text{g}/500\text{ml}$ ），以免可分析之值點數過少，造成誤差過大。

(三) 實驗二：研究熱水對流之平均速率

1. 步驟：

利用恆溫槽加熱水至攝氏 90 度放入鋁粉，以 DV 拍攝質點影像。

2. 結果：

實驗中加熱至 90 度時，經由質點影像測速分析其流速，各點之瞬間速度不盡相同，如剔除極高值與極低值後加以平均，得平均值為 $2.87\times 10^{-2}\text{m/s}$ 。

3. 分析：

(1) 將鋁粉置於 90 度之熱水中，目的在於使之有對流現象產

生，以便進行實驗，因此沉降速度與質點運動速度相較甚遠，故實驗進行中可忽略鋁粉之沉降速度。

(2) 由實驗結果可視鋁粉之運動完全伴隨流場運動，因此假定鋁粉顆粒為理想質點，即鋁粉具有不干擾流場、彼此間不互相干擾、完全伴隨流場運動之特性，則所拍攝的鋁粉顆粒運動現象即為流場之運動現象。

三、過程三：研究如何校準拍攝面與影像面平行。

(一) 說明：在拍攝過程中，為減少因影像擷取所造成之誤差，必須對拍攝之流場影像進行校正。

(二) 步驟：

1. 首先，為避免變形計算誤差的產生，拍攝面必須與影像擷取裝置確實保持平行，如圖 8 所示，本研究在水槽前表面貼上一張印有準心、水平線、等距刻度之投影片。
2. 另外在後方面放置一面鏡子，透過傳回電腦之影像，調整 DV 攝影機之位置，使投影片之準心上、下、左、右之刻度線與中心等距。

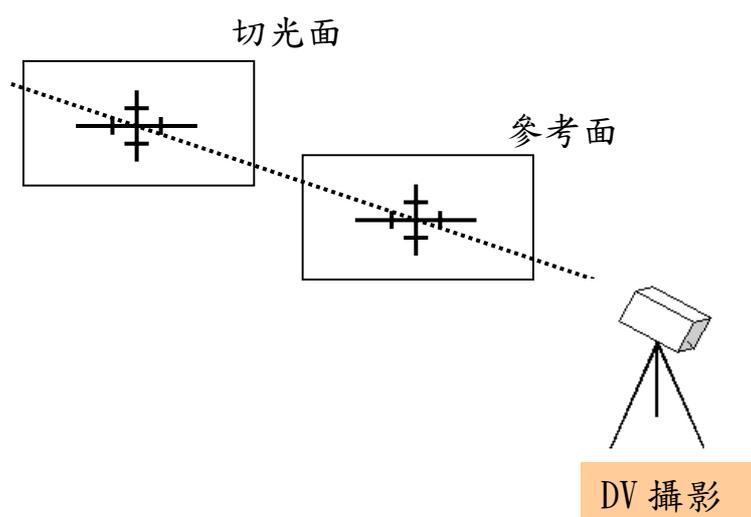


圖 8 拍攝面與 DV 保持平行校準示意圖

(三) 結果：

如圖 9 所示，可以確保拍攝面與擷取裝置間之平行。



圖 9 拍攝面與 DV 保持平行校準實際圖

四、過程四：研究計算所得攝影像之放大率。

(一) 說明：實驗中有用到攝影，而所得影像經由質點影像測速分析知過程中需要輸入放大率，才能得到實際的流速，因此著手對放大率之研究。

(二) 步驟：

為求影像之放大率，本研究將一直尺放入水槽中，再以雷射光射入，調整雷射使光線落在直尺之側面，確保直尺位在雷射所產生之光葉上，如圖 10、11 所示，利用實際間距大小與所拍得之直尺影像間距像素大小之比例進行換算，如此可求得放大率。



圖 10 計算放大率之裝置圖

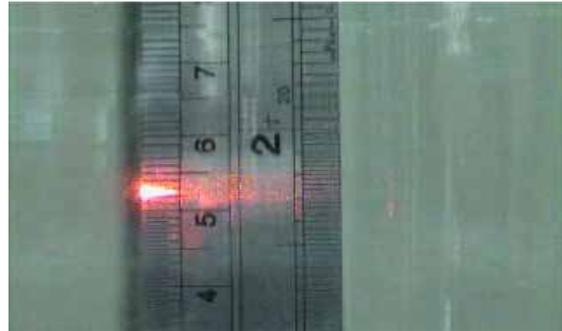


圖 11 以尺為標準計算放大率圖

(三) 結果：

利用 PhotoImpact 此軟體分別點選圖 11 中的 7.5cm、7cm、5cm、4cm 等處，當點選時會在視窗左下角出現像素，如圖 12 所示，其中紅色圈出的地方即為像素大小，根據所選的四個點位置與像素大小作圖，完後並加以計算，所得結果如圖 13 所示。

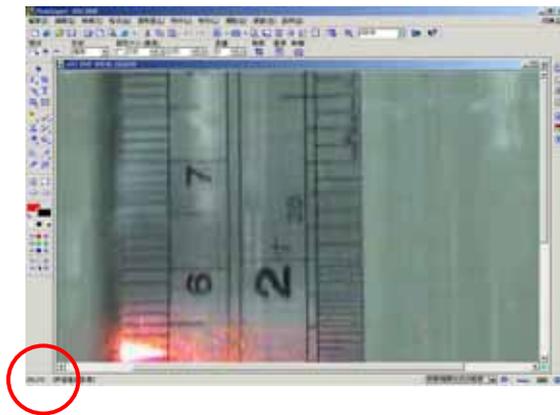


圖 12 點選直尺出現像素圖

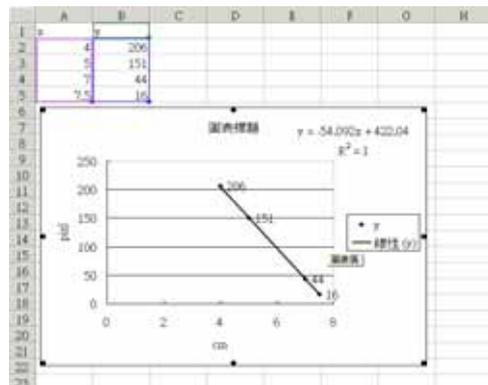


圖 13 以 EXCEL 計算放大率圖

(四) 分析：

由圖 13 中可看出其斜率為 54，因此可知此時之放大率為每一公分中有 54 個像素，亦即為 54 pixel/cm，因此在輸入參數時放大率是以 54 為基準。

五、過程五：利用水加熱產生對流現象，分析接近水面處之流速分布。

(一) 步驟：

1. 圖 14 為影像處理之流程圖。
2. 將水以恆溫水浴槽加熱接近 90 度狀態，讓水之對流明顯，以免流速太慢而被鋁粉之沉降速度影響。
3. 將影片以繪聲繪影軟體擷取為 MPG 影像檔，如圖 15 至圖 19 所示，實驗中影片共編輯 4.2 秒，132 張之影像檔。

