

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

突張流場之流場結構及不穩定現象實驗研究

An experimental study on the flow structure and the instabilities of a flow over a sudden-expansion

計畫編號：NSC 89-2212-E-002-150

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：沈弘俊 台灣大學 應用力學研究所

一、中文摘要

本計劃乃以實驗方法探討含中心擋體之二維突張階梯流場和不含中心擋體之二維突張階梯流場，在不同突張階梯高下，隨雷諾數變化所展現出的流場結構特性。在實驗方法上，採用熱線測速儀來量取流場的速度、和紊流強度，並利用小型煙霧產生器及煙霧注入法產生煙霧，配合雷射切頁，觀察迴流區再接觸長度的變化，歸納出不同突張階梯下，再接觸長度隨雷諾數的變化趨勢。同時，藉由數位 CCD 攝影機及影像擷取卡之助，擷取在不同情形下的流場顯影照片，以利觀測流場結構。從實驗結果得知不含中心擋體和含中心擋體的再接觸長度變化趨勢，發現到再接觸長度隨雷諾數的變化皆具有類似的趨勢；對含中心擋體和不含中心擋體的迴流區做比較，歸納出含中心擋體與不含中心擋體的異同，其中並對長邊、短邊迴流區的交換現象有較清楚的分析；另外在固定的雷諾數下，改變背向階梯的高度，發現長邊及短邊迴流區的生成位置有其固定性，並不會隨階梯的改變而造成變換，而是由主流偏向來決定。

關鍵詞：二維突張階梯流場、流場型態、流場結構、不穩定現象。

Abstract

This project is a continuous work to our previous research which was a study on an axisymmetric sudden-expansion flow. This study further investigates a two-dimensional flow over a sudden-expansion, with and without a center-body plate. The flow structures behind the expansion step, under various expansion ratios and Reynolds numbers, and flow

instability phenomena are investigated by experiments. The experimental techniques used include flow visualization, thermal anemometry, laser-Doppler velocimetry (LDV) and particle image velocimetry (PIV). The major parameters are the Reynolds number and the height of the sudden expansion.

The first part of this study is to investigate the flow characteristics for a two-dimensional flow over a sudden expansion. These properties include the reattachment length, the flow symmetry, and the interchanges of the long and the short recirculation zones. Further, a flow with a center plate is studied. Comparisons for these two different flows are made. The detailed mechanism on the effects of the center plate on the two recirculation zones, the variations of the recirculation length with the Reynolds number, and the effects of the step heights on the recirculation zones are investigated experimentally. Moreover, the effects of the transient large-scale vortex shedding on the flow structure and the shedding phenomena at further downstream are studied.

Keywords: Two-dimensional sudden expansion, flow pattern, flow structure, instabilities.

二、緣由與目的

當流體流經一個具突張階梯的流場時，會於階梯後方產生迴流區，這種由背向階梯所產生的迴流區實際上的應用範圍非常廣，諸如：氣流對建築物的影響、大角度的擴張管、飛機機翼、引擎的燃燒室，或是燃料注入系統，都屬此種流場的運用。Eaton & Johnston (1981) 曾歸納出影

響再接觸長度的五項參數：(1) 流體未分離前初始邊界層狀態，(2) 分離點上的邊界層厚度，(3) 自由流的紊流強度 (free-stream turbulence)，(4) 流場中壓力梯度的改變，(5) 展弦比 (aspect ratio)。Eaton & Johnston 認為流體未分離前的初始狀態對再接觸長度有很大的影響，當流場為層流時，再接觸長度隨雷諾數增加而增大，當流場為過渡流 (transitional flow) 時，再接觸長度隨雷諾數增加先快速縮減，然後慢慢遞增；當流場為紊流時再接觸長度將不隨雷諾數的變化而改變，漸趨於一定值。

