

研究面向



A. 概述

長期致力於「流體力學」與「燃燒氣動力學」領域的基礎研究，並以基礎研究的成果支撐產業技術應用面的研發，兩者相輔相成。從**基礎研究**延展到**應用研究**，最終發明、發展與改良出多種可供工廠、家庭與實驗室使用的器械與技術，可概分為四個面相：

- (1)室內空氣污染、
- (2)室外空氣污染、
- (3)流體力學與燃燒氣動力學相關基礎研究、
- (4)因應研究需要而發展設備與儀器。

這些器械與技術的功用與共同特質是：

- (1)降低環境中的污染物濃度，對人的健康有益、
- (2)減少能源消耗、
- (3)降低噪音。

以下簡要說明進行這四個研究面相的背景與貢獻：

壹、室內空氣污染：工業廠房、家庭與實驗室通風技術的創新與發明

我國多數作業環境的室內空氣品質不佳，對工作人員的健康有很大的負面影響，必須以「通風技術」處理，工業通風的重要性在於與「人」的健康息息相關。申請人依據對污染排放氣罩以及通風系統的研究結果，發展出多項創新的高效率通風技術。鎖定生活中常見的空污來源(工廠、實驗室的粉塵與有害化學蒸氣以及家庭、餐廳廚房的油煙)，希望以「流體力學」改變現況。參訪多家工廠後，發現臺灣很多工廠，即使裝設了多部大吸氣量的排風機，作業現場仍舊瀰漫著化學品的酸味、粉塵或存在著高溫。目前存在的「通風」技術普遍以高吸氣量來移除污染物或熱，但效果仍舊不彰。一般人直覺的認為：通風不好，加大吸氣量就行了。然而，花了許多經費與功夫增大吸氣量，卻往往達不到預期的效果。生活中，許多廁所的通風以及廚房的排油煙設備，都是活生生的例子：即使裝設很大吸氣量的風機拼命吸氣，仍然聞得到味道，且伴隨產生很大噪音，消耗很多電力。欲以有效且省能源的方式將污染物或熱移除，必需基於流體力學的基礎研究，發展創新技術，才能四兩撥千金，以低能源消耗達到極高的污染物或熱移除效率，又可節省大量能源消耗。由於粉塵、化學蒸氣、油煙等都是危害健康的兇手，於是從十幾年前開始，在實驗室中陸續研發出許多可以有效排除工廠、實驗室的粉塵與有害化學蒸氣以及家庭、餐廳廚房的油煙之創新技術與設備；並每年固定巡迴臺灣各地，使用研究出來的創新通風技術，免費輔導超過 500 家工廠；且每年為產業界開設多天的通風課程，希望盡一己之力，改善工廠、實驗室、家庭的空氣污染，還給基層工作人員安全的作業環境。

貳、室外空氣污染：機車引擎與電廠大型排煙管道之改良與創新技術發展

我國機車引擎的廢氣排放對空氣污染的佔比頗高，國內的機車年生產量超過 100

萬輛，污染物排放量佔全國總污染排放近 1/3，排放的 CO、HC、NO_x 等有害物對健康不利，排放的 CO₂ 增加溫室效應。欲求降低機車引擎排放的污染，除了增進後處理技術及燃料技術外，基於流體力學的基礎研究，調整進氣的氣流運動型態以增強氣缸內的混合與燃燒，以降低排放廢氣中有害物的濃度，減少油料消耗，同時增強引擎出力，是重要的課題。我國有一些火力發電廠，燃燒重油或煤(例如：協和電廠、興達電廠等)，以致於在鍋爐內燃燒後產生大量含碳的煙粒與粉塵，這些含碳的煙粒與粉塵隨著高溫(300°C - 400°C)的燃燒氣體經彎彎曲曲的巨大綿長管道(管道矩形截面的高×寬可能達到 4~5 m × 7~10 m)輸送進入靜電集塵器濾除大部分煙粒與粉塵，再經下游管道與煙囪排放至高空中。在鍋爐與靜電集塵器之間的管道因彎彎曲曲造成偏流，使得管道進入靜電集塵器之氣流速度與煙粒粉塵在管道矩形截面的分佈極不均勻，造成靜電集塵器的電極負荷不均，集塵的效率大為降低，大量黑煙從煙囪排出，污染環境。在實驗室改裝的風洞中先進行了小尺寸的基礎實驗，研究出可裝設在管道彎角處的導葉片整流設計法(大型管道彎角處導葉片的整流設計法一般是各個工程公司的 know how，不易在書本或研究論文中找到有效的設計細節)，使管道彎角下游流體與煙粒分佈均勻，靜電集塵器恢復正常，且效率提高，煙囪不再冒黑煙。另外，在供油管道中，閥件設計與操作不理想，造成閥體與管道產生強烈振動與噪音，在管道中輸送的液體呈現不穩定現象產生黑煙與其他污染物。在實驗室中設計、打造了一部透明的閥流測試台，觀察與量測閥體產生 Cavitation 現象，尋求較佳設計與操作條件，使供油與燃燒穩定，降低黑煙碳粒與其他污染物的產生量。

叁、「流體力學」、「燃燒氣動力學」相關基礎研究

超過三十年的教學與研究生涯，深深體會：欲求「突破性」的創造發明，常常需要穩固深厚的基礎研究作為基底。研究方向是與「流體力學」、「氣體動力學」、「燃燒科技」領域相關之題材。例如：噴流、尾流、剪流、旋流、流動邊界層、管流、燃燒氣動力學、聲波與流動交互作用、飛行體流體工程、引擎技術、流動控制技術、局部通風技術、整體通風技術、旋流燃燒器、風扇設計測試模擬、心臟血管流、電子與機械產品散熱技術、車輛流體工程、機翼氣動力技術、鈍體尾流、彎管流動整流、噴射燃燒流、推挽式氣簾技術、橋墩渦流消除技術、整流技術、風洞設計、水洞設計、拖拉式水槽設計、流動可視化技術、雷射量測與校準技術、儀器設備發展等等。這些基礎研究的結果，延伸為應用研究的基底，衍生出突破性的發明。

肆、因應研究需要而發展設備與儀器

由於進行研究時，常常遇到儀器設備與校準設備昂貴的問題，若要進行前瞻性的實驗，市場往往沒有現成的設備，所以許多設備必需自己設計、加工、組裝。這樣做，對申請人來說，是驅動進步的一大動力；對學生而言，是非常紮實的訓練。這樣做，可培養從問題的前端思考，並增強親自動手動腦解決問題的能力。而設備與儀器盡量自己設計、製作、安裝，也培養與醞釀了創造發明的思考與機會。

B. 重要研究成果與貢獻

以下分就上述四個研究面相舉例說明：

壹、室內空氣污染：工業廠房、家庭與實驗室通風技術的創新與發明

一、斜氣簾式化學排氣櫃(IAC Chemical Fume Hood)、氣簾式化學排氣櫃(AC Chemical Fume Hood)

背景說明：日常的經驗顯示，使用「化學排氣櫃」(Chemical Fume Hood)的化學、食品、纖維、粉塵、微奈米粉末、醫藥、材料等等相關工廠、實驗室、無塵室，經常瀰漫著化學品的氣味，在實驗室與工廠外面就可以嗅到，意味著污染物洩漏。這類在使用化學排氣櫃於生產或實驗過程的污染物洩漏，在世界各地經常造成人員健康與生命的威脅。例如：1948-1967年間，美國有3,637位與化學排氣櫃工作相關的化學師死於不同癌症如胰腺癌及淋巴瘤；1964-1977年間，3686位曾於杜邦公司服務與化學排氣櫃工作相關之化學師死於結腸癌、皮膚癌及前列腺癌；1985-1988年間，7位服務於BP Amoco公司與化學排氣櫃工作相關之研究員得惡性腦瘤；…。我國目前各單位在使用中的排氣櫃總計超過15萬臺，每年新裝設的產品超過7仟臺。然而，我國於化學排氣櫃的設計、製造、檢測並無明顯進展。

創新與貢獻：檢視美國、德國、英國共十部知名傳統型化學排氣櫃的結構，進行氣體流動方式、洩漏情形的實驗。發現目前存在的傳統型化學排氣櫃為仿造古老時候的壁爐設計，另外在櫃頂櫃頂管道下游加裝一個抽風扇，並在排氣櫃的內面添加一片有開孔或開槽的背板，以改善有毒氣體的流動狀態；或者將入風口的門檻、門柱修改成流線型；或者在現存架構之下進行枝節性的修改，但是很難檢測到不洩漏的化學排氣櫃。難怪使用化學排氣櫃以移除有毒氣體的實驗室，經常可以聞得到濃濃的化學品酸味，明顯是個潛在無形的殺手。接著進行流體力學的基礎理論研究，探討物理並掌握設計參數特性；再依據基礎研究的結果發展創新型的化學排氣櫃，共歷時超過六年，發展出「斜氣簾式化學排氣櫃」(IAC Hood)與「氣簾式化學排氣櫃」(AC Hood)。經過歐盟EN-14175與美國ANSI/ASHRAE-110兩種排氣櫃標準測試法檢測的結果，櫃內有毒氣體即使在高溫作業時，也幾乎是零洩漏(洩漏濃度 < 0.005 ppm，在精密儀器歸零後的跳動值之內)，性能大幅超越目前全球各地使用的傳統型排氣櫃(洩漏濃度約 > 0.05 ppm)；SGS的檢測結果為ND (Non-detectable)。因僅使用很小的吸氣量，所以能源消耗率大約只有傳統型排氣櫃的一半，噪音也大為降低。已有專利授權及技術移轉，並已商品化，產品已被廣泛使用於工業界與學校。最有名的例子：近三十部大型「IAC Hood」安裝於遠東新世紀的高危害污染物生產線，取代原有的傳統型排氣櫃，結果原來必須隨時配戴呼吸防護具的全廠員工全部拿掉呼吸防護具；追蹤氣體測試結果，汙染物幾乎零洩漏；廠方自行測試全年用電消耗的結果，約只有過去使用傳統型排氣櫃的一半。

「AC Hood」受美國University of Massachusetts at Lowell 的Professor M. J. Ellenbecker邀請運送至美國，接受奈米粉末洩漏測試。結果顯示：美製的三部化學排氣櫃的奈米粉末洩漏濃度都是大約 $> 25,000$ particles/cm³，而「AC Hood」的奈米粉末洩漏濃度 $< 1,500$ particles/cm³，Prof. Ellenbecker將結果發表在Annals of Occupational Hygiene, 2010。

「AC Hood」技轉給日本的Dalton公司。這些創新發明對化學、生醫、材料、電子、藥理、食品…實驗室與生產線之操作員、研究人員、學生等的健康有助益。



傳統型化學排氣櫃(網路照片)