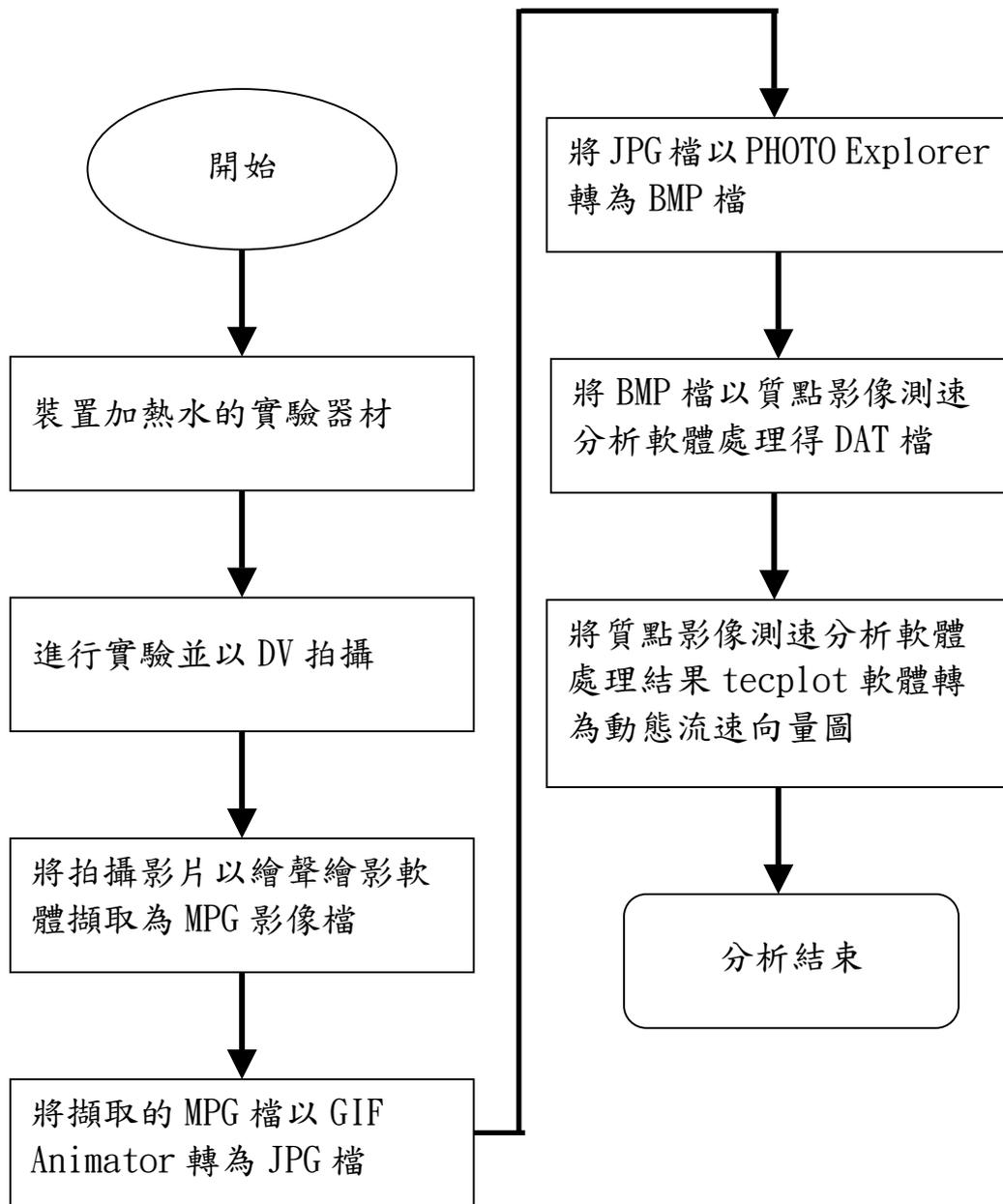


圖 14 影像處理之流程圖

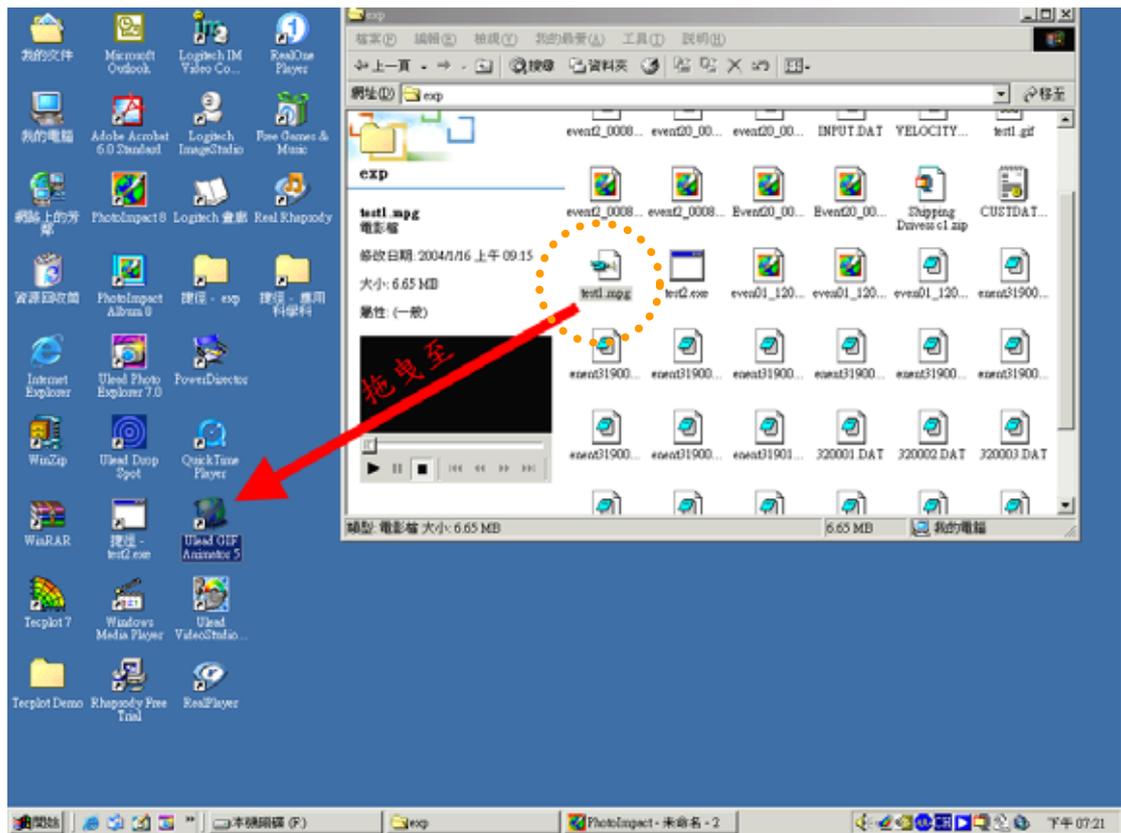


圖 15 MPG 檔以 GIF Animator 轉為 JPG 檔過程圖



圖 16 選擇擷取時間長度圖

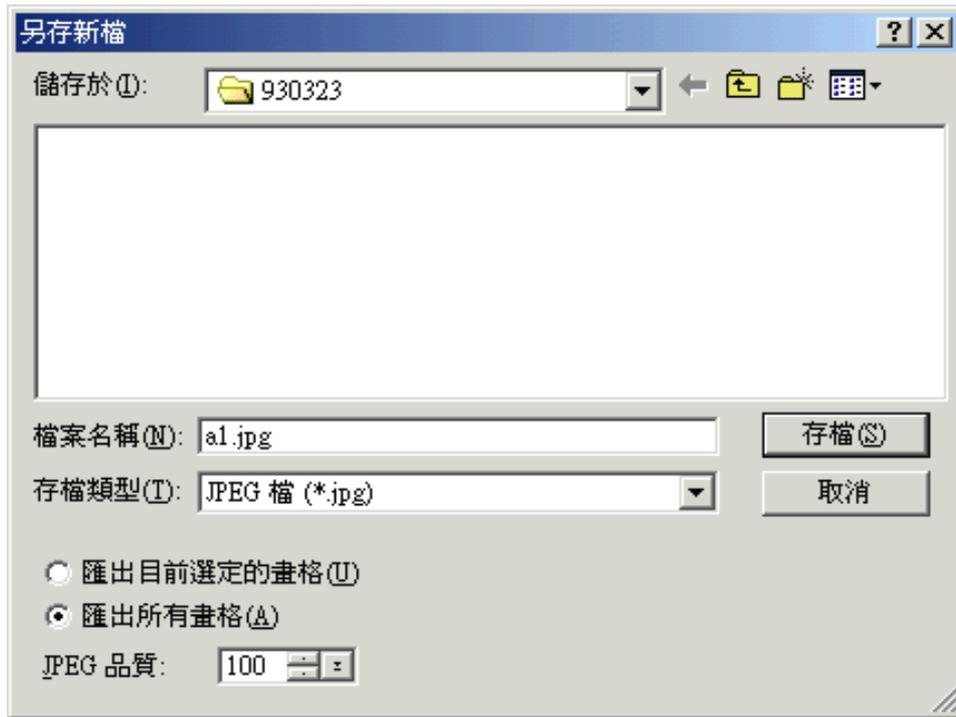


圖 19 另存成 jpg 圖形檔圖

5. 將 JPG 檔以 PHOTO Explorer 轉為 BMP 檔，如圖 20 至圖 23 所示。

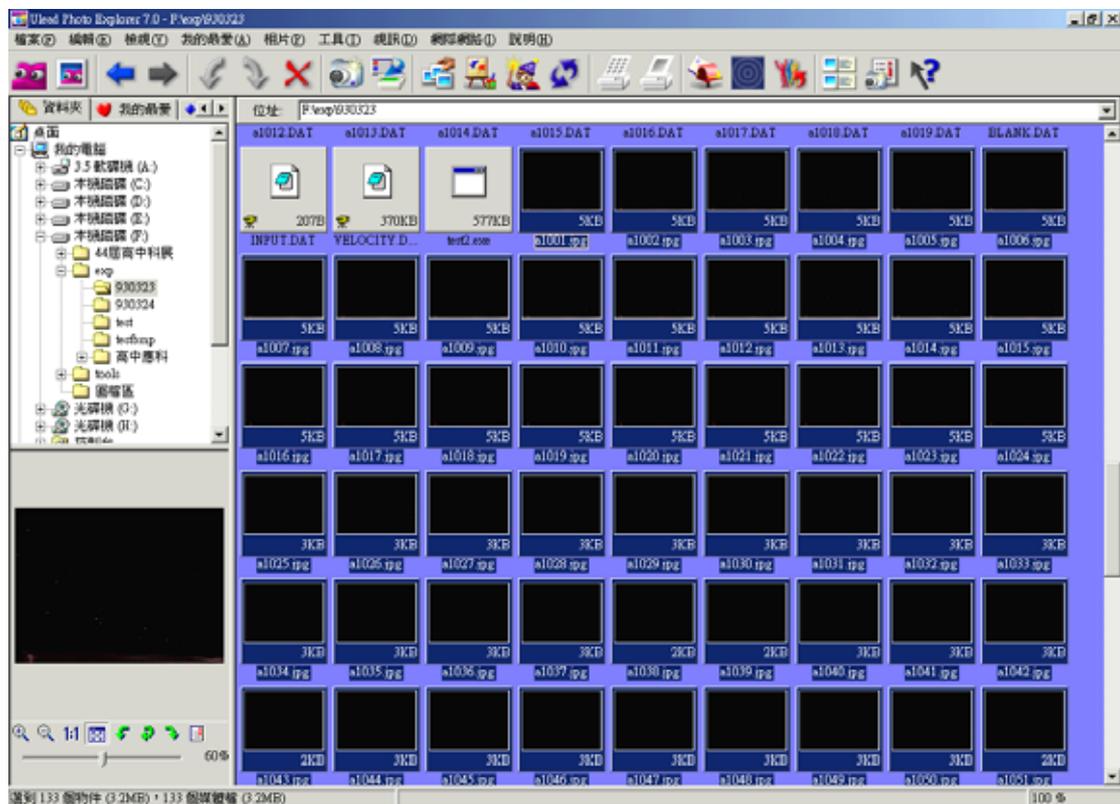


