

第一章 導論

1-1 研究動機

流體力學為一門廣泛之應用力學，係探討流體與所經結構物之大小、形狀、表面糙度及流體本身之重力、壓力、密度、黏滯性、流體速度及溫度等物理項之間關係。而流體受到物體表面影響而產生擾動（disturbance），進而形成紊流；而流離現象（separation）為紊流發展過程常見現象之一。其中，流體分離現象發生之位置常發生於斷面突然改變處，如後陷階梯流之流況（backward-facing step flow），於階梯下游端包含流體受到不連續之斷面所產生之大小渦流（eddies）及迴流影響區域。於後陷階梯流場之研究，因可廣泛地應用於許多工業設備，多年來一直受到重視，且其流場內包含了流場分離及再複合等現象，可以作為基礎研究及推測更複雜流場之依據。

在水利工程中階梯流之流場分析與研究相當重要，如於河床攔河堰下游之消能階梯、沈砂池及巴歇爾水槽均可觀察到這類階梯流場。至於在航太機械工程方面，階梯流場也充分運用於衝壓引擎、熱傳導交換器、渦流機、太陽能收集系統等產品中。流場經過後陷階梯，由於流場分離而導致壓力變化與能量損失，許多具備排污、散熱的工業設施，均可應用該後陷階梯流下游迴流區產生強大渦流之特性。因為

複合區內速度剖面變化非常急促，所以剖析此類流場若利用傳統方法如皮托管、熱線、熱膜、LDV 等來量測將會十分困難，因此，本研究採用彩色質點影像測速法（color particle image velocimetry），簡稱 CPIV 法，應用於後陷階梯流場之研究。

1-2 研究目的

早期流場量測方法，皆為侵入式，需要放置儀器至流體中量測或感應，影響流體本身之結構，造成相當程度的誤差，近二十幾年，雖然有相當準確且非侵入式的雷射都卜勒測速儀（laser doppler velocimetry, 簡稱 LDV），改善了入侵式量測的缺點，可以準確的量出單點的資料，然而這些儀器的量測範圍都侷限於單點，若要瞭解整個流場的流況須要耗費許多的時間。

然而，流體變化瞬息萬變，利用單點的量測方法已不足以描述瞬間流場的整體現象。後續發展出非侵入式之全域量測(nonintrusive whole field measurement)，如：數位質點影像測速法（digital particle image velocimetry, 簡稱 DPIV）、數位質點軌跡測速法（digital particle tracking velocimetry, 簡稱 DPTV），利用數位照相機或數位式攝影機，將流體運動過程擷取下來，再利用軟體將所擷取下來之影像進行分析，呈現二維流體運動過程現象。因此，收集近年來之文獻，利用單

一影像多次曝光 (PIV) 及時序性影像單一曝光 (DPIV) 可視化之研究基礎及理論 (Hesselink, 1988; Adrian, 1991; Westweel, 1997), 將 PIV 及 DPIV 之優缺點做進一步分析。因此, 本研究將擷取 PIV 及 DPIV 之優點發展出彩色質點影像測速法, 其優點是單一張影像具有藍色、綠色之重複曝光之質點, 且藍色及綠色曝光質點具有時序性, 利用這樣的特點來分析影像, 且藍、綠雷射光束切換速度夠快, 即可進行較高流速之量測, 並繪出流體之速度向量圖及分析運動現象。而後陷階梯流為一快慢混合之流場, 本文應用流場可視化法來進行流場定性之觀察及 PIV 對流場定量之研究, 不論是層流流況, 還是紊流流況, 後陷階梯流場複合點(reattachment point)之實際位置與變動範圍, 還有速度變化均可十分準確予以量測。另外將實驗數據及參數加以無因次分析, 分析雷諾數、福祿數對複合長度(reattachment length)之影響。

1-3 文獻回顧

1-3-1 質點影像測速法

1. Rosenfeld (1976) 提出 DPIV 法為：一個由數位攝影機所拍攝下之數位影像為一組二維灰度值(gray values)訊號, 或將之視為一組一維類似時序列之訊號。基於這樣的觀念, DPIV 之速度場分析方法係利用 CCD 拍攝兩張具有時序性之曝光影像, 在影像中之顆粒質