IAC 化學排氣櫃

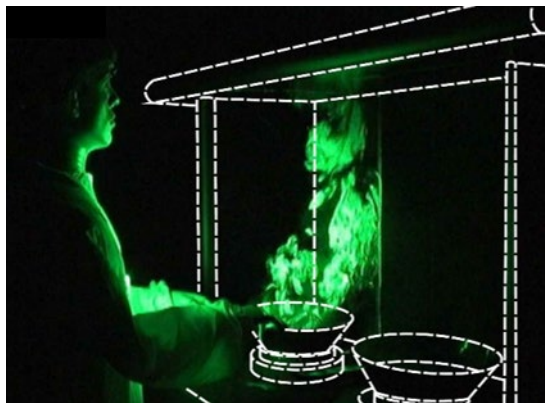
二、傾斜四渦流排油煙機、渦流隔離式排油煙櫃

背景說明：日常經驗顯示：許多家庭以及餐廳的廚房，烹飪時，油煙四散，並擴及全家與顧客進食區。人們習以為常，誤將油煙洩漏的氣味當成是菜香味，以為如此方為正常的烹飪。油煙中含有PAHs、MeIQx、DNP、Ultra Fine Particles等致癌物，許多研究報告指出：華人社會家庭主婦與廚師的肺部罹癌率高居全球第一的原因，與華人使用煎、炒、炸的烹飪方法產生大量油煙，而廚房中缺乏有效的油煙移除裝置以致於造成室內大量油煙瀰漫息息相關(例如：Nature, Vol. 513, 2013以及許多醫生的研究報告)。然而，幾乎所有的排油煙機都在造型美觀以及提升吸風量方面下功夫，忽略了欲排除油煙，需使用流體力學的技術，而非只是一味的加大吸風量。所以，即使裝設了高價位、大吸風量的排油煙機，仍然聞得到油煙的洩漏味道；且因為使用大吸風量，所以噪音大，使得家庭主婦常常不願意開啟排油煙機。

創新與貢獻：先檢視國內、外共二十五部知名品牌傳統型排油煙機的結構，進行氣體流動方式、洩漏情形的實驗；接著進行流體力學的基礎研究，掌握造成洩漏與渦流的理論條件；再依據基礎研究的結果發展創新型的排油煙機，共歷時超過五年，發展出創新的家用「傾斜四渦流排油煙機」(IQV Range Hood)以及餐廳廚房的「渦流隔離式排油煙櫃」。當流體旋轉產生渦流時，旋轉中心區域會形成低壓。「傾斜四渦流排油煙機」的原理，是使用基礎研究的「流動拓撲學」(Flow Topology)，發展出「四渦流技術」與「渦流後傾技術」，將油煙吸入並限制於後傾之四個兩兩對轉的低壓渦旋中，有效抑制油煙散逸。最終開發出小型的「傾斜四渦流排油煙機」供家庭廚房使用、中大型的「渦流隔離式排油煙櫃」供餐廳廚房使用。兩者的共同點是：「大火爆炒辣椒也聞不到味道」、「廚房牆壁與各個瓶罐毫無黏黏的油垢」。追蹤氣體測試結果，「傾斜四渦流排油煙機」的最大洩漏濃度近乎於零(< 0.002 ppm，在精密儀器歸零後的跳動值之內)，傳統型排油煙機的最大洩漏濃度 > 10 ppm。「傾斜四渦流排油煙機」使用的吸氣風量約 $9 \text{ m}^3/\text{min}$ ，約僅為傳統型家用排油煙機(使用 $16 \sim 24 \text{ m}^3/\text{min}$)吸風量的一半或更小，所以噪音低，能源消耗小。技轉給台灣、中國大陸的廠家，含美國、歐盟、與日本的專利授權。台灣、中國大陸的授權廠家均已開發出商品，開始販售。使用者反應：使用兩年之後的廚房毫無油垢，煎炒炸時完全無油煙味，對使用者與其家人的健康有助益。另外，這些技術的衍生技術亦使用於工業高溫製程，在發熱體溫度 550°C ，發熱率大於 35 kW 的情況亦可無洩漏。



傳統型排油煙機洩漏嚴重



IQV 排油煙機近乎零洩漏

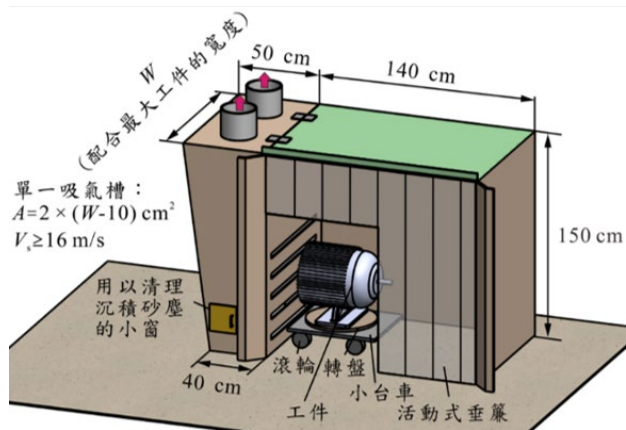
三、工業製程與廠房通風技術

背景說明：我國多數工廠的室內空氣品質不佳，對工作人員的健康有很大的影響。與勞動部及工業通風設備製造廠合作進行了多期的污染排放氣罩以及通風系統的研究，並發展多項創新的通風技術(例如：廠房通風設計的創新方法、污染物移除方法…)，目前持續將發展出來的通風技術以免費輔導與授課的方式推展至全國。

創新與貢獻：使用研究出來的創新通風技術，對近400家會產生高危害氣態與粉塵污染物之中小企業工廠，進行無收費之通風工程改善輔導。步驟為：瞭解高危害製程區作業環境→瞭解在輔導前之勞工危害物質暴露量→現場訪視評估→提供該廠各製程區之通風工程改善對策→撰寫報告並繪圖，提供工廠進行空氣品質與高溫的通風改善方法。輔導過的廠家，涵蓋中小企業至大企業，傳統產業至高科技業，例如：東元、奇美、南亞、寶成國際、中國焊條、功學社、中油、台塑、鑫科材料、國成麵粉、中強光電、中科院、中研院、工研院、大億交通、台灣瑤瑯、湯淺電池、亞洲化學、達興材料、台灣松下、中強光電、裕隆汽車、品傑光電、中科院、聯超實業、台鵬化學、大億交通、中國端子、京鼎精密、桓達科技、中美矽晶、聯誠金屬、宏積國際、新力美科技、天勵化工原料、展碩公司…。多家企業依據輔導報告施工，效果卓著。另外，數年來每年暑假期間對產業界免費開課，講授「通風設施技術與效能改善」並進行實驗示範。每年暑假於台北、台中、高雄各授課4天，每年培養產業界從業人士約1,200人次。培養出來的通風人才回到廠房，改善工廠、辦公場所、建築物的通風，對從業人士的健康有助益。



改善前鑄造廠馬達鑄件外殼打磨作業
改善前粉塵濃度： 6.90 mg/m^3

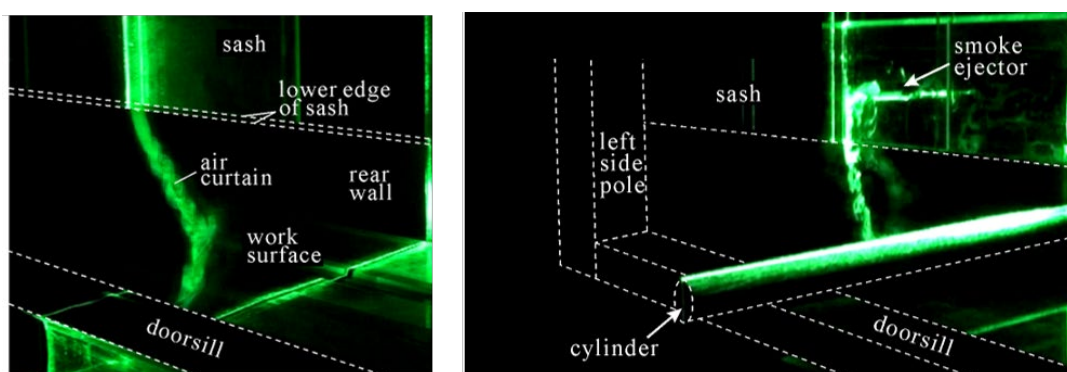


設計創新設備。
改善後粉塵濃度： 0.49 mg/m^3

四、氣簾式生物安全櫃

背景說明：醫學、生物等實驗，因為需要處理細菌與病毒，常常需要在「生物安全櫃」中進行。但「生物安全櫃」與「化學排氣櫃」一樣，經常有污染物洩漏的問題。

創新與貢獻：發展出「氣簾式生物安全櫃」，委請前勞委會勞工安全衛生研究所使用NSF/ANSI-49方法測試的結果，洩漏菌叢數為「零」，使用吸風量約為傳統型生物安全櫃的三分之二。此櫃體結構另以六氟化硫追蹤氣體測試法檢測，結果顯示：由櫃外經由櫃門開口進入櫃內以及由櫃內經由櫃門開口洩漏至櫃外的六氟化硫濃度均為近乎「零」；即使是工作人員站於櫃外，將手伸入櫃內進行作業動作，或者有人在櫃外走動，六氟化硫經由櫃門開口洩出與洩入櫃體的濃度也是近乎「零」，所以也可以作為「局部清淨室」使用。許多工業製程，例如：工件表面除塵、有機溶劑阻絕...，均可在此櫃中施行。已有技轉給台灣的廠家。

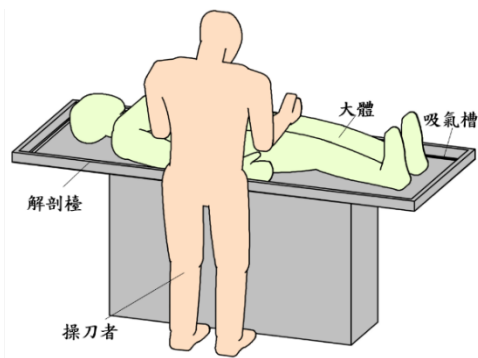


「氣簾式生物安全櫃」、「氣簾式局部清淨室」的氣流模態

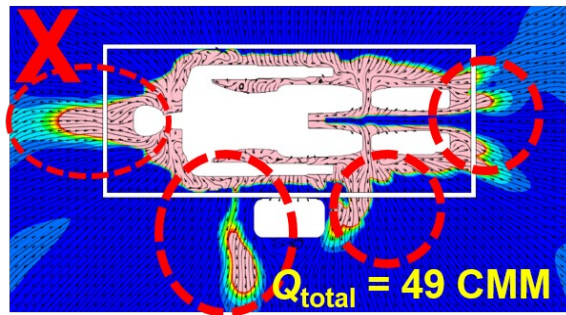
五、推挽氣簾式抗洩漏解剖檯

背景說明：醫學實驗室或醫院，若有進行大體解剖教學或研究時，在解剖工作開始前，大體須經過防腐處理，防腐處理使用的福馬林(Formalin CH_2O ，甲醛水溶液)味道刺鼻又對人體有危害性。一般「傳統解剖檯」在檯面四週或兩側有吸氣槽，連接室外風機抽氣，用以防止解剖時，福馬林蒸氣洩漏到工作環境，危害人體健康。但由於設計不佳且沒有考慮解剖室內環境氣流的影響，排氣效果通常不彰顯，甲醛蒸氣與刺鼻的氣味瀰漫解剖室。過去曾有人提議於解剖檯上方往下吹氣，以形成「吹吸氣流式解剖檯」，但由於吹、吸氣流速度並未經過理想控制，且環境氣流的影響仍然存在，所以常常使有毒氣體洩漏問題更加嚴重。