圖 20 將檔案以 PHOTO Explorer 開啟圖



圖 21 進行灰階處理圖

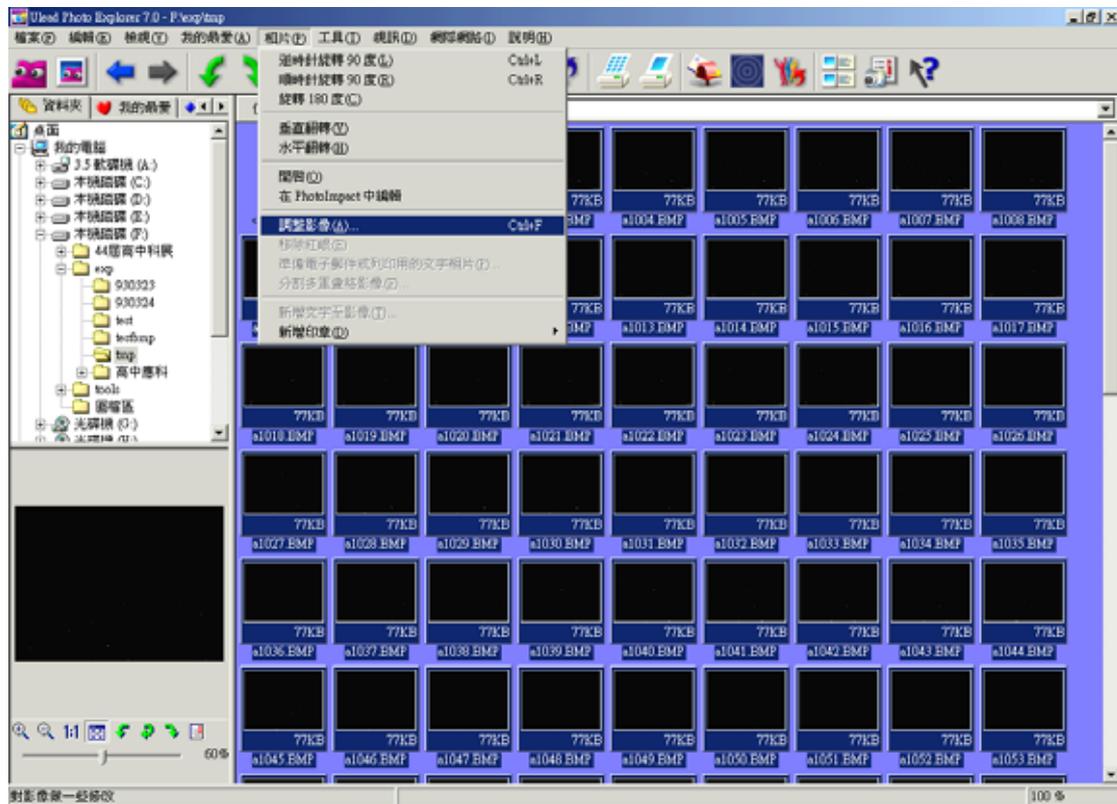


圖 22 灰階處理完畢並準備進行調整影像亮度比圖

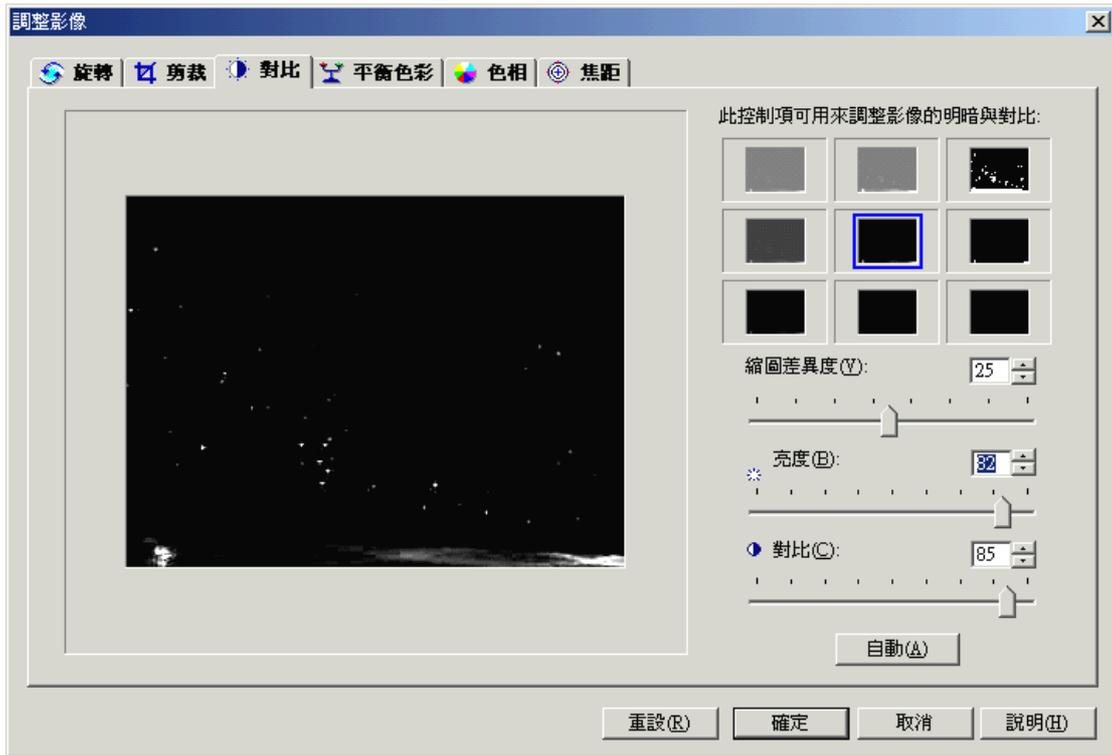


圖 23 調整亮度與對比圖

6. BMP 檔以質點影像測速軟體處理得 DAT 檔，如圖 24 至圖 27 所示。

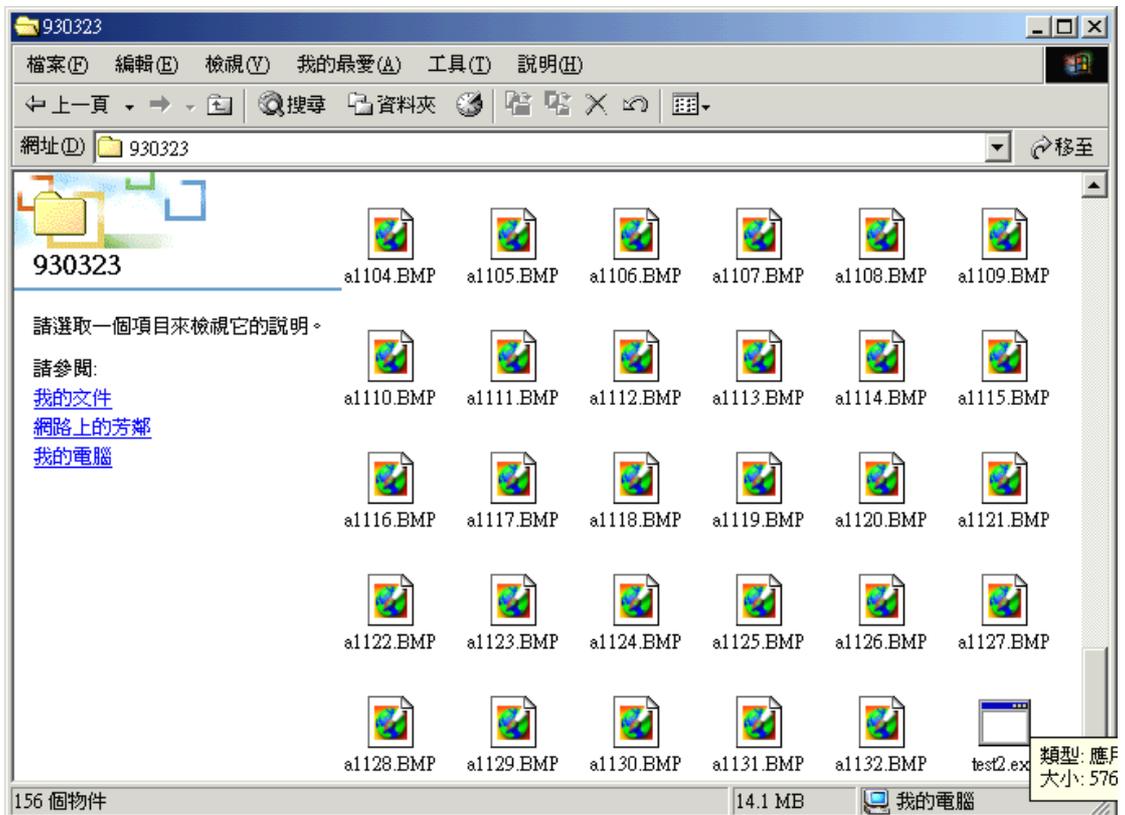


圖 24 開啟 bmp 檔並準備以質點影像測速分析軟體分析圖