點極為接近之條件下，藉由互相關函數(cross correlation function)分析出速度向量流場。由於兩張影像具時序性，所以其流向容易判別出來，而使用兩張影像經互相關函數計算得到之精確度較一張影像經由自相關函數(auto correlation)之精確度高。

2. 單一影像多次重複曝光之 PIV: 質點影像之記錄可由照相機底片或由 CCD 攝影機獲得。再將所擷取之流場影像劃分為數百個或數千個小質問窗(interrogation windows)，利用楊氏干涉條紋(Young's fringe)(Meynart, 1980; Reynolds et al., 1985)或自相關函數法(He et al., 1984; Vogel and Lauterborn, 1988)將鄰近之流體利用統計的方式找尋每個質問窗最有可能的位移向量，而速度的大小等於位移量除以曝光時間。然而，自相關函數法為質問窗內曝光質點本身的比對方式，且位移方向之決定可能為任意方向($\pm u$, $\pm v$)，再由移動影像方式利用統計的方法，決定出最有可能之位移 (Adrian, 1986; Landreth and Adrian, 1988)。質點重複曝光之優點為質點顆粒較不易發生重疊現象，降低影像所產生雜訊，可提高量測之準確度 (Marzouk and Hart, 1998)。
3. 時序性影像單一曝光之 PIV: 此方法又稱為 DPIV 法，利用數位攝影機儲存影像訊號格式，如 640x480 個畫素，經由互相關函數法(cross-correlation function)計算出影像質點之大小及方向，再將其

位移量除以取像之時間間距決定其速度向量 (Willert and Gharib, 1991)。然而，在時序性之質點影像中，於質點分佈密度高時可能會有質點重疊現象出現(over-lapped)，使雜訊的比率提高，影響精確度。另一方面，DPIV 法也受到時序性之影像影響，一般高畫素 CCD 所擷取的速度約每秒 30 張，影像實際長度一般亦不超過 10 公分，因此於較高流速下之流體，需要增加擷取影像的速度，如每秒數百張之速度，因此需要更高的儀器設備費用，但高速擷取影像將會降低影像的品質。

4. DPIV 應用在流場上，受限於流場速度與空間中質點動態範圍，在分析上，亦受到質點密度及影像品質之影響。而空間中之質點動態範圍是受到 CCD 之取像範圍有限，其攝影速度亦受到限制。因此許多學者仍就問題所在，在技術上加以改善，如 Jaw and Wu (2000)及 Rehm and Clemens (1999)在技術控制上利用雷射光之分光方法，如 ARGON 雷射為藍、綠合成之光束及利用多彩聲光調變器，使雷射光束能快速進行切換，此方法又稱為交替色彩影像法。
5. 將 PIV 及 DPIV 之優點結合在一起，並利用同步訊號控制之原理，利用不同之訊號電壓強弱來控制雷射光束交替切換顏色，經由 CCD 擷取影像，利用單一張影像之質點重複曝光及經過雷射切換

光束後之藍、綠質點顏色不同，將其訊號值區分開來，清楚地辨識出空間中之質點，再利用互相關函數法得知流體中質點運動之速度向量值。本試驗將利用 Jaw and Wu (2000) 的交替色彩影像測速法 (alternating color image anemometry, ACIA) 之觀念，進行流場的分析，並計算流場之速度分佈狀況，並配合試驗水槽及模型水工結構物來進行試驗，瞭解後陷階梯流之流場。

1-3-2 背向階梯流相關研究

早期階梯流之研究，大多由實驗方法來從事觀察與分析。如 Abbott and Kline(1962)利用熱絲儀(hot film)與可視化技術來進行單階及雙階後陷階梯壓力流場的速度剖面、迴流區大小等的研究。