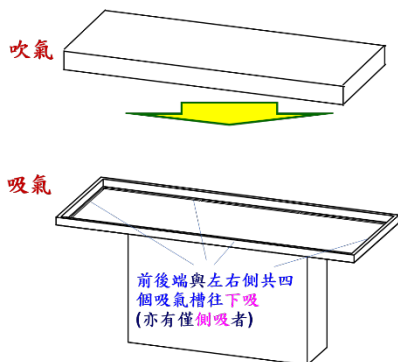
創新與貢獻：為防止福馬林蒸氣洩漏至工作環境，發展出給人類與動物大體解剖時使用之「包覆氣簾式抗洩漏解剖檯」以及「無頂氣簾式抗洩漏解剖檯」。於解剖檯上方設置一遮罩，遮罩內部兩側滑門上方設置橫流扇，往解剖檯兩側或四邊的吸氣槽吹氣，控制吹、吸氣速度，以形成足夠強健的氣簾，氣簾在遮罩兩側邊內壁產生氣膜，可以減少遮罩滑門開、合時污染物直接被擾動的程度。氣簾可以有效區隔污染物和鈍體尾流，防止污染物擴散至胸口處，避免人員移動時的干擾，阻擋污染物外洩；遮罩可以降低環境氣流的影響，且不影响操刀者與觀摩者的動作與視線，使用少氣量而達到近乎零洩漏。



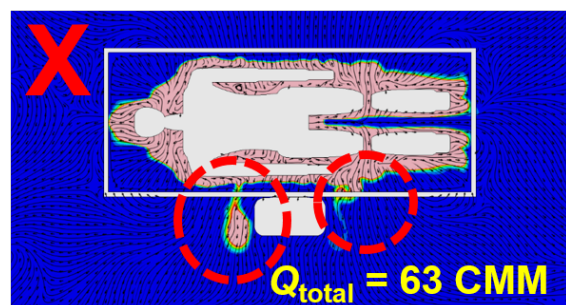
傳統解剖檯



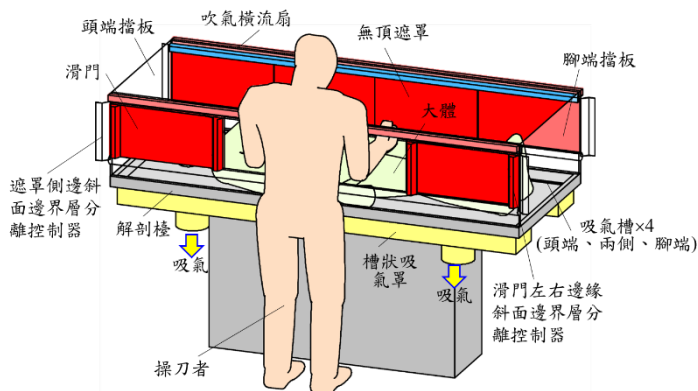
「傳統解剖檯」甲醛蒸氣洩漏



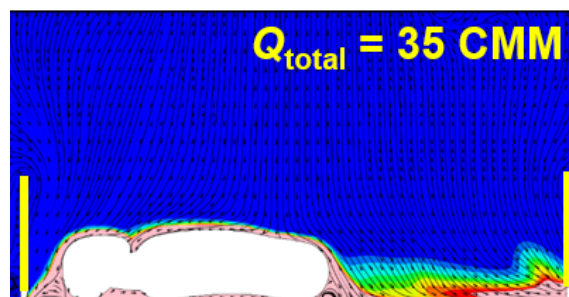
傳統吹吸氣流式解剖檯



「傳統吹吸氣流式解剖檯」甲醛蒸氣洩漏



無頂氣簾式抗洩漏解剖檯



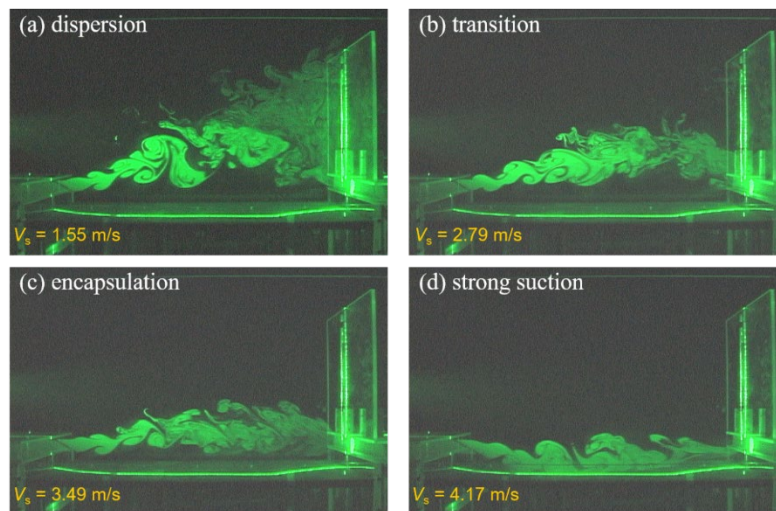
「無頂氣簾式抗洩漏解剖檯」
剖檯甲醛蒸氣近乎零洩漏

六、推挽式氣簾技術

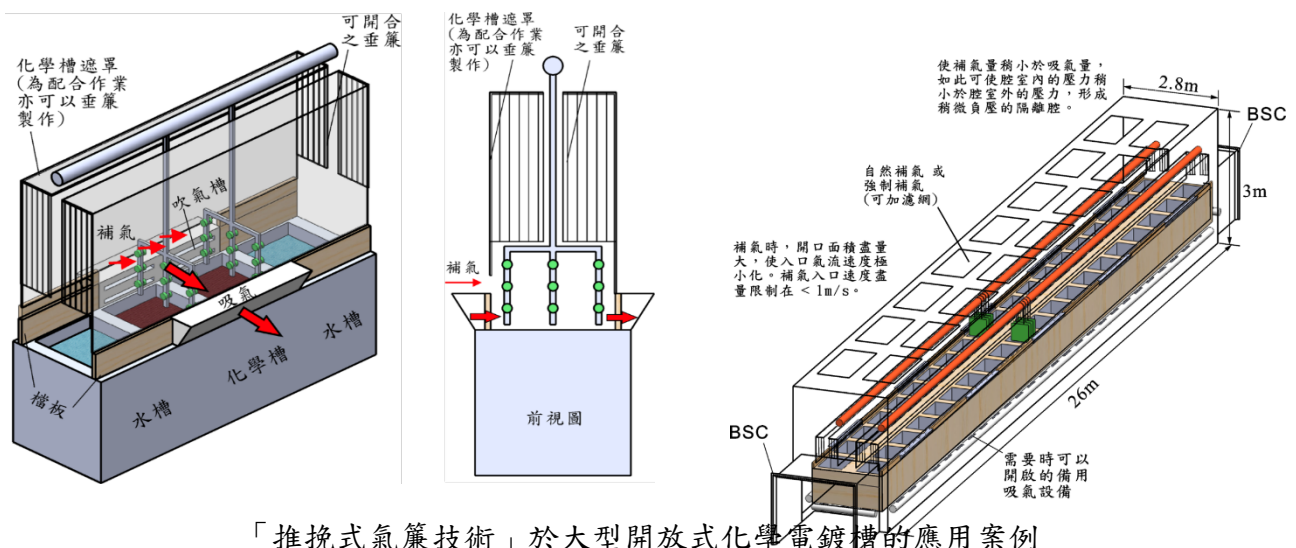
背景說明：「吸氣」(suction)的流體力學在航太、機械、化工、水利、造船等領域的課本以及研究論文所佔的篇幅相對於其他主題較為稀少。然而，「吸氣」的應用卻相當廣泛，例如：往復式引擎以及氣鍋輪機引擎的進氣、心臟舒張壓期間的血流、肺部呼吸擴張期間的氣流、合成噴流在腔室擴張時的吸氣、工業廠房、實驗室、家庭廚房與廁所、建築物等的污染物排放與通風等等。鑒於「通風」對人體健康的考量，申請人研究題材的一部分是以「吸氣」的流體力學以及在通風方面的應用為方向。使用空氣

動力學的原理進行吸氣氣流與吹氣噴流所組成之「複合氣簾流場」的物理特性與機制研究，同時研究「三維邊界層分離」的物理機制，並研發其流動控制技術。由這些流體力學基礎研究的結果推展至應用研究，發展出創新而可以降低氣簾兩邊質量與動量交換的技術與設備。

創新與貢獻：以基礎研究的方法與精神，完成「推挽氣簾式氣罩」(Push-Pull Air Curtain Hood)的發展，裝置在大型膠帶製造廠(亞洲化學)運轉。膠帶上膠過程原本會逸放出超過1200 ppm的甲苯蒸氣(法規規定的上限為100 ppm)，對工作人員及附近居住環境危害甚鉅。廠家另外加裝一部大風量風機後，甲苯蒸氣濃度降為800 ppm，無明顯效果。經拆除加裝的大風量風機，並使用「推挽氣簾式氣罩」後，降至13 ppm；能源消耗約降為原來以上吸與下吸方式吸氣而洩漏嚴重之氣罩的三分之一。此一技術持續推展至化學酸鹼鍍槽、鋼板上漆、膠帶製造...製程中。由此一研究結果所沉澱出的期刊論文獲得美國工業衛生協會AIHA的『2001年最佳工程論文獎』，在6/5/2002於San Diago頒獎。



「推挽式氣簾」的氣流模態

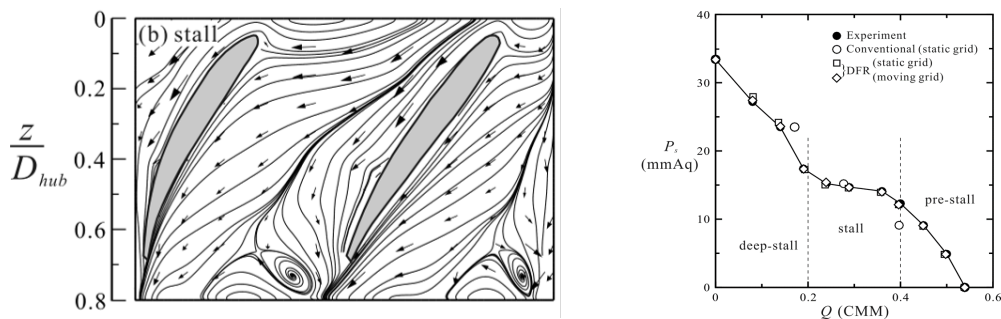


「推挽式氣簾技術」於大型開放式化學電鍍槽的應用案例

七、風扇高精度 CFD 模擬與設計

背景說明：工業應用設計風扇時，會使用一些輔助性的電腦設計軟體配合設計者的半理論經驗進行初步設計，然後使用 CFD 軟體計算此設計下的風扇性能曲線($P-Q$ curve)及流場，如果計算結果的 $P-Q$ curve可以接受，接著會去mockup，然後使用 AMCA 210 風扇測試台量測風扇模型的 $P-Q$ curve。通常這樣的程序，在使用 CFD 軟體計算風扇 $P-Q$ curve的步驟，不準度在 15%~30%，以至於整個設計與打樣程序需要幾次的來回修改，對時間、人力與經費都是負擔。我們在實驗室裡經過數年的努力與嘗試，試圖解決使用 CFD 軟體計算風扇 $P-Q$ curve 時，不準度太高的問題。

創新與貢獻：(1)成功發展出一套方法(DRF method)，使得在使用CFD軟體計算風扇 $P-Q$ curve時，計算結果與實驗結果比較，最大不準度小於3%。此方法已針對多個軸流扇、離心扇、多級串接風扇組等等多種不同型態的風扇做過測試，結果都一樣：最大不準度小於3%。此方法可以大量節省風扇開發時的時間、人力與經費。