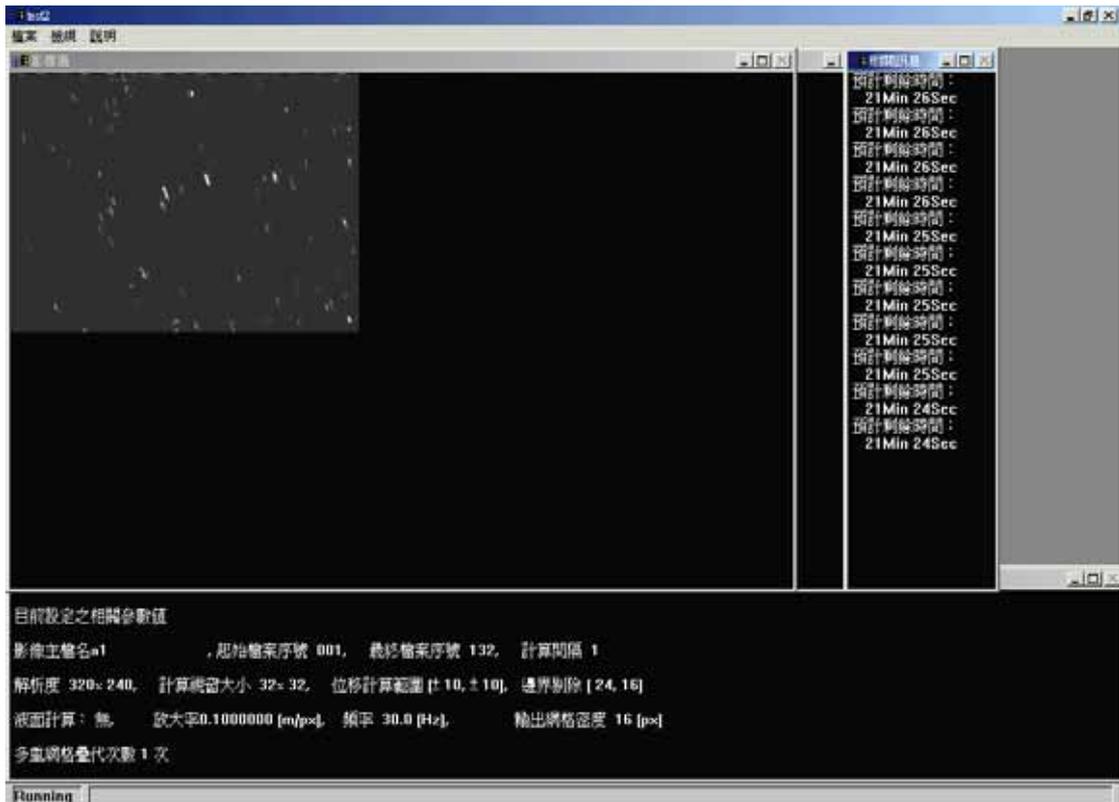


圖 25 以質點影像測速分析軟體開啟 bmp 檔圖

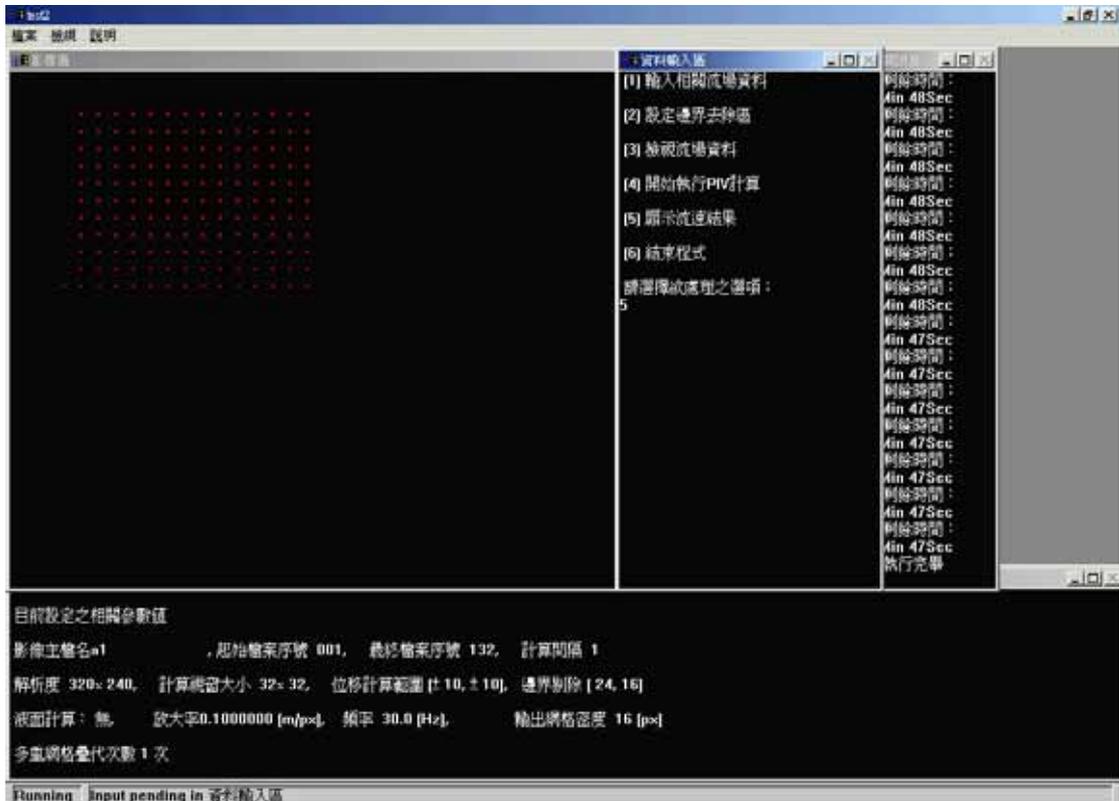


圖 26 開始計算質點流速圖

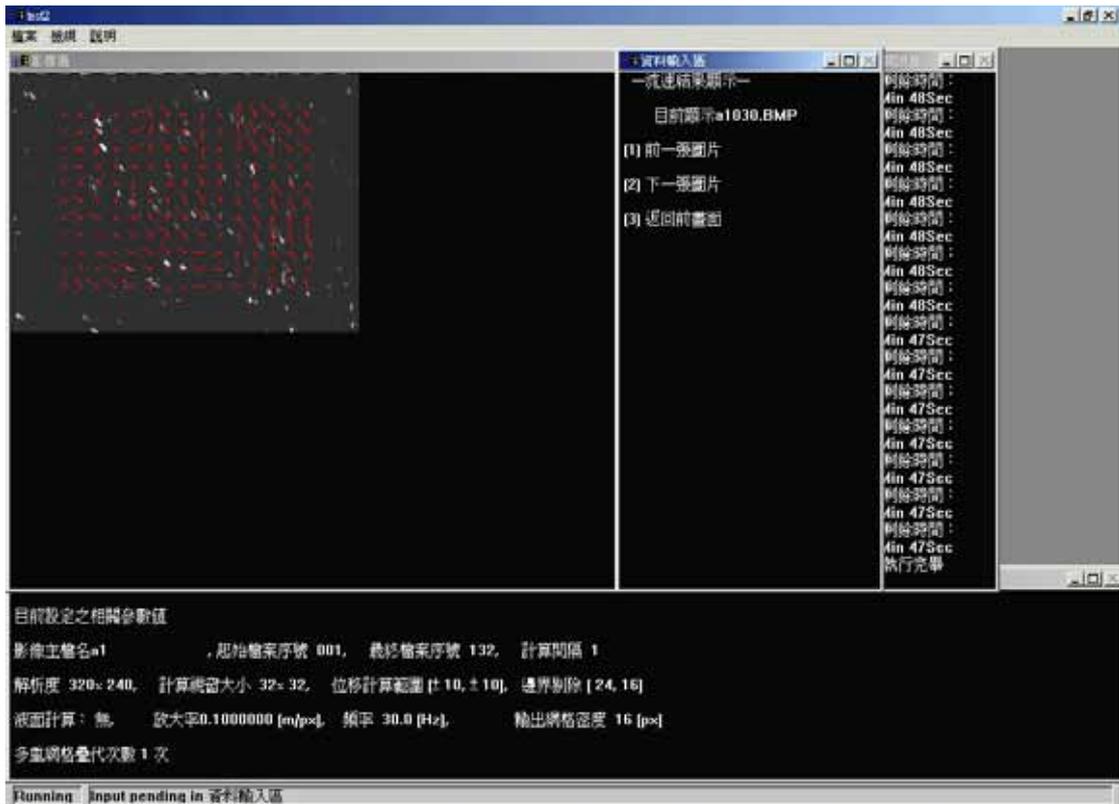


圖 27 計算完成並畫出流速向量圖

8. 分析後以 tecplot 軟體轉為動態流速向量圖，如圖 28 至圖 32 所示。

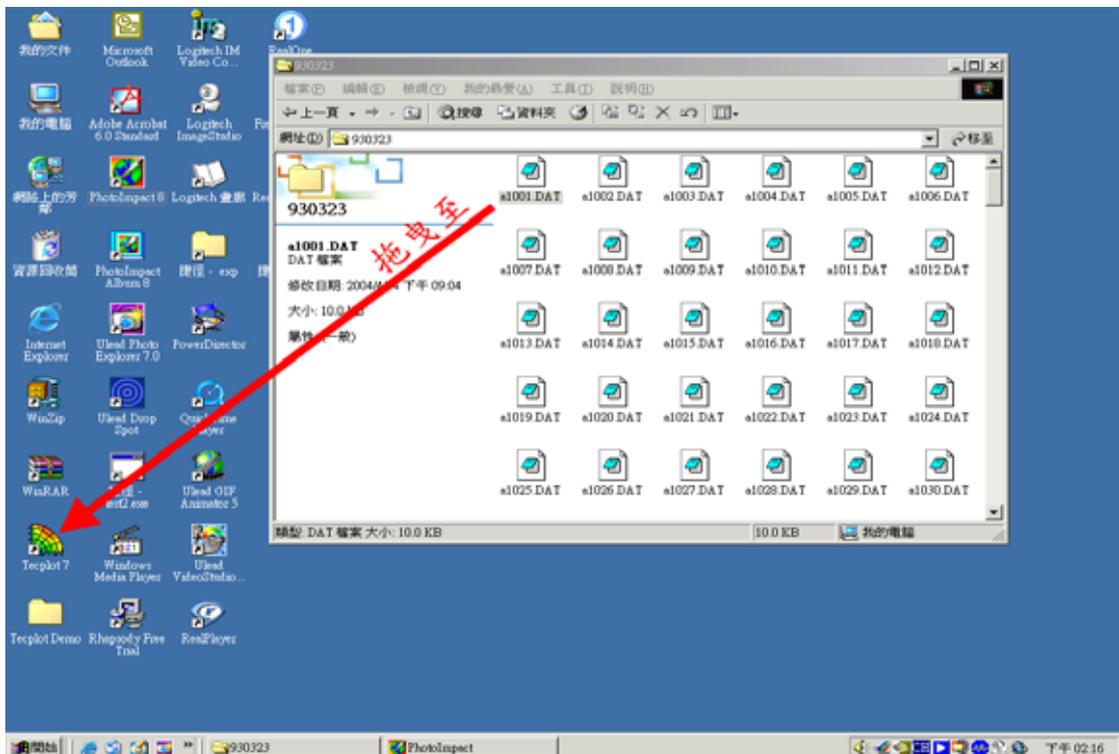


