

淡江大學第四座風洞誕生

過去在鄭啟明前主任帶領下所創建的三座風洞實驗機具，不僅讓淡江大學風工程研究中心擠身國際級研究中心，亦在學術研究及產學服務上累積不少成果。在過去十年內，除了陸陸續續添購性能更佳的量測儀器設備外，亦針對目前具有的兩座開放式大氣紊流邊界層風洞進行了噪音防制，以及實驗室動線改造的重大工程。圖 1 所示即為第二號風洞實驗室動力段所安裝的降低噪音設施。



圖 1 第二號風洞實驗室動力段外觀

第一號風洞在多年來的使用下，不僅風洞發展段歪曲，且容易受到外界環境影響，在某些特定環境條件下，極可能造成量測數據失真的現象。同時為了解決該風洞的噪音問題。中心在 2014 年拆除整座第一號風洞實驗機具並重新設計。新的風洞斷面為寬 2.2 公尺，高 1.8 公尺，總長為 13 公尺。採用低噪音的離心式風扇動力段。如圖 2(a)所示為風洞內的模樣，圖 2(b)所示則為離心式風扇外觀。此外，更將風洞往上抬高，令底下行走高度為 1.8 公尺，方便人員進出裝設儀器，致使實驗效率大大提升。



圖 2(a) 第一號風洞內的模樣



圖 2(b) 第一號風洞動力段外觀

然而，不管是第一號、第二號風洞，亦或者是橋梁斷面風洞機具，均為傳統型吸入式風洞。這些風洞僅具有單顆主要風扇，吸入氣流並且藉由紊流產生器(例如阻牆、三角錐、粗糙元素塊、甚或格柵板)來被動產生實驗者所需要的流場。中心研究團隊在羅元隆教授建議、以及所有研究團隊成員的支持下，努力爭取獲得來自校方的五年經費共 750 萬元(每年 150 萬元)，配合土木系輪調經費 300 萬元、中心基金 400 萬元，共計 1450 萬元，於 103 學年度起積極建置主動控制型複數風扇風洞機具。其主要精神乃著眼於近來全球極端氣候變化劇烈，極端非定常性、非穩態氣流的現象激增。採用定常性假設所進行的頻譜分析，或許可以藉由傳統型風洞機具獲得不錯的設計風載重結果。然後若是比對於實場監測資料，則常會發現因非定常性而造成的嚴重設計偏差。表 1 中條列出傳統風洞機具與主動控制型風洞機具的差異性。

表 1 傳統風洞機具與主動控制型風洞機具的差異性

均勻紊流風洞	大氣紊流邊界層風洞	複數風扇風洞
平均風速	紊流統計特性	紊流統計特性精細化
均勻紊流強度	穩態隨機過程	非穩態隨機過程
定常性	準定常性	非定常性、瞬間加減速

複數風洞原名為陣列式主動控制型風洞，由於其具備有複數個可獨立控制的風扇，因此常以複數風洞簡稱之。細數目前具備主動控制型複數風扇風洞機具的個數，大概不出五座。首先是十餘年前日本宮崎大學所建置的複數風扇風洞機具，其風扇數目共 99 顆，每顆風扇均可獨立控制。以當時的建置技術來看十分不容易，而且也由宮崎大學的研究團隊發表不少研究成果。然而風扇馬達的性能未能持續提升，因此無法進行速度差較大的風速加速或急停的模擬。第二座複數風扇風洞為去年(2016 年)於上海同濟大學所完成的 120 顆風扇的風洞機具，其性能完善具備一般斷面橋梁實驗的尺寸，也符合風速加速或急停的模擬。以目前的測試結果來看，最高均速可以到達 24 m/s，最大加速度可以到達 25 m/sec。主導同濟大學複數風扇風洞的曹曙陽教授本身即自日本宮崎大學畢業。圖 3 左邊為日本宮崎大學的 99 顆複數風扇風洞；右邊則為上海同濟大學的 120 顆複數風扇風洞。