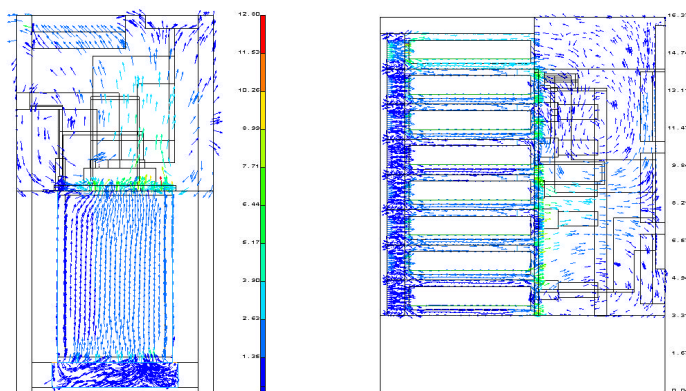


風機特性實驗與計算模擬

八、電子設備散熱

背景說明：與多家電子產業合作，開發CPU冷卻器、系統冷卻方法等等。完成高能量密度CPU在Notebook Computer的散熱方法的發展。同時，也發展出量測非導體的熱導率與量測CPU Cooler熱阻的設備。目前正在進行風扇流場的診測以及風扇與cooler及流道的匹配與整流技術的研發。

創新與貢獻：(1)開發出高能量密度CPU在Notebook Computer的散熱方法。(2)發展出量測非導體的熱導率與量測CPU Cooler熱阻的設備。

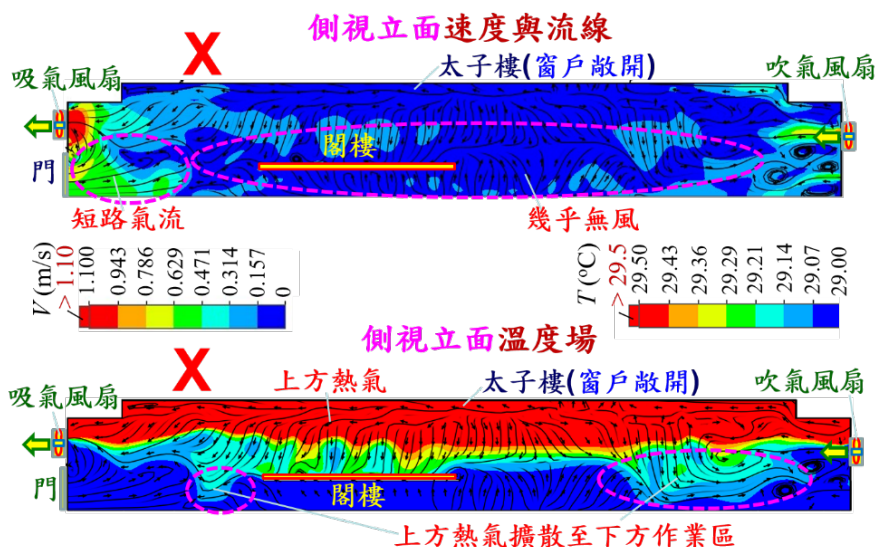


電子設備散熱實驗與計算模擬

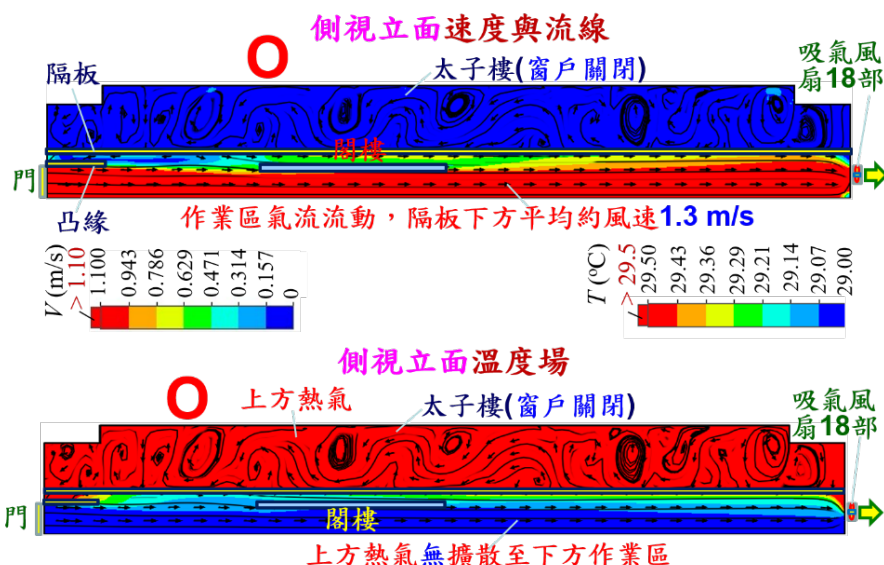
九、負壓工業廠房與建築物「機械通風」技術

背景說明：傳統廠房使用「機械通風」時，很多時候在廠房的一側牆面設置窗戶或開口，安裝數個或數十個大型風扇將室內空氣吸出室外；在另外一側牆面設置門、窗或開口，以進行自然補氣。由於外界空氣被從門、窗或開口吸入室內時會有壓力損失，所以室內形成負壓。實際經驗顯示，許多位於亞熱帶或熱帶的廠房，即使依照上述的基本安排型式建構，當氣溫稍高時，依舊悶熱。廠方慣常援引普遍性錯誤觀念：「有吸就有效，愈用力吸愈有效」直覺式想法，增加多部排氣風扇，認為如此可以「增加風量」。然而，通常即使耗費大量經費裝設了許多部風扇，消耗大量電力能源、忍受風扇噪音，還是除了窗、門口附近短距離內有一些風速之外，下方作業區大部份區塊仍然悶熱、無風。造成這些現象的原因是沒有調整流場結構，以致於在廠房與建築物內形成大迴流泡與低速區。

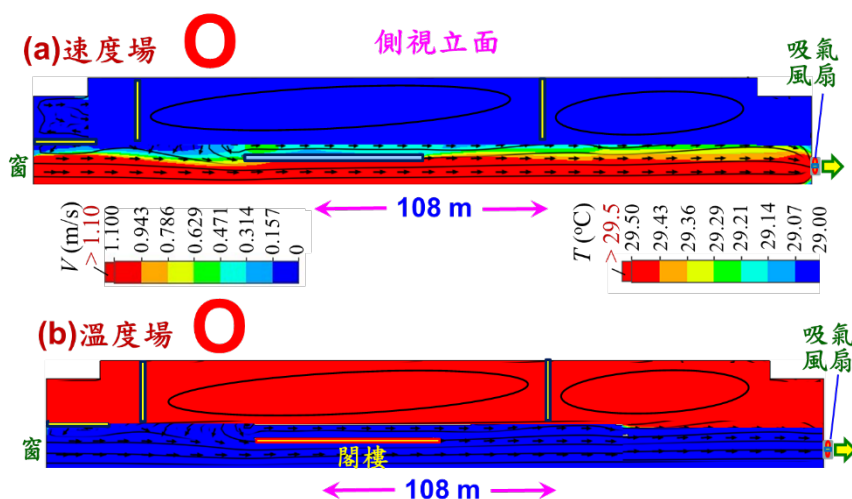
創新與貢獻：發展多種創新高效率技術，調整風扇與窗戶幾何位置、水平隔板或垂直氣流控制板高度與形狀(視天車或器械高度需求而定)、窗戶凸緣高度與長度、中繼凸緣前端位置、高度與長度，使用約僅傳統技術一半的風量，即可使廠房與建築物內部到處均有足夠速度的順暢氣流，節省許多能源。



使用傳統「機械通風方法」的廠房，即使耗費很大吸氣量，廠內依舊無風、悶熱。



使用創新「機械通風」的廠房，調整風扇與窗戶幾何位置、水平隔板高度與形狀，使用小吸氣量，廠內工作區有風、不悶熱。



使用創新「機械通風」的廠房，調整風扇與窗戶幾何位置、垂直氣流控制板高度與形狀，使用小吸氣量，廠內工作區有風、不悶熱。

十、正壓工業廠房與建築物「機械通風」技術

背景說明：當工業廠房內須保持低粉塵時，則若使用吸氣通風方法，廠房內將形成負壓，使粉塵容易從敞開的窗、門被吸入室內。若在窗、門裝設濾網以過濾粉塵，則濾網阻塞引致的壓損會大為降低軸流風扇的流量並增加耗能，清潔濾網與維修保養也因此耗時耗力，而且並不能極有效的阻擋粉塵進入廠房內。因此在每個敞開的窗、門設置濾網有實務上窒礙難行之處。處理粉塵進入廠房內的方法，傳統上是從戶外將空氣過濾後(也可能經過空調)，以風機經由管道引入廠房內(「吹氣」或「供氣」)，再使氣流從窗、門、孔洞逸出戶外，如此可使廠房內形成正壓，以阻擋戶外粉塵進入廠房內。然而傳統方法並無一套完整的設計方法，因此不易獲得精確有

效的正壓、解熱、稀釋污染物濃度的效果。

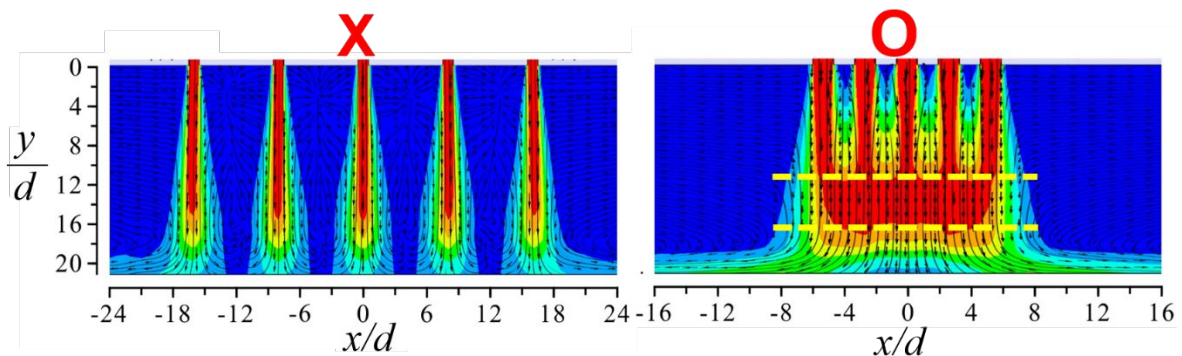
創新與貢獻：欲處理上述「粉塵」與「熱」的問題，發展出一套正壓工業廠房與建築物的設計方法(「稀釋增壓法」)。以風機供應經過濾的「冷」、「暖」或「常溫」乾淨空氣至廠房內，與室內原有的空氣混合(稀釋)；調整窗扉的開度，使氣流溢出窗扉開口時造成足夠的壓力損失(阻力)，廠房內即可達到「正壓」(廠房內的壓力比廠房外的大氣壓力高)。如此可以阻擋粉塵飄入廠房，又可降低廠房內的溫度，甚至污染物濃度。此套方法包括四個步驟，經由這四個步驟的計算與設計，可以使廠房內獲得精確有效的正壓、解熱、稀釋污染物濃度的效果。這四個步驟包括：

[步驟(一)]：廠房整體參數設計。以理論估算並調整需求總風量 Q_{total} 、窗戶總面積 A_{win} 、窗戶出氣速度 V_{win} 、室內外壓差 ΔP_{win} 。