圖 28 將 DAT 檔準備丟入 tecplot 軟體圖

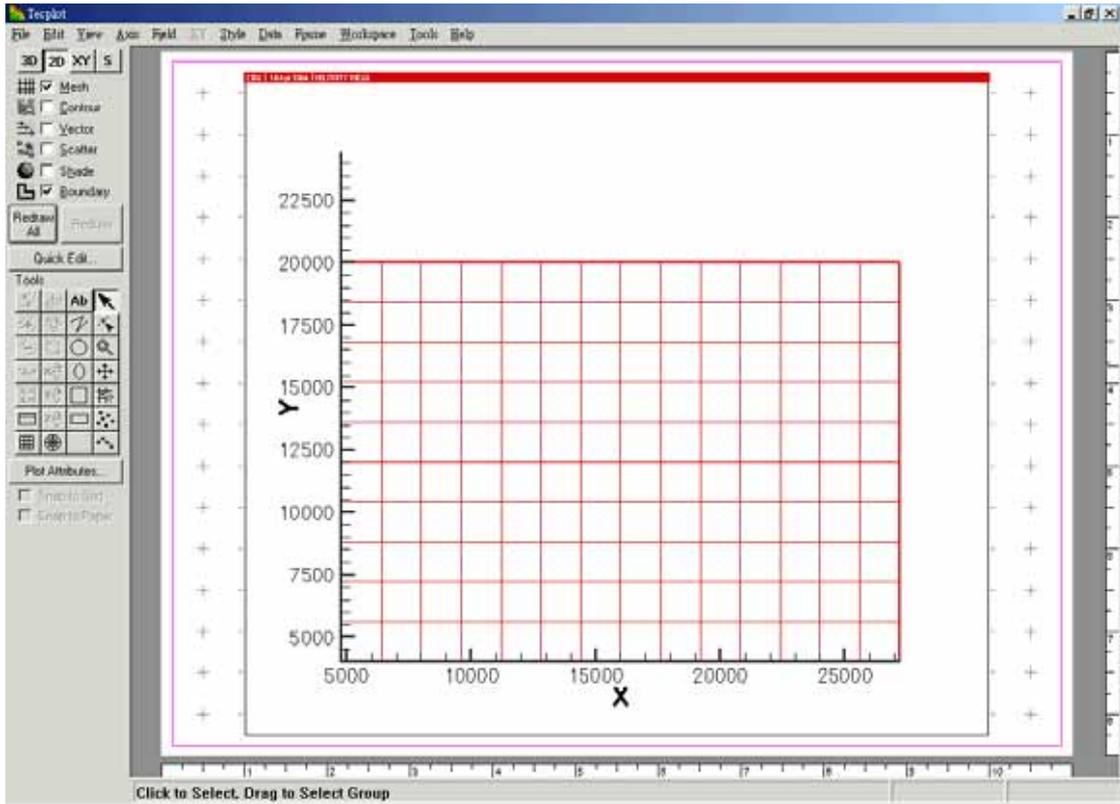


圖 29 開啟 tecplot 軟體圖

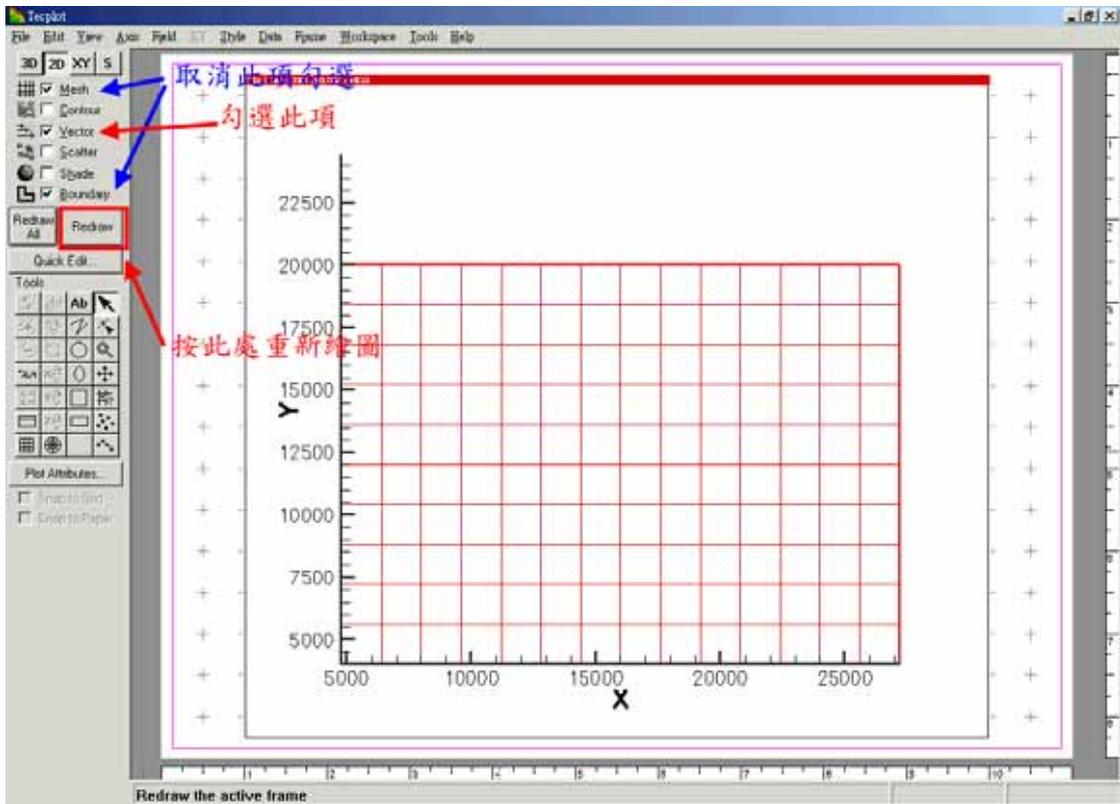


圖 30 參數設定圖

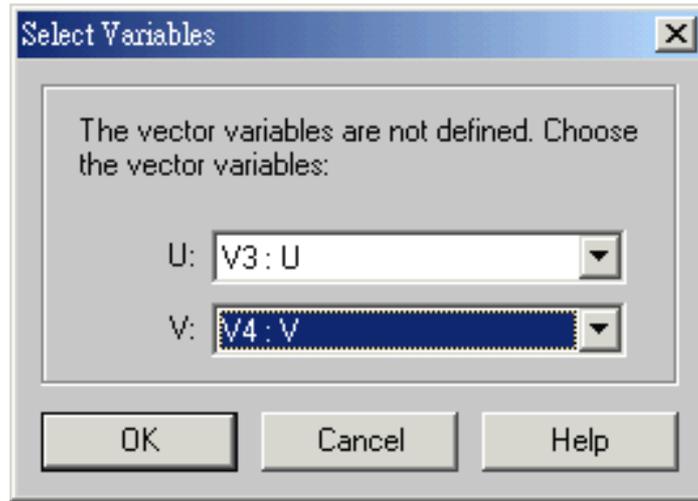


圖 31 座標軸設定圖

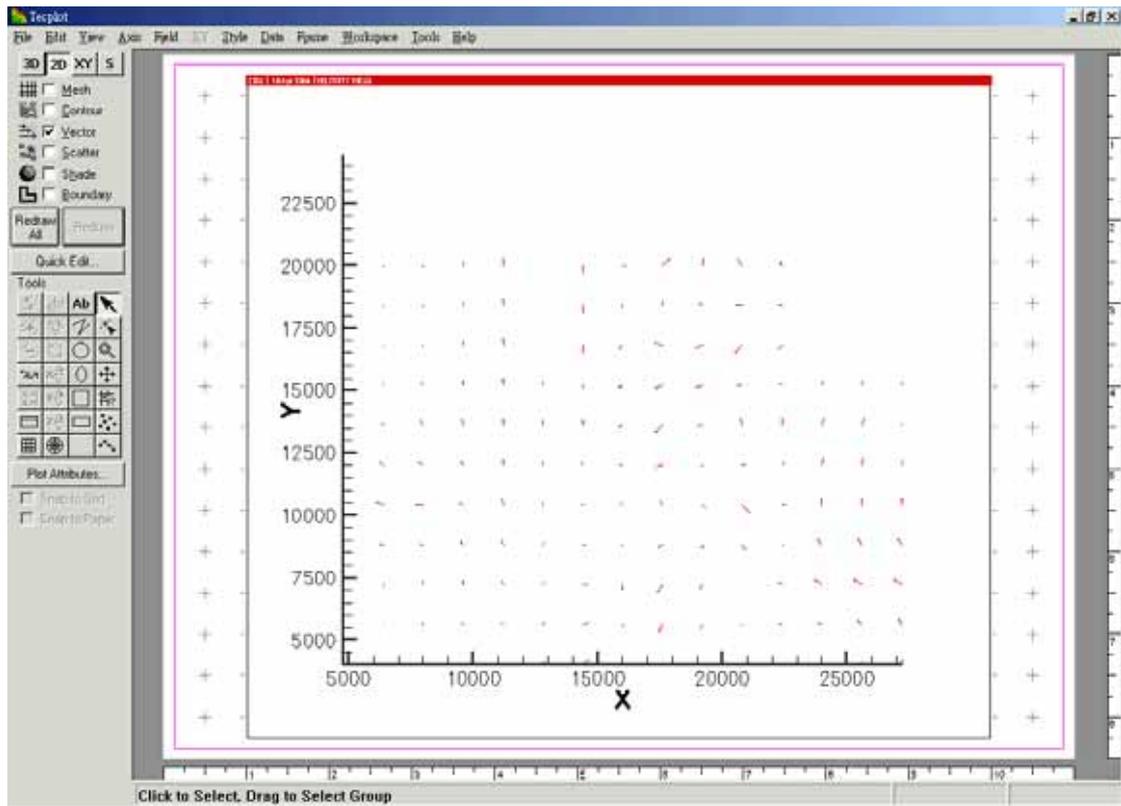


圖 32 繪出具有座標軸的流場速向量圖

(三) 結果：