Honji(1975)經由實驗方式觀察水流經後陷階梯平版時，發現複合點之位置有隨流量改變而移動的現象。

Hyun(2003)比較 LDV 及 PIV 兩種方法於量測明渠流流場，發現 PIV 法在同樣的精度下可以比 LDV 法較快速地量測到精確的流場。並且利用時間平均法平均 1000 張影樣，算得流速場、渦度場，及剪力場。

Grant et al.(1992) 利用 PIV 法量測雷諾數($Re=45,000$)之後陷階梯流流場，並利用 PIV 有限的資料點與 LDV 所量測出來的大量資料來做精度的比較。

Huang(1994)利用以影像為基礎的 PIV 法來量測後陷階梯流之空間及時間上的資料。該實驗雷諾數為($Re=43,00$)，且坡度控制為 2.5 : 1。Huang 發現當流場的速度梯度很大時，PIV 的可靠性及精確性將會產生問題。為了增進計算之精確度，Huang 利用 PID(particle image distortion)法來改善計算上的精度。

Scarano(1999) 利用PIV法量測雷諾數($Re=5,000$)之後陷階梯流流場，發現在複合長度 $5.9h_s$ (h_s 為階梯高度)內，產生兩個渦流(一個主要一個角落)，並與Le et al.(1997)利用數值方法模擬之結果互相比較，發現結果誤差皆不超過 20%。

典型的背向式階梯流場，當流體到達階梯處時，由於流域的面積突張，而形成了流離現象(flow separation)，因為速度梯度的所造成的動量差，使得在階梯下方的區域產生了一個高紊流狀態的剪流層(shearlayer)；剪流層受到流域突然擴張的影響，產生逆向的壓力梯度而迫使流場向下彎曲，並且和壁面重新接觸而有了再接觸流場的出現。再接觸點、剪流層和壁面所形成的區域，則造成一迴流區。接觸點之後的剪流層，受到的垂直向下壓力梯度影響逐漸變小，而逐漸向上成長，形成再成長邊界層。複合長度(reattachment length)定義為由階梯根部至再接觸點之水平距離，而再接觸點即為複合點(reattachment point)。

本文主要利用 CPIV 法量測後陷階梯流之流場，並分析速度場、渦度場等，且探討不同流量、水深、階梯高度對後陷階梯流流場之影響，以提供後人於實驗或數值模擬之參考。對於速度梯度相差過大的流場，取像後之計算，流場上半部流速快之部分採用 CPIV 法，下半部流速較慢之部分採用 DPIV 法計算。

1-4 研究方法

本研究主要分為兩部分，一部份是試驗部分，另一部分是影像分析部分。試驗部分是由 ARGON 雷射光束作為光源，利用反射鏡將光源導引至試驗水槽，再利用聚光鏡將光束聚光，經由旋轉八面鏡，形成一各 3~4 mm 之光頁，進入試驗水槽，作為試驗研究之光源。水槽試驗部分，主要是利用長 3 公尺，高及寬各為 0.2 公尺之玻璃水槽，在水槽內放置一 1.5cm、3.0cm 高之壓克力板，進行光滑底床之背向階梯流流場研究。並根據不同流量及上游水位之條件進行相關試驗。影像分析部分則利用由 Fortran 程式語言所撰寫之運算程式進行計算，並將結果做一完整之分析。

1-5 本文組織

本研究採用彩色質點影像測素法 (color particle image

velocimetry)，簡稱 CPIV 法，應用於後陷階梯流場之研究。全文共分五章，主要章節內容簡述如下：

第一章為本文的研究動機、研究目的與相關文獻回顧，對前人於 PIV 法及後陷階梯流場之相關研究，做一探討，並提出本實驗研究之方法。

第二章主要將 CPIV 法之原理、處理方法及計算程式之部分做一詳細說明。

第三章為本實驗之研究方法，包括實驗設備、實驗程序，以及各實驗條件做一詳細介紹。

第四章為實驗之結果，並將每個實驗案例做一詳細說明，並將所得之複合長度與雷諾數及福祿數做半對數回歸，得到回歸方程式。

第五章為結論與建議，將本研究所得之結果做一完整的歸納陳述，並提出未來可以繼續研究之方向。