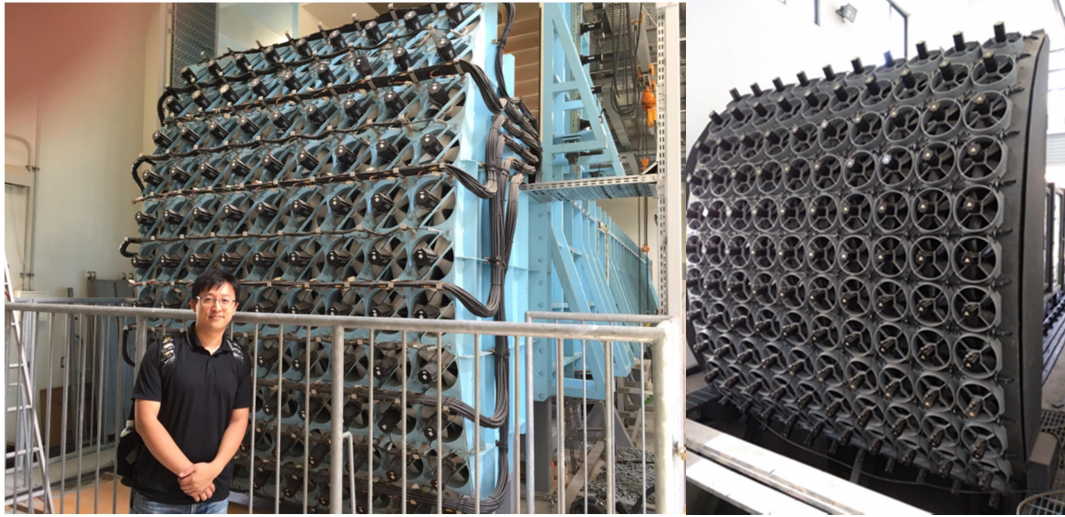


圖 3 日本宮崎大學(左)與上海同濟大學(右)兩座相似型態的複數風扇風洞機具

在今年(2017年)上海同濟大學所舉辦的 The First Workshop on Advanced Wind Engineering Testing Technology 論壇中，除了宮崎大學及同濟大學以外，其他受邀參與的機構，如美國福羅里達大學和印度 IIT，均計畫在未來一兩年內建置相同類型的風洞機具，進行非定常性、非穩態流場的研究。

淡江大學風工程研究中心所建置的複數風扇風洞機具，乃源自於羅元隆教授就讀博士學位的日本東京大學指導教授神田順教授。日本東京大學的小型複數風扇風洞實驗機具由於尺寸過小且設備不足，因此未能在研究上獲得較大的發展。圖 4 即為東京大學柏校區的小型複數風扇風洞機具，共有 18 顆小型風扇。



圖 4 東京大學神田研究室的複數風扇風洞

為能兼具多方面功能，淡江大學研究團隊採用神田研究室的風洞為設計雛形，擴大風扇數目為 72 顆，橫排為 6 顆，縱排為 12 顆，上下經過收縮段後，形成正方形的腔體試驗段。試驗段尺寸為 1.3 m x 1.3 m，長度為 6.5 m。圖 5 則為目前建置完成的照片。除了風洞本體以外，為了實驗進行順利，於試驗段天花板部分增設溝槽建置天車系統，可用以量測風速沿上下游的變化。另外在下游部分設計圓盤系統以方便進行傳統式風洞試驗。值得一提的是，為了能夠在未來提升馬達性能或者進行清理保養，設計開闔式動力段框架，可自由打開進行確認。