每兩張影像檔可得一張流速分布圖（如圖 32 示），又多張的流速分布圖如果連續播放則成動態畫面，如圖 33 示，圖中是由多張流速分布圖混合而成。

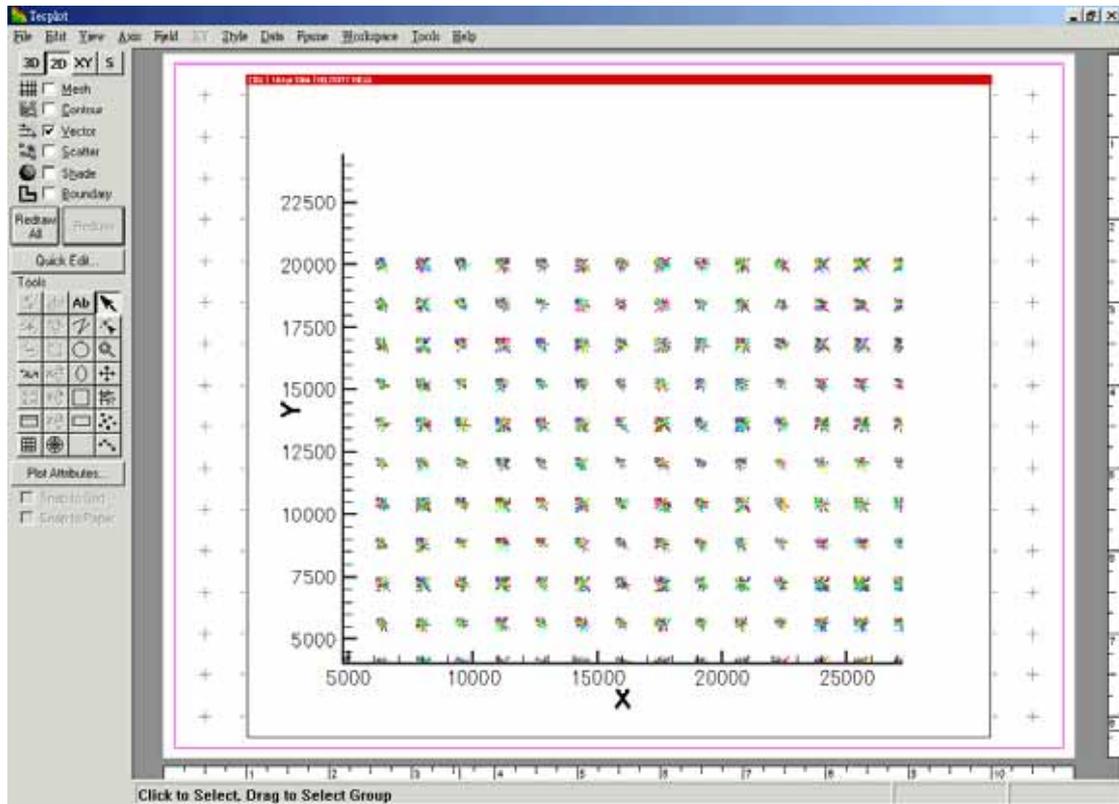


圖 33 連續播放形成動態圖

(四) 分析：

1. 當水溫不固定時，其流場也不固定，因此為便於研究，應將
2. 在 90 度時，觀察流場流速變化之動畫，發現主要之流場為分別向外兩側產生對流，而其餘之流場則較為紊亂。
3. 由影像處理之流程可看出，每一種軟體各有其限制，工程用的軟體有其獨到之處，如能與影像處理用的軟體互相搭配，則會有更出色的表現。
4. 將圖 34 之流場局部放大，可得圖 34 圖 41