關於分離點邊界層厚度的影響，Ghoniem & Cagnon (1987) 利用數值的方式，來模擬低雷諾數流場，結果顯示再接觸長度將隨邊界層厚度增加而增大。Driver & Seegmiller (1985) 藉由改變上板的角，達成壓力梯度的改變，發現逆向壓力梯度愈大，則再接觸長度愈小。Narayanan *et al.* (1974) 以改變階梯高度的方式促成壓力梯度的改變，然而其結果顯示，壓力梯度並沒有對再接觸長度造成太大的影響。David & Seegmiller (1987) 提出於背向階梯後方，可判斷出兩種型態的擾動現象 (1) 剪流層的隨機飄動 (flapping)，(2) 週期性的渦流流逸。並認為隨機飄動現象是由於剪流層紊亂所造成的。Nasr & Lai (1997) 曾在流場中加入和基本頻率同大小的頻率去做激擾，發現不論勢核流 (potential core)、結合長度 (combined length)、合併長度 (merging length) 都會因激擾的加入而減少，但捲積量 (entrainment) 卻會增加。他的結果證明了發展自剪流層的條理性渦流結構，在流場中扮演了極重要的角色。因此，在本計畫中，研究背向階梯後方的流場狀況，並歸納出影響迴流區的參數，將利於對背向階梯流場的控制，對實際工程狀況中的背向階梯流場運

用，將產生更大的助益。

三、結果與討論

3.1 設備及量測方法

本實驗是以一個開放式的小型風洞來完成，如圖一，風洞入口處以一五匹馬力的鼓風機來驅動，利用變頻器控制鼓風機轉速來調整所需風速。風洞本體自入口端起依次為第一級擴張段 (diffuser)、安置室 (settling chamber)、第一級收縮段 (contraction)、第二級擴張段，安置室和第二級收縮段，然後再接到測試段的入口，測試段設備圖如圖二所示，測試段入口大小為 20cm x 2cm，整個測試區寬 20cm，長度為 40cm，為了能觀測流場內的迴流區情形，所以從上游至下游，沿平板的中心線，每隔 0.5cm 鑽一直徑 2mm 的圓孔，使煙霧能由這些小孔流入測試段，以利觀察流場的特性。本實驗使用熱線測速儀來作分析，數據擷取系統是使用 Adventech PCL-718 訊號擷取卡，反應頻率最高可達 100kHz，利用 486DX2-66 個人電腦控制擷取卡來處理擷取數據。流場觀察是利用注入煙霧，觀測時，利用雷射及 CCD 攝影機拍攝流場狀況，再將所錄之影像藉由影像擷取卡轉存成數位資料存於電腦上來分析。

3.2 研究與討論

首先，我們討論在不合中心擋體的情況下，再接觸長度隨雷諾數與幾何形狀的不同所產生的變化趨勢，在本文中，定義迴流區長度較長的一邊為長邊迴流區，以 X_L 來表示，迴流區長度較短的一邊為短邊迴流區，以 X_S 來表示，而發生長邊迴流區那一邊的階梯高度以 H_L 表示，發生短邊迴流區的階梯高以 H_S 表示。圖三是固定其中一邊階梯高度為 0.5cm，改變另一邊階梯高為 0.5cm、1cm、1.5cm 及 2cm 時，所得的再接觸長度變化趨勢。圖中很清楚的看到短邊迴流區長度 (X_S) 在低雷諾數

時，隨著雷諾數增加而增加，在到達一個最大值後，隨雷諾數呈一遞減趨勢。圖四是在 $H_S=0.5\text{cm}$ 、 $H_L=1\text{cm}$ 的幾何條件下，迴流區的顯影照片。接下來則說明含中心擋體時的在接觸長度變化情形，當其中一邊的階梯高度固定為 0.5cm ，另一邊階梯高度分別為 0.5cm 、 1cm 、 1.5cm 及 2cm 時，長邊、短邊迴流區的變化趨勢如圖五所示。短邊迴流區長度自低雷諾數起即隨雷諾數增加而緩緩增長，至過渡區時，迴流區長度較不穩定，有較大的起伏，而後隨雷諾數的續增而開始縮短，最終在紊流時達一定值，不再隨雷諾數而改變。