複數風洞的建置主要包含幾項工程，經費項目來源廣泛，其中屬於動力段最核心的部分，則是

72 組可獨立控制的伺服馬達以及葉片組。建置複數風洞的預定計畫為 103 學年度首先購入此 72 組可獨立控制的伺服馬達以及葉片組，由風工程研究中心大氣紊流邊界層風洞進行單元風扇組的校正與檢驗；接著於 104 學年度，結合土木系經費開始建置風洞本體包含動力段、收縮段、試驗段與出口段四段不同功能的大型鋼構風洞腔體，同時由建造風洞腔體的廠商接合 72 組單元風扇。因此，以教學功能來說，此複數風洞已具備基本功能，可以顯示出其與傳統風洞之不同，為我國第一座主動控制型可產生非定常流的大型中低速風洞，且為全世界第三座。立即應用於土木系教學科目—建築風工程、隨機振動學、風工程導論、計算流體力學的教學參觀及操作解說上，讓學生體驗並了解非定常流與定常流之差異性與重要性。105 學年度則以擴大研究能量為目的，進行複數風洞與所有傳統量測儀器設備之自動化控制工程，同時加強動力段穩定性與未來可更換更高性能之設備，進行了可滑動式避震外框的設備，方便學生檢驗訊號及線路問題。此外，另外於風洞天花板增設天車系統量測腔體參考風速壓，以及試驗段圓盤系統提供模型進行風力風壓量測實驗。截至 105 學年度七月底結束前，將可完成人機介面，方便實驗人員進行操作。



圖 5 淡江大學複數風扇風洞

研究主題方面，目前則有以下幾項初步擬定的中長期目標：

(一)非定常性流場之建置與性能探討

改變各組風扇入流轉速產生不均勻入流流場，改變風向達到非定常性流場其中之一特性。每組風扇已變頻馬達輸入具紊流特性之風速資料，測試產生均勻平滑流場與均勻紊流場的可能性，並藉由風速頻譜及任意兩點間的風速交頻譜探討此流場之空間相關性，確保此一主動控制式風洞可任意產生定常性與非定常性流場，亦符合實場量測經驗式所建議之流場特性。

(二)二維柱體於非定常性流場之風力影響與設計風載重評估。

於複數風扇風洞試驗段內架設二維柱體(矩柱與圓柱)，探討風向改變對於此兩類基本結構外型模型之風力係數分布。進一步討論表面風壓分布與風壓頻譜特性與定常性流場之不同，進行建築物設計風載重之非定常性評估。

(三)建置 PIV 設備了解結構體周圍流場的特性探討

藉由 PIV(Particle Image Velocimetry)設備與煙流可視化的技術，可細部觀察流體於結構體表面產生之邊界層流及剪力流特性，探討流體於曲面鈍體表面粗糙度產生之分離現象及其對設計風力之影響。

(四)突風現象對二維柱體產生之風力分布探討。

突風現象為一極度非定常性氣流，此一氣流於風洞內之模擬可藉由複數風扇風洞入口段與試驗段前段接合處之兩側壁面設置開合機關予以實現。此一開關閉合時可導引風扇產生之流體排出試驗段，瞬間開啟後可將流體導入試驗段內。此時被瞬間導入的流體對設置於風洞試驗段內的二維柱體產生瞬間風力即可模擬突風產生。進一步可探討改變開合機關運作時間長短(time duration)產生之不同突風(overshoot phenomena)的峰值對設計風載重之影響。

(五)非定常性入流條件與數值模擬分析之研究比較。

於建置前期參考國外複數風扇風洞於含風向角之均勻(uniform)入流狀況之相關參數，依據中心擬建置之複數風洞性能調整數值模擬入流參數，進行前置測試作業，可做為複數風洞性能測試之參考。調整流況分為平滑(smooth)與紊流(turbulence)2種，調適出不同之入流風攻角。本研究除可有效縮短複數風洞性能測試時程，並與傳統數值模擬之均勻流給定方式進行比較，探討其風場之變化特性。

(六)重現大氣邊界層流與數值模擬分析之研究比較。

於建置前期參考國外複數風洞於大氣邊界層入流狀況之相關參數，依據中心擬建置之複數風洞性能調整數值模擬入流參數，進行前置測試作業，可做為複數風洞性能測試之參考。調整流況分為都市、市郊以及開闊等3種地況，調適出不同之大氣邊界層入流條件。本研究除可有效縮短複數風洞性能測試時程，並與傳統數值模擬之大氣邊界層給定方式進行比較，探討其風場之變化特性。

以上所列六個研究題目僅為初步規畫可進行之研究，俟複數風扇風洞建置後，與傳統型風洞配合實驗更可引導出許多不同且同時具備深度廣度的研究題目。