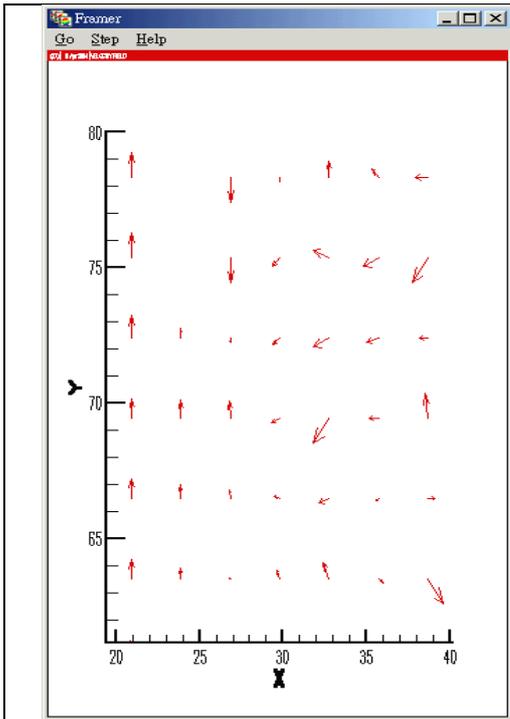


圖 34 流場局部放大之一

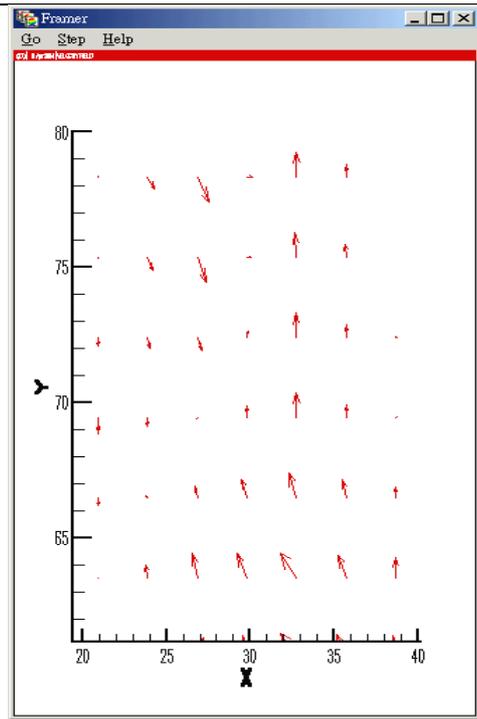


圖 35 場局部放大之二

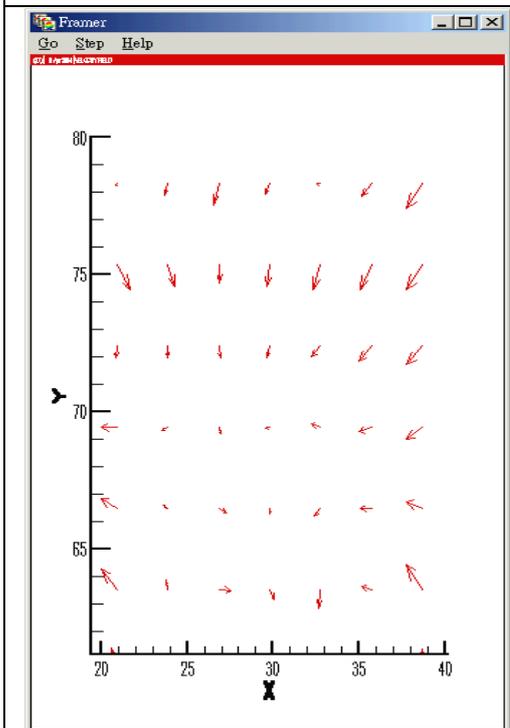


圖 36 流場局部放大之三

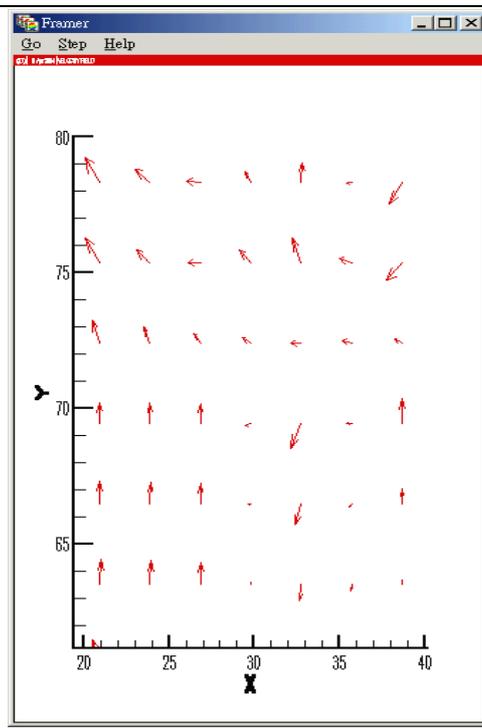


圖 37 流場局部放大之四

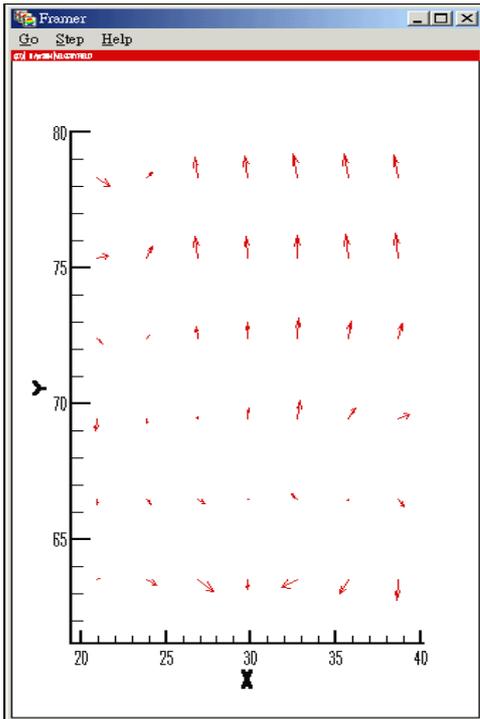


圖 38 流場局部放大之五

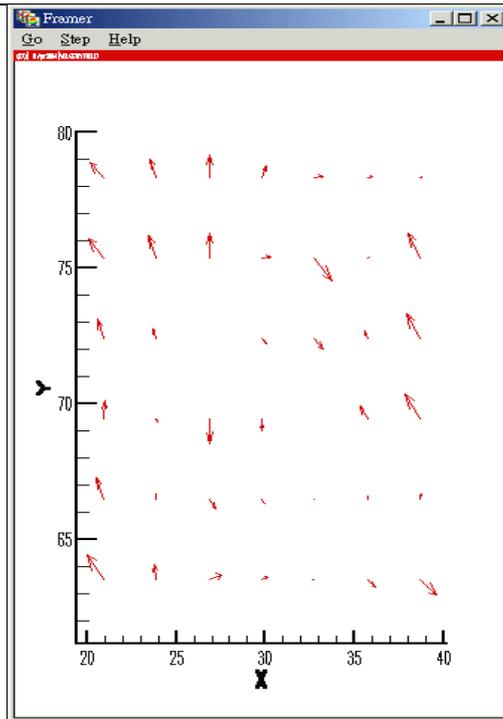


圖 39 場局部放大之六

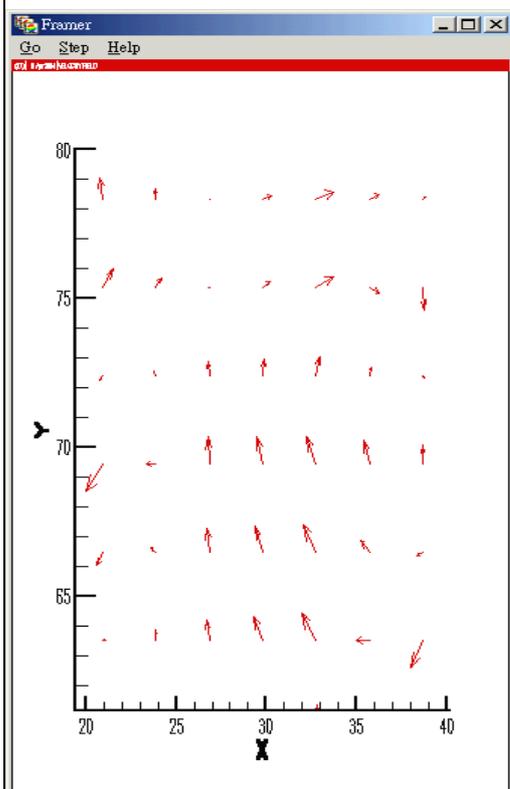


圖 40 流場局部放大之七

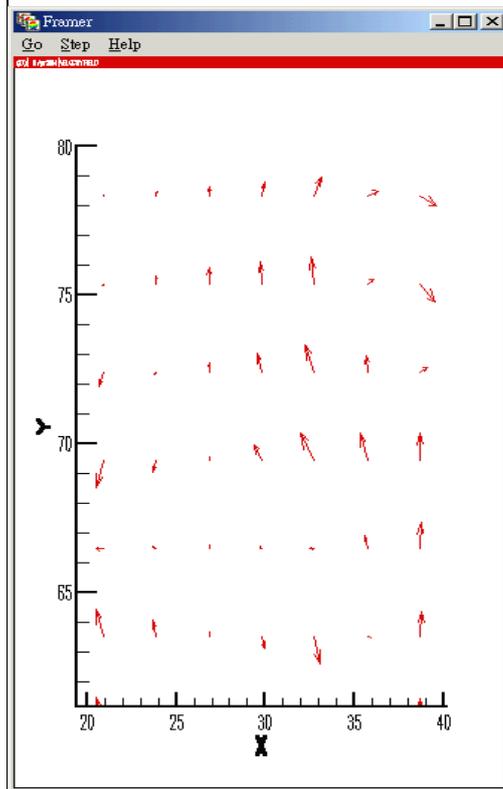


圖 41 流場局部放大之八

陸、討論

- 一、本研究利用玻璃棒使光線能從一點變成一個扇形的區域，但為了獲得較強之照度，因而離玻璃棒較近，卻使的面積變小光頁之面積較小，因此須由實驗之需要來調整距離。
- 二、實驗中必須在盡量無光的環境下進行，以避免在其他光源之干擾下，使得鋁粉之反射與環境之對比降低。
- 三、鋁粉有沉降速度，因此必須考量試驗流場之流速是否會被沉降速度所影響；且質點影像須與拍攝面平行，否則會造成影像擷取時之誤差，其中可利用投影片會刻度，再利用鏡子使其影像反射重疊之方法加以校正是否有平行。
- 四、DV 所拍攝的影像已經是有經過放大，因此質點真正之速度必須以放大率加以換算，才能得到實際的流速。

柒、結論

- 一、可視化須考慮試驗的流場流速是否與鋁粉之沉降速度之差異，以避免過大誤差產生。
- 二、放大率的量測、質點影像須與拍攝面是否平行都會影響到誤差，因此借助測量單位長度所含像素與校正拍攝面等步驟加以降低。
- 三、實驗中對熱水之對流實施量速分佈測量，結果發現所拍攝之位置是某一區域面之流場分布，因此如須對整個切面有完整之了解，必須對不同區域再進行分析，最後綜合可得整個面之流場分布。