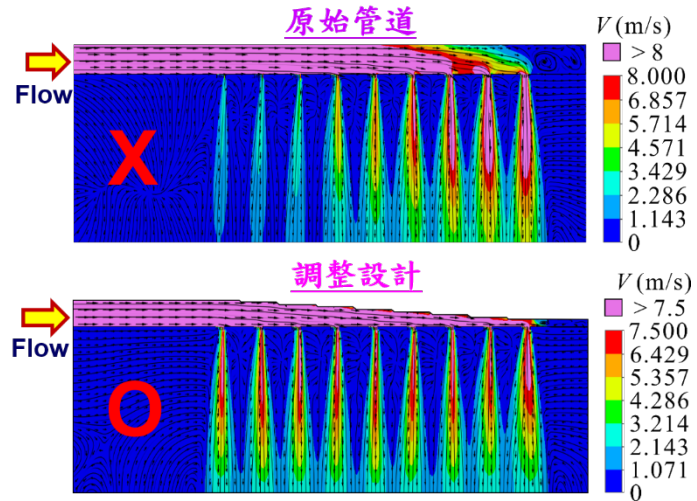
[步驟(二)]：管道高度與出風口幾何設計。以Data Bank選擇並調整管道安裝最小高度 h 、出風口長 d_j 、寬 w_j 、間距比 s_j/d_j 、出風口數量 N_j 、出風口平均風速 u_j 。

[步驟(三)]：出氣管道幾何設計。先以流體力學基本原理做初步設計，再以CFD計算，設計管道幾何尺寸(L_{duct} , W_{duct} , H_{duct})，以使各出風口風速或流量不均勻度達到滿意的低值。

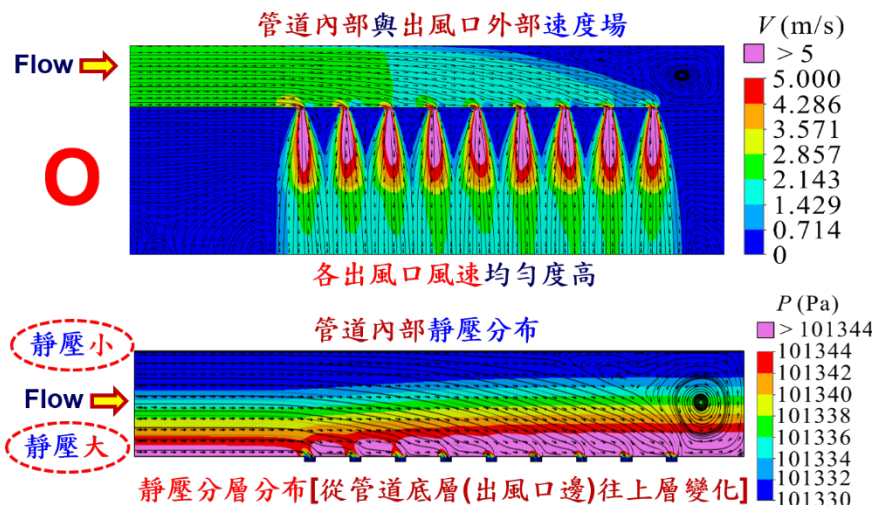
[步驟(四)]：廠房管道位置配置設計。以CFD估算並調整廠房內流場、溫度場、濃度場，借以調整管道安裝水平位置、高度與窗戶高度，以使廠房內的風速、溫度、濃度達到要求的數值。



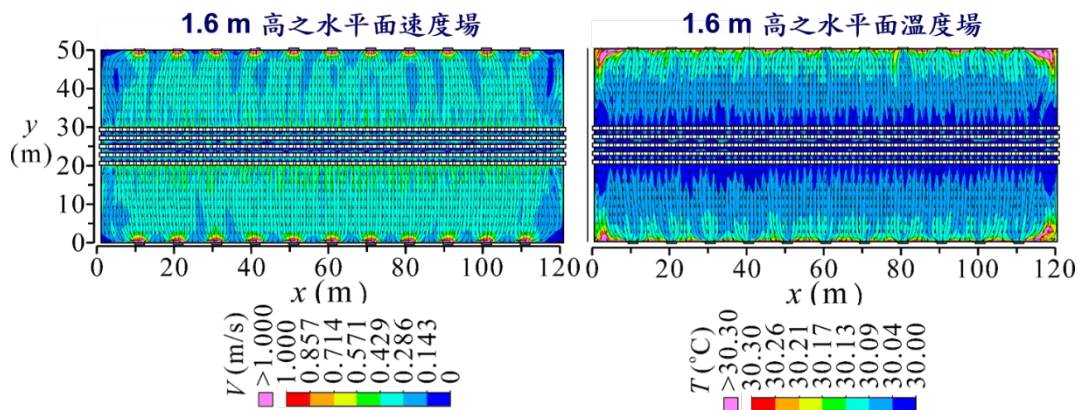
[步驟(二)]設計管道高度與出風口幾何，使氣流吹在人體時速度具有均勻度。



[步驟(三)] (方法 A) 出氣管道幾何設計，使管道各出風口風速或流量不均勻度達到滿意的低值。



[步驟(三)] (方法 B) 廠房管道位置配置設計，使管道各出風口風速或流量不均勻度達到滿意的低值。

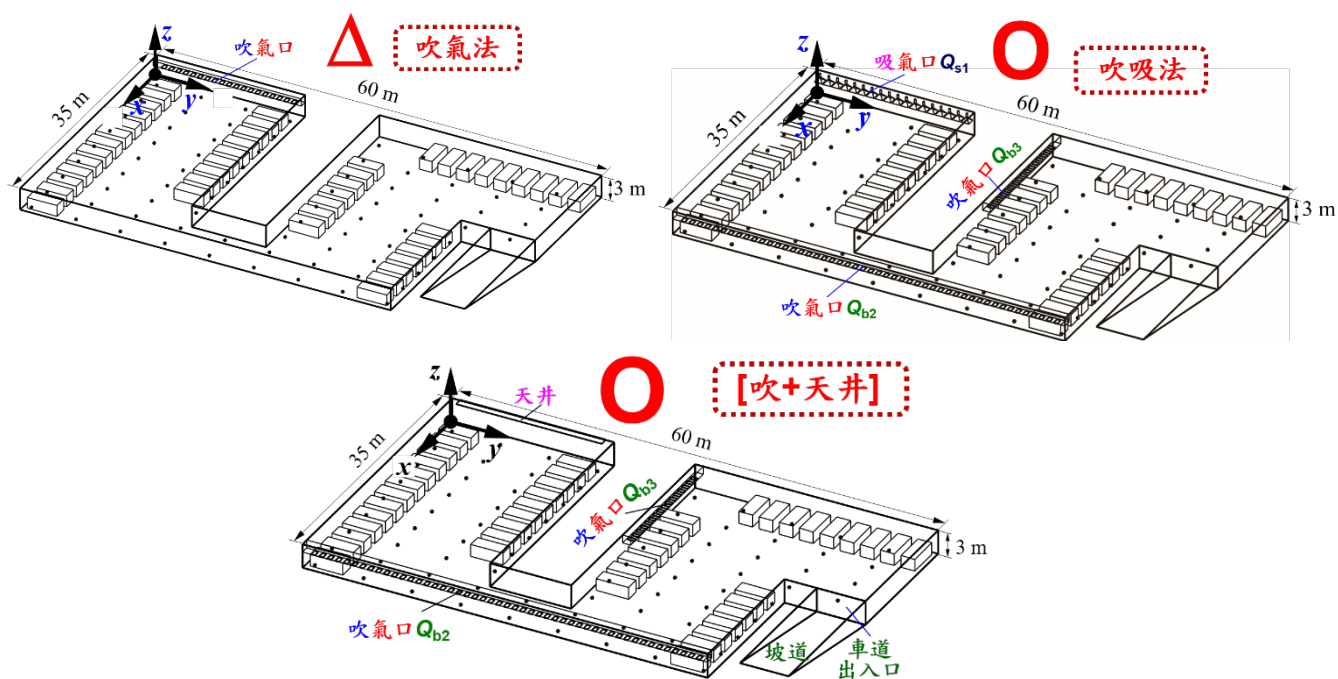


[步驟(四)] 出氣管道幾何設計，調整管道安裝水平位置、高度與窗戶高度，使廠房內的風速、溫度、濃度達到要求的數值。

十一、地下停車場通風技術

背景說明：地下停車場有車道出入口坡道及場內彎道，當汽車進出停車場或怠速時，汽車排出的廢氣及廢熱會使停車場內的污染物濃度(CO、CO₂、HC、NO_x等化合物)與空氣溫度升高。地下停車若僅有一個車道出入口，通常通風效果會極為低落；尤其是地下二層以下的停車場，污染物濃度累積與溫度上升狀況更為嚴重。有些情況，地下停車場設有天井或二個以上車道出入口，若位置設計得宜，天井與車道出入口或車道出入口與車道出入口形成自然對流，通風效果通常比僅有單一車道出入口好。若停車場面積較大或具有氣流無法流通的區域，在停車場內近屋頂處常懸掛多部「中繼風機」以幫助氣流流動，但是這種室內「中繼風機」的裝設，造成室內空氣擾動的成分較大，輔助污染物排出與降低溫度的效用並不彰顯。建築法規規定：「地下室停車場應按照樓地板面積每m²應有30 m³/hr (0.5 CMM/m²)以上之新鮮外氣供給能力，但使用空調設備者每小時供給量得減為15 m³/hr (0.25 CMM/m²)以上。」然而依照這些法規施行的結果，常見地下停車場空氣混濁、高溫的情況。究其原因，是因為以樓地板面積每m²新鮮外氣供給量應有某一數值以上(例如： $Q_{\text{area}} = Q_{\text{b,total}}/A \geq 0.5 \text{ CMM/m}^2$)做為設計基準，並無考慮停車場各區塊的吹氣量 $Q_{\text{b},i}$ 、總吹氣量 $Q_{\text{b,total}}$ 、幾何形狀、面積 A 與高度 H 、轉彎數目 N 、通風吹吸配置，明顯無足夠的科學分析支持。以 Q_{area} 做為唯一的設計參數與標準，不易獲得有效率的通風結果。

創新與貢獻：欲處理上述地下停車場空氣混濁、高溫的問題，發展出三套設計方法：[吹氣法]、[吹吸法]、[吹氣+天井法]。只要依照「停車場基礎幾何形狀圖例」(包括：「簡單型」與「複雜型」，亦可以是「多個圖例的組合與變形」)，根據面積 A 與高度 H 、轉彎數目 N ，以建議的通風吹吸配置或天井配置，即可在短時間內(purging time)清除單層或多層地下停車場的混濁、高溫空氣。