圖五(b)則是長邊迴流區的狀況，在低雷諾數時，再接觸長度隨雷諾數的增加而呈現近似線性的增長，在過渡階段，先隨雷諾數增加而縮短，然後又緩緩增加，直至最後趨於定值。

四、結論

由一系列含中心擋板及不含中心擋板的突張階梯流場，可發現在不同的突張階梯下，再接觸長度與雷諾數之間的變化趨勢大體上都相當一致，對短邊而言，再接觸長度於層流範圍內成一個線性增加，在過渡區中達最大值後逐漸下降，並於紊流區中漸漸趨於一定值。對長邊迴流區而言，長邊迴流區的再接觸長度也是在層流的範圍成線性增長，在過渡區初期因流逸的現象而有短暫的漸縮然後續增，在紊流區內逐漸的趨於一定值後，不再隨雷諾數而改變。

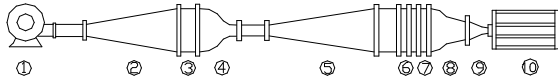
若將含中心擋體與不含中心擋體做比較，其主要差異可分為以下四點：(1)層流區：不含中心擋體的再接觸長度會隨突張階梯的不同而有較大的變異。(2)過渡區：過渡區中不含中心擋體的長邊迴流區會有較大的縮減，且漸縮發生的雷諾數範圍較

大。當背向階梯高接近時還會有長、短邊迴流區交換的情形發生，反觀含中心擋體的條件下則無此現象。(3)紊流區：含中心擋體的流場，其迴流區長度最終所達的定值較大。(4)對稱性：含中心擋體的對稱性較差，成對稱的雷諾數範圍較小。本實驗在不含中心擋體的條件下，發現長邊、短邊迴流區有互易現象的發生，而此現象的發生，會受到下列幾點的影響：(1)長邊、短邊迴流互換的時機，發生於長邊迴流區遞減而短邊迴流區增長時，此時長邊和短邊迴流區的差異漸小。(2)不同的階梯高造成兩側擾動值的不同(3)長、短迴流區互易必須在主流偏向不大時才會發生。此外，在含中心擋體的條件下，當長邊、短邊迴流區的發展穩定後，即使改變突張階梯的高度，也不容易造成長邊、短邊迴流區生成位置的改變，此時，長邊、短邊迴流區的位置是由主流的偏向來主導。

五、參考文獻

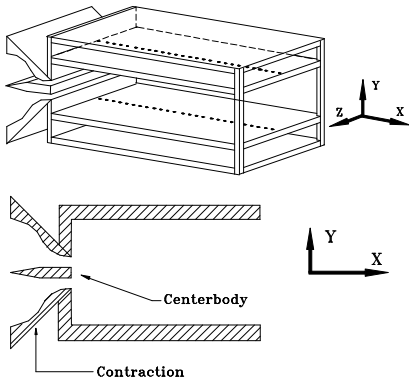
- Eaton, J. K. and Johnston, J. P., "A Review of Research on Subsonic Turbulent Flow Reattachment," AIAA Journal, Vol. 19, No. 9, pp. 1093-1100, 1981.
- Ghoniem, A. F., Gagnon, Y., "Vortex Simulation of Laminar Recirculation Flow," J. Computational Physics, Vol. 68, pp. 346-377, 1987.
- Driver, D. M. and Seegmiller, H. L., "Features of Reattach Turbulent Shear Layer in Divergent Channel Flow," AIAA Journal, Vol. 23, No. 2, pp. 163-171, 1985.
- Narayanan, M. A. B., Khadgi, Y. N. and Viswanath, P. R., "Similarities in Pressure Distribution in Separate Flow behind Backward-Facing Steps," Aeronautical Quarterly, Vol. 25, pp. 305-312, 1974.
- David, M. and Lai, J. C. S., "A Turbulent Offset Jet with Small Offset Ratio," Experiments in Fluids, Vol.24, pp. 47-57, 1998.
- Nasr, A. and Lai, J. C. S., "Two Parallel Plane Jets: Mean Flow and Effects of Acoustic Excitation" Experiments in Fluids, Vol.22, pp. 251-260, 1997.