- 四、溫定在 90 度時，接進水面之流場為向外兩側，並產生渦流，而其餘之水流因與容器壁互相碰撞，因而產生較為紊亂的流場。

捌、展望

由研究過程發現數位攝影與影像處理軟體的結合可分析流場之流速，但研究之過程仍有相當多之缺點並未注意到，因此就研究所得

提出以下幾點建議，以作為往後深入研究之改善。

- 一、以鋁粉作為可視化之介質，其反射效果相當顯著，如能再進一步研究以此波長之雷射光為光源時，找出反射效果更佳的質點，則分析之正確性會提高。
- 二、實驗中所用雷射功率只有 $2mW$ ，如能使用功率更高的雷射則明暗對比會更大，分析時之誤差會降低。
- 三、實驗中利用玻璃棒為產生光頁之工具，如能進一步研究利用不同透鏡所形成之透鏡組來當作產生光頁之工具，使光頁之厚度更薄，能量更集中，則質點之亮度將會提升。
- 四、實驗過程中並無深入研究所加入之鋁粉量與水量之較佳比例為何，因此如能將兩者之較佳比例找出，則可分析之質點數目與亮度皆可兼顧。
- 五、實驗中並無研究在水溫變化的過程中其流場之變化，因此如能進一步觀察並量測，水從加熱開始至高溫的流場變化，則能對水之流場有較完整的了解。
- 六、如果流場之流速甚快時，DV 之時間間隔會變成太長，則無法視為瞬間速度，因此須要改成具有高速攝影功能的攝影機才行。

玖、參考資料

- 一、數位訊號—影像與語音處理，林宸生，全華科技圖書有限公司，2003。
- 二、「流場可視化應用於空穴流場之研究」，梁建國，淡江大學水資源及環境工程研究所論文，1997。
- 三、國中理化第一冊，國立編譯館，2002。
- 四、高中物質科學物理篇下，南一書局，2002。
- 五、流體力學概論，王安石，前程出版社，1996。

評語

030811 國中組生活與應用科學科

利用影像處理軟體分析流場流速之研究

本研究探討流場流速之量測，期以數位攝影機與影像處理軟體由質點流速之測定來達成目的，雖然對於影像處理軟體之運用以及以鋁粉為可視此介質之選擇可看出作者之用心，唯其研究之創意以及作品之實用性較弱，無法給予更高之分數。