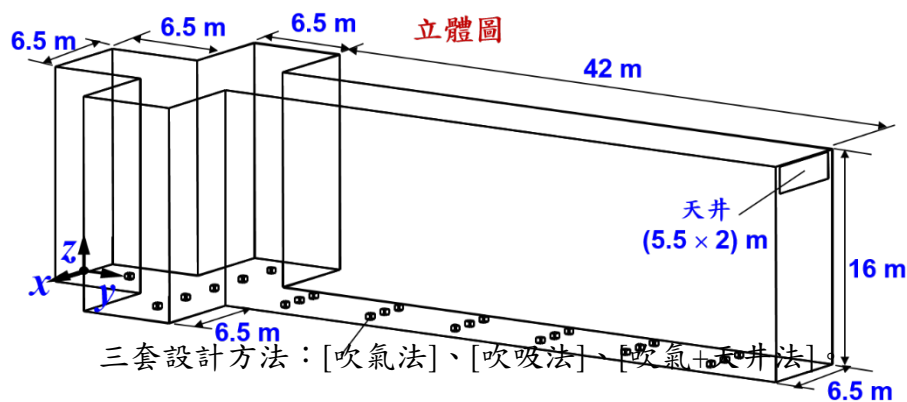


處理地下停車場空氣混濁、高溫問題的高效率設計方法：[吹氣法]、[吹吸法]、[吹氣+天井法]。

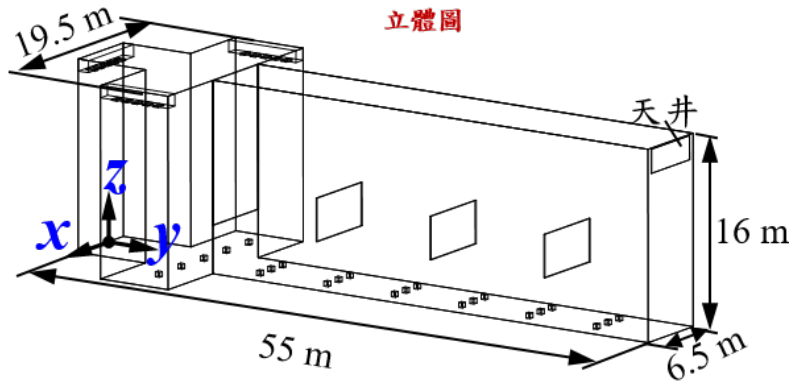
十二、挑高地下室廠房通風技術

背景說明：大型廠房若位於挑高地下室，僅廠房上方一小部份露出地面，若廠房內有熱與污染物沉積過高的問題，則傳統於廠房露出地面部份安裝多部大型風扇往外界排氣(機械通風)或者於廠房露出地面部份設置開口天井以通至外界(機械通風)的方法均無法獲得有效降低熱與污染物的通風效果。

創新與貢獻：發展二套方法：[吹氣+氣流控制板]、[吹氣+吸氣+氣流控制板法]，可以有效的在有限時間內清除挑高地下室大型廠房的污染物、高溫問題。



位於挑高地下室的大型廠房案例

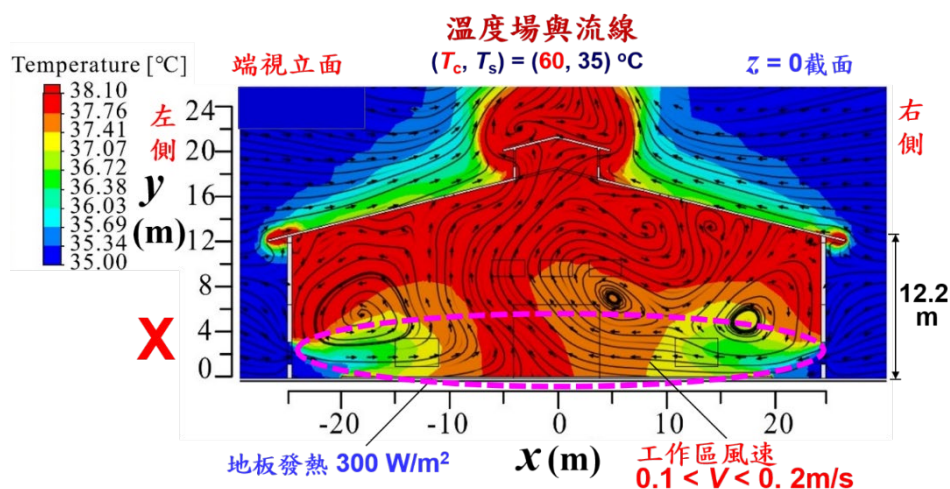


位於挑高地下室的大型廠房使用[吹氣+氣流控制板]法解決污染物、高溫問題。

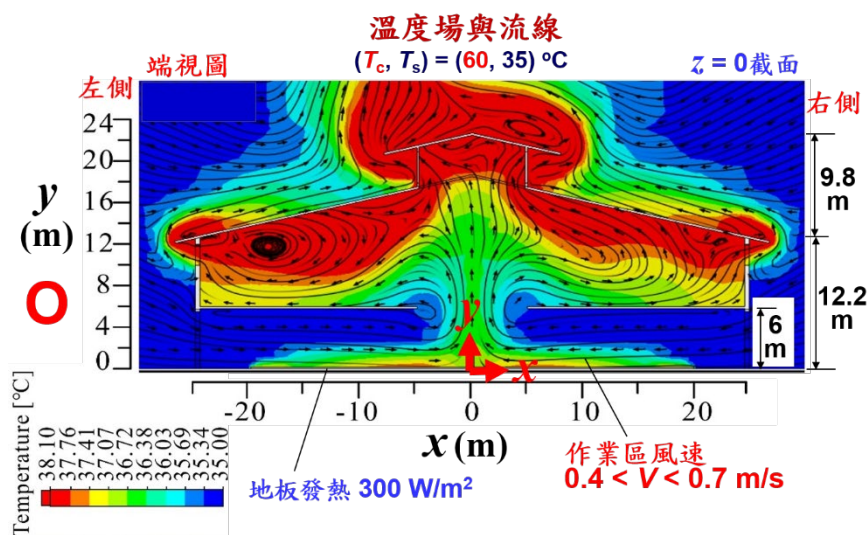
十三、工業廠房與建築物「自然通風」技術

背景說明：傳統將廠房挑高，並在屋頂設置「太子樓」、「自旋扇」與/或「高處側牆通風窗」的目的：(1)容納高大的器械與天車；(2)降低屋頂輻射熱的衝擊；(3)利用熱浮力原理，使熱氣經由上方的「太子樓」、「自旋扇」與/或「高處側牆通風窗」自然散逸至室外。然而，一般所見到挑高廠房，雖然利用熱浮力原理從廠房上方窗戶開口散逸熱氣，即使上、下方都開設了許多窗戶，但是下方作業區仍然悶熱、無風。這是因為設計挑高廠房時，沒有考慮氣流的流動細節，當外氣受浮力遷引而進入廠房下方兩邊側窗時，除了兩側窗、門口附近短距離內有一些涼感，大部份區域會因形成「迴流」而將上方熱氣捲至下方工作區，與/或形成「低速區」，而顯得悶熱。在廠房或廳堂內部，因浮力引致的流動型態會呈現(1)廠房內形成大迴流泡，導致上方溫熱空氣與下方涼氣混合。(2)外氣受浮力遷引而進入廠房下方兩邊側窗時，除了兩側窗附近短短的距離內有一些涼感，大部份區域都是悶熱的。

創新與貢獻：發展出「雙隔板」技術，隔板上方的熱氣從太子樓的氣窗逸出至大氣中，因而牽動氣流從兩個隔板中間往上升。由於質量守恆的緣故，外界大氣從隔板下方進氣窗進入隔板下方通道，一路往中間方向進行再從兩個隔板中間往上升。隔板下方工作區的風速明顯遠遠大於傳統廠房內的風速；隔板下方的溫度亦遠遠低於傳統廠房內的溫度。隔板上方可以作為倉儲使用。若器械有排放熱氣，則設置氣罩或直接以風管將熱氣往上導入兩隔板之間隙上方。中間走道器械表面的產熱以及排至兩隔板之間隙上方的熱氣有助增加兩側下窗的進氣量。將任何「廢熱」導入兩隔板之間隙S上方均有助於增加工作區橫向氣流的速度。



使用傳統「自然通風」技術廠房的溫度場與流線。



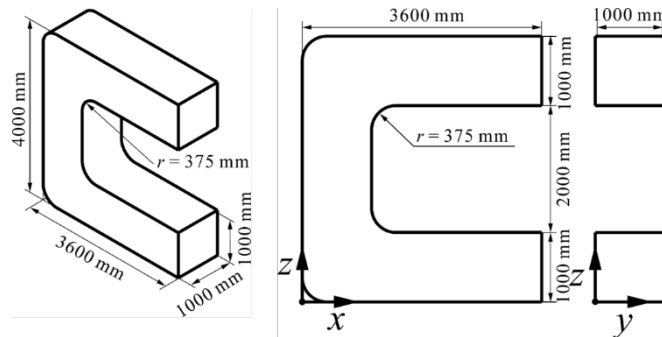
使用創新型「雙隔板自然通風」技術廠房的溫度場與流線。

十四、彎管整流技術

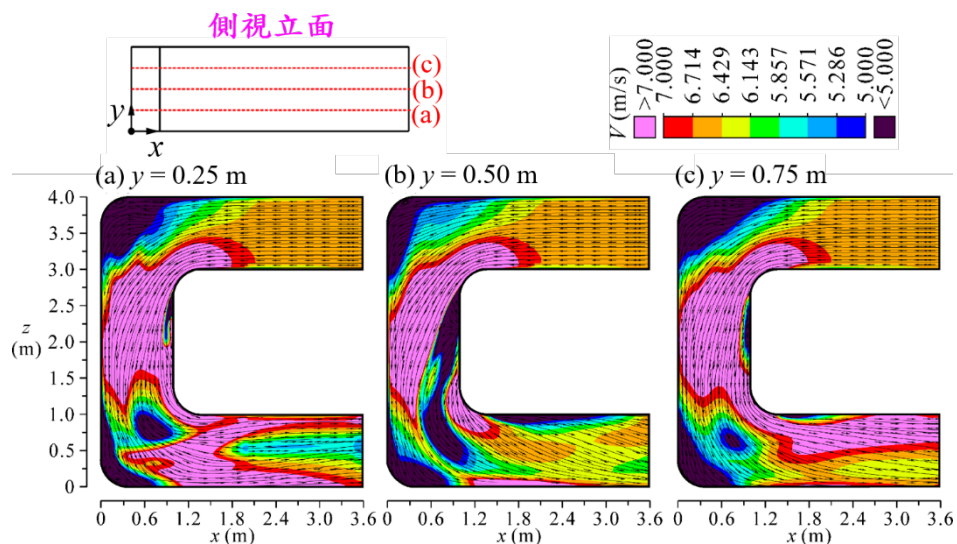
背景說明：當流體經過管道彎角(turning angle)時，會在彎角下游內側產生一個因邊界層分離(boundary-layer separation)與再接觸(reattachment)而形成的迴流泡(recirculation bubble)；在彎角外側也可能產生一個小迴流泡。由於彎角下游內側迴流泡的形成，彎角下游軸向速度在管道內側會非常不均勻，紊流強度也會變大。此一不均勻的軸向速度分布隨著下游軸向距離增加而逐漸演化，趨向於均勻，在彎角下游大約 $8D$ 之後才會恢復均勻。流體在經過管道彎角時，不僅在軸向的結構與速度會發生變化，在管道截面也會產生「二次流」(secondary flow)。因此，流體在經過彎角之後，流場是「三維」的「多股螺旋流」。這些回流、二次流以及伴隨的紊流使得轉彎之後的流體速度不均勻，且導致大的壓力損失、管道震動與噪音。

創新與貢獻：彎管整流的技巧在工業應用會將特殊設計之多個導葉片(guide vanes)裝設在管道彎角處，以消除迴流泡。然而導葉片設計法一般是屬於企業的know how，不易獲得詳細技術。坊間雖有書籍討論導葉片設計法，但實際使用時，整流效果一