六、附圖

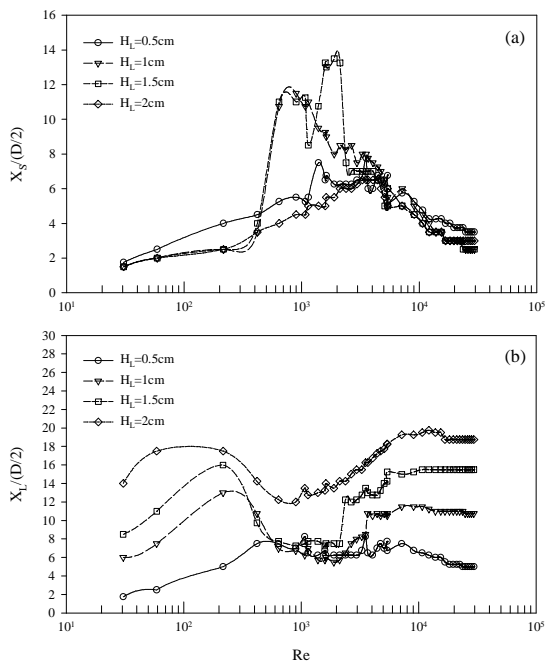


- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1. Blower | 6. Settling Chamber |
| 2. Diffuser | 7. Honeycomb |
| 3. Settling Chamber | 8. Contraction(4:1) |
| 4. Contraction(16:1) | 9. contraction(10:1) |
| 5. Diffuser | 10. Test section |

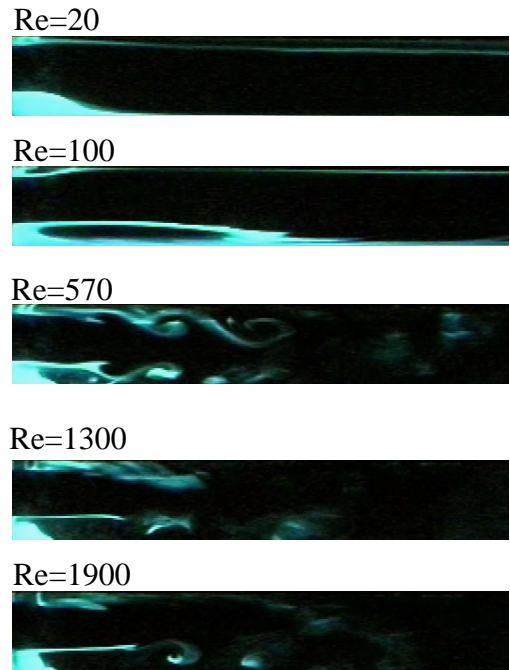
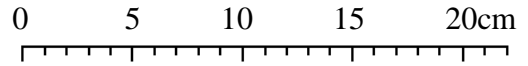
圖一 風洞設備圖



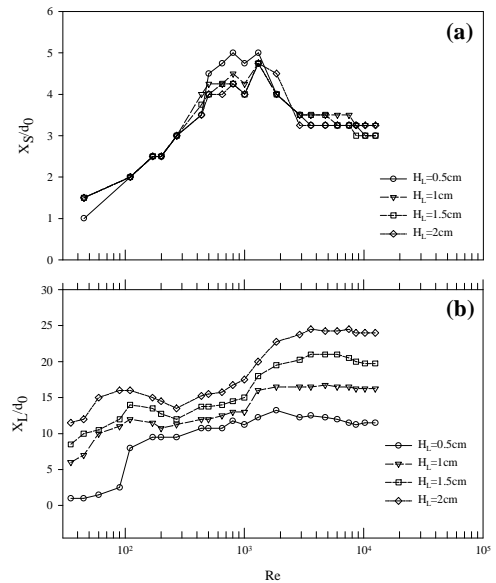
圖二 測試段設備圖



圖三 不含中心擋體之再接觸長度隨雷諾變化趨勢(a)短邊迴流區(b)長邊迴流區。(Hs=0.5 cm : Hi=0.5~2cm)



圖四 不含中心擋體的情況下，長邊迴流區與短邊迴流區的發生位置，隨雷諾數的增加而產生互易。(Hs=0.5cm : Hi=1cm)



圖五 含中心擋體之再接觸長度隨雷諾變化趨勢(a)短邊迴流區(b)長邊迴流區。(Hs=0.5 cm : Hi=0.5~2cm)