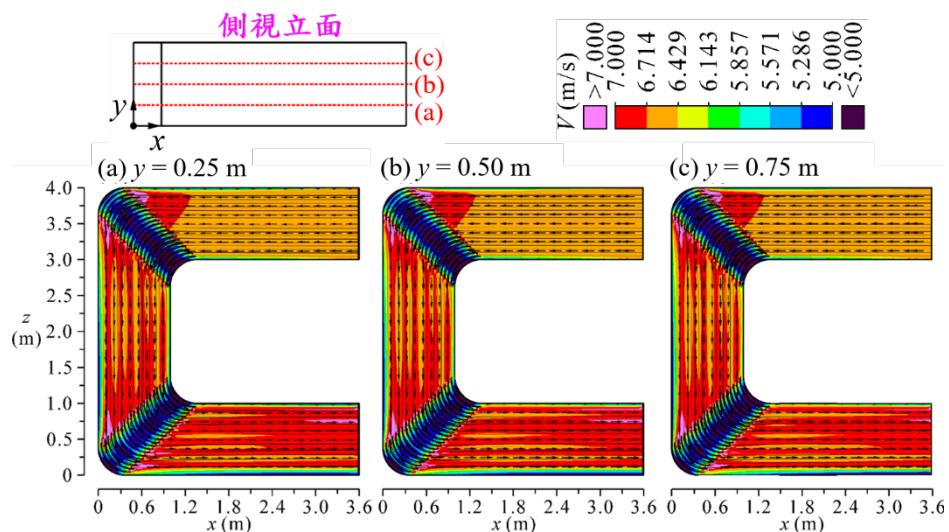
般。發展出一套高效率導葉片設計法(Huang's guide vanes design method)，將此種方法設計之導葉片裝設在一支具有彎角、水力直徑 D_h 的管道，可以有效消除流體轉彎後形成之迴流泡，在管道轉彎之後 $0.2D_h$ 之內使管道橫向速度分布迅速恢復均勻，並降低紊流強度、壓力損失、管道震動與噪音。



具有兩個 90° 彎角的管道。



具有兩個 90° 彎角的管道在彎角處沒有裝設導葉片時的流場。

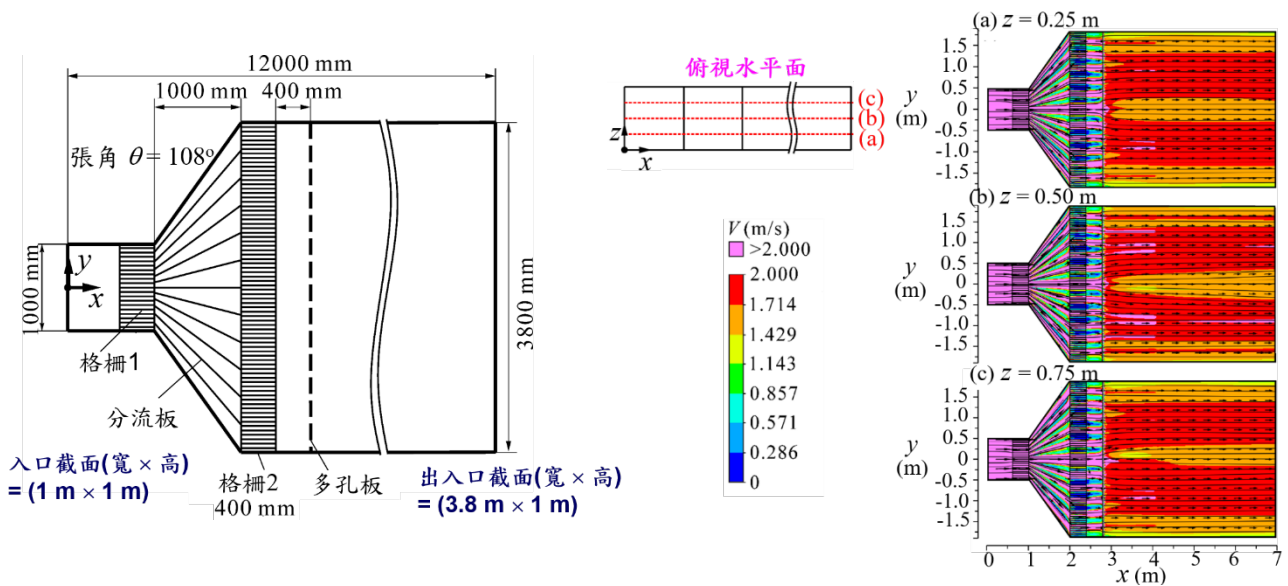
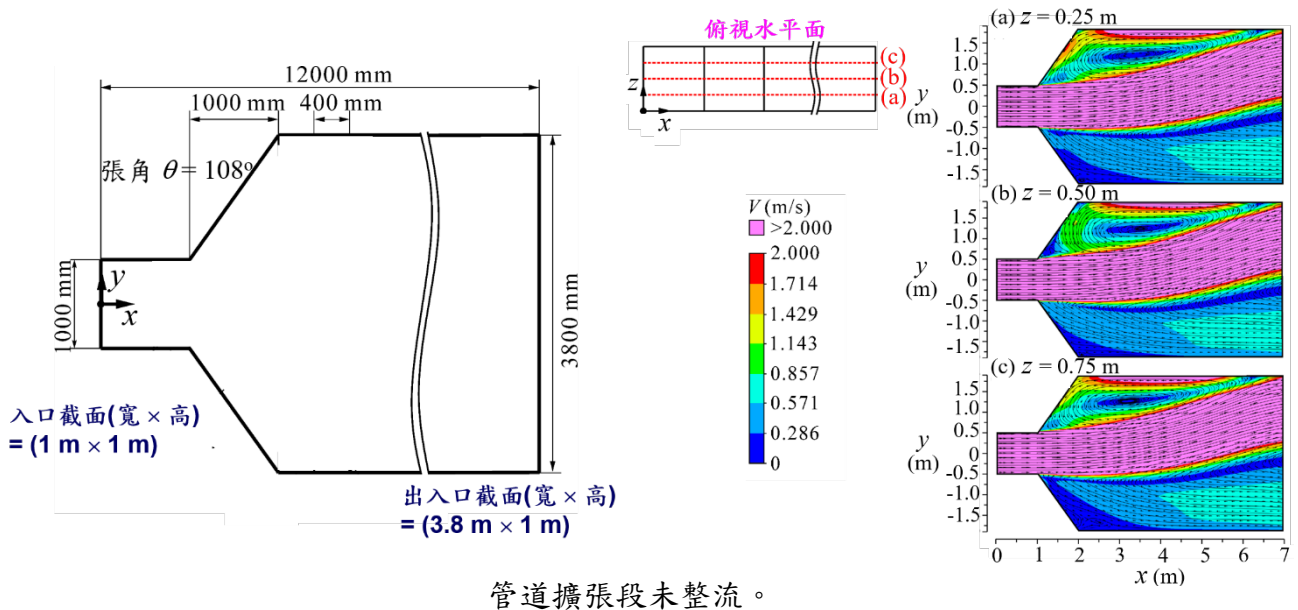


具有兩個 90° 彎角的管道在彎角處裝設導葉片時的流場。

十五、管道擴張段整流技術

背景說明：在許多應用中，管道截面需要在短距離內擴張到一個大的比例[例如：將截面為(1 m × 1 m)之方形管道在 1 m 的距離內擴張為截面(3.8 m × 1 m)之矩形管道]，並使截面氣流速度盡量均勻，再接至需求的位置，以獲得標的效果。例如：堆肥製作發酵室的進氣管，即需要此類擴張段，且需要擴張段出口截面氣流速度盡量均勻，方能獲得高效率的優質產品。然而，管道擴張角 θ 若大於 $90^\circ \sim 100^\circ$ ，會導致出口速度極不均勻。若欲將截面(1 m × 1 m)的管道在 1 m 的距離內擴張為截面(3.8 m × 1 m)，擴張角遠大於 $90^\circ \sim 100^\circ$ ，因此擴張段出口速度極不均勻。

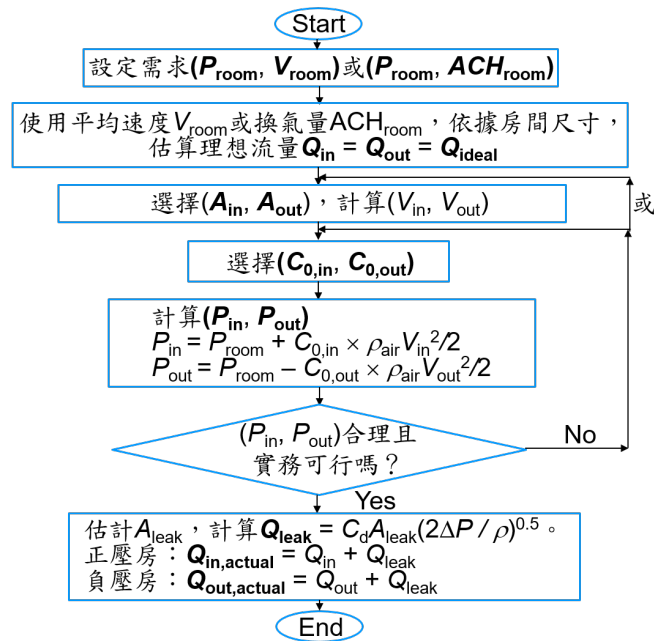
創新與貢獻：發展出一套管道擴張段整流技術，於擴張段以及上下游管道短距離內裝設特殊設計的[格柵]、[分流板]、[多孔板]等元件，可使截面氣流速度不均勻低於6%。



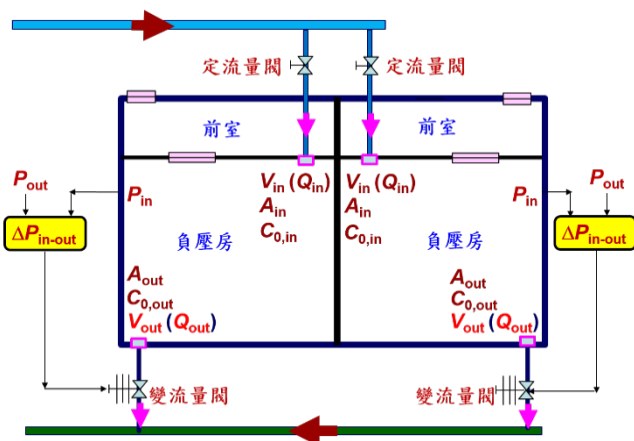
十六、室內外壓力差設計、控制與量測技術

背景說明：許多工業廠房、空調房間、開迴路風洞、閉迴路風洞、負壓隔離病房、一些特殊製程...，常常需要控制室內、外(或測試段)壓力差，以使室內壓力與室外壓力相較為「正壓」(大於 1 atm)或「負壓」(小於 1 atm)。此類以通風方法控制的室內「正、負壓」通常比一大氣壓(1 atm = 101325 Pa)大或小一些而已(大約±10 Pa 以內)。控制參數頗為複雜，但長期以來一直沒有原理推導，以掌握設計參數，僅能依靠經驗進行工程。

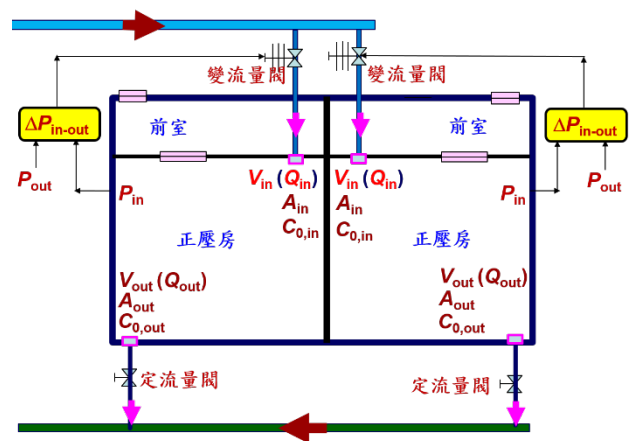
創新與貢獻：發展出一套室內外壓力差設計、控制與量測之理論與技術，可在進行工程之前，先進行物理參數設計，再以回授控制方式，達到精準的室內外壓力差。



室內外壓力差設計流程。



負壓房控制實務。



正壓房控制實務。

十七、工業通風專業書籍

背景說明：「工業通風」現今存在著一些累積過去研究結果的手冊以及提供學生考高考或技師的書籍，但甚少有將理論、實務與創新技術同時以詳細的文字、圖示、表格說明的專業書籍。

創新與貢獻：將「工業通風」方面的創新研究結果與實際輔導工廠超過500家的經驗案例，撰寫成講義與投影片，於課程中使用。再以八年時間整理著作成二本書，內容分別包括：工業通風(局部同風與部份整體通風)與整體通風。書中理論與實務並重，目標是幫助讀者解決工廠、建築物、辦公室、住家的通風問題。適用對象是：「通風工程從業人士」、「衛生、環境從業人士」、「建築設計從業人士」、「大學與研究所修習通風、流體力學、氣動力學相關課程之學生」(安衛、環工、機械、航太、化工、建築、營建、土木、水利、造船...系所)以及「對通風科技有興趣之人士」。這二本書可作為「大學與研究所通風相關課程之教科書」、「流體力學、氣動力學相關課程之參考書」以及「通風工程從業人士與安衛環從業人士的工具書」。

(1)黃榮芳、許清閔、沈芥、林楷玲，「工業通風--原理與實務」，第四版，2026年6月。中華環保安全衛生協會，台北市。40萬字、1200幅圖、150張表、300個案例與例題(A4紙940頁)。

(2)黃榮芳、許清閔、沈芥，「廠房與建築物整體(全面)通風技術」，第二版，2026年6月。15萬字、圖405幅、表170個、案例71個 (A4紙410頁)。

貳、室外空氣污染：機車引擎以及電廠大型排煙管道之改良與創新技術發展

一、機車引擎改良與創新技術發展

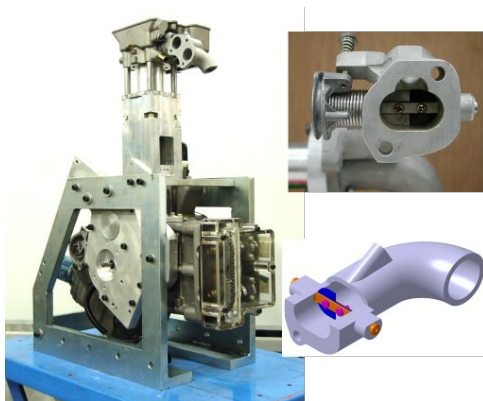
背景說明：與「三陽工業」與「光陽工業」兩家機車製造廠發展長期緊密的產學計畫關係，發展出多項機車引擎創新技術。與「三陽工業」的產學計畫自2000年開始，至今已執行了16期；與「光陽工業」的產學計畫自1994年開始，至今已執行了13期。所發展之技術有高比率用於實車發展。例如：開發氣缸內氣流滾轉與旋轉運動共存技術，用於New Fighter機車引擎，增加燃燒效率，大為降低油耗與廢氣排放，並增強馬力。

創新與貢獻：發展出的技術已實際應用於這些公司的引擎開發中。例如：

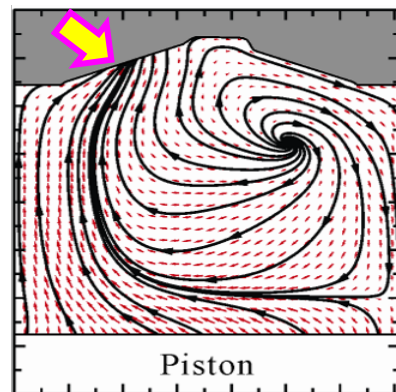
- (1)協助合作的公司提昇一部機車引擎馬力達15%以上，此一技術已使用於新機種開發。
- (2)協助合作的公司將一部機車引擎排氣噪音壓低了10 dB，提昇馬力，已使用於新機種。
- (3)經由簡單的引擎修改，將怠速時的CO與HC壓低至遠低於環保署所訂的標準。
- (4)以PIV技術進行引擎缸內流場的診測工作，包括滾轉與旋轉運動的診測。成功將引擎缸內的流場型態量化，得到引擎進氣道、進氣閥配置與缸內流場的關係以及增強燃燒室內氣流滾轉運動的設計方法，並得到氣流設計參數與引擎性能的相關性，對引擎設計與性能提升幫助極大，合作的公司已使用於新機種開發及舊機種改良。
- (5)研究開發出引擎的氣冷模組設計技術，實作結果顯示平均溫度降低約10°C，溫度均勻度提昇了59%，合作的公司已使用於新機種開發及舊機種改良。
- (6)研究開發出引擎的水冷模組設計技術，實作結果顯示汽缸頭平均溫度降低約42°C，過高的排氣側溫度尖峰降低了97°C，合作的公司已使用於新機種開發。
- (7)協助合作的公司，發展一套缸內噴油、稀薄燃燒的設計技術，目前合作公司在評估此技術之實現性。
- (8)協助合作的公司，發展一個進氣埠特別裝置，調整引擎缸內氣流的型態，使引擎汽缸內的氣流同時呈現「滾轉」(Tumble)與「旋轉」(Swirl)運動(傳統的引擎技術只能突顯其中一種)，油氣混合與燃燒增強，因而使引擎馬力提升、油耗與廢氣排放降低，性能大為提升，在米蘭機車展獲佳評。合作的公司持續使用這些技術於新機種開發。
- (9)與國內某大機車廠進行機車引擎的「缸內噴油研發」研究。汽車引擎自從1995年日本的Mitsubishi Motor發表第一款缸內噴油(GDI)引擎之後，世界各大車廠接續跟進，因為此一技術在清淨排氣與省有方面有絕佳之優勢，但是機車引擎因排氣量小及轉速快，目前世界上無此商品。申請人耗費三年時間進行了初步的探討，結果在怠速時的碳氫化合物排放可低至小於50 ppm (台灣五期的環保法規上限為1500 ppm)，頗令人雀躍。
- (10)協助合作的公司，研究一款「雙火星塞引擎」，調整引擎汽缸內的燃燒型態，大為提高燃燒效率，使得每公升汽油里程數提高至前所未有的63.9 km/L，且扭力提升9.3%。

各機車廠125 cc機車[里程/油耗]比較表

名次	車廠	型號	里程/油耗 (km/L)	$[(n) - 63.9] / n$
省油系列				
1	三陽	迪爵 125	63.9	---
2	YAMAHA	勁豪 125(日本)	56.8	-12.5%
3	光陽	新名流 125	54.5	-17.2%
4	Suzuki	Swish 125(日本)	51.1	-25.0%
傳統非省油系列				
5	大部分廠牌	XXX125	25 ~ 35 (< 40)	-155.6% ~ -82.6%



修改後的引擎



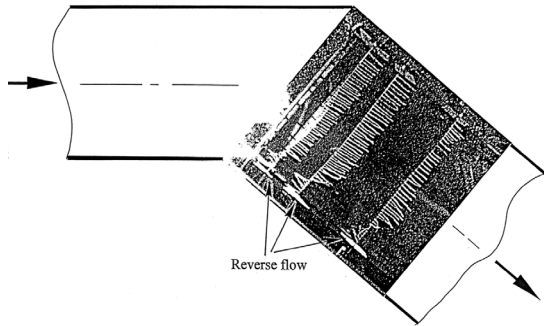
新技術引致之缸內流場滾轉運動

二、電廠大型排煙管道之改良與創新技術發展

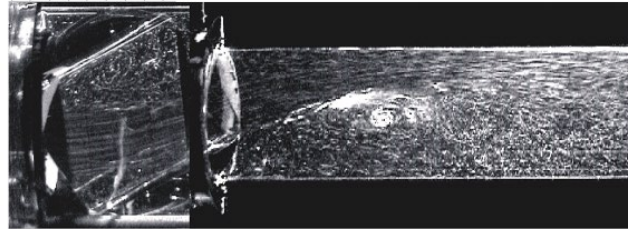
背景說明：我國一些火力發電廠，在鍋爐內燃燒重油或煤後產生大量含碳的煙粒與粉塵，這些含碳的煙粒與粉塵隨著高溫的燃燒氣體經彎曲的巨型綿長管道進入靜電集塵器濾除大部分煙粒與粉塵，再經下游管道與煙囪排放至高空。有些鍋爐與靜電集塵器之間的管道設計不佳，因彎曲造成偏流，使得靜電集塵器的效率大為降低，大量黑煙從煙囪排出，污染環境。針對協和、興達等火力發電廠的偏流與煙囪冒黑煙問題，自行設計、製作了：(1)長7 m、直徑5 cm可耐高溫而不受飛灰阻塞的雙向皮托管流速探針、(2)溫度量測與黑煙碳粒質點吸取探針以及周邊設備，診斷了鍋爐與靜電集塵器之間彎曲巨型管道內高溫氣流的速度與黑煙碳粒分佈，在嚴酷的現場環境中(管道中氣流溫度 $>360^{\circ}\text{C}$ ，管道外烈日照射或颱風侵襲)，診測出巨型管道中含大量碳粒的高溫氣流排入靜電集塵器時的流速與碳粒分佈，成功量測出電廠靜電集塵器失效而排放黑煙的病因，並在實驗室中模擬管道流場，尋找整流的方法以去除病因。另外，在供油管道中，有大型閥件設計與操作不理想，液體流經閥件後，因局部低壓而使溶於液體中的空氣釋放出來，造成Cavitation，閥體與管道產生強烈振動與噪音，在管道中輸送的液體呈現不穩定現象，燃燒不佳，產生黑煙與其他污染物。

創新與貢獻：由於大型管道彎角處導葉片的整流設計法一般是各個工程公司的know how，不易在書本或研究論文中找到有效的設計細節，所以在實驗室中改裝風洞，進行了小尺寸的基礎實驗，研究出一套可裝設在管道彎角處而效果極佳的彎管導葉片整

流設計法，並將實驗室中小尺寸管道彎角導葉片設計法放大供大尺寸管道設計，使大型管道彎角下游流體與煙粒分布均勻，靜電集塵器回覆正常，且效率提高，煙囪不再冒黑煙。閥流產生Cavitation的問題，在實驗室中設計、打造了一部透明的閥流測試台，實際觀察、量測閥體產生Cavitation時空氣釋出的現象、條件與振動噪音的程度，並尋求較佳設計與操作條件，使供油與燃燒穩定，降低黑煙碳粒與其他污染物的產生量。



彎角流



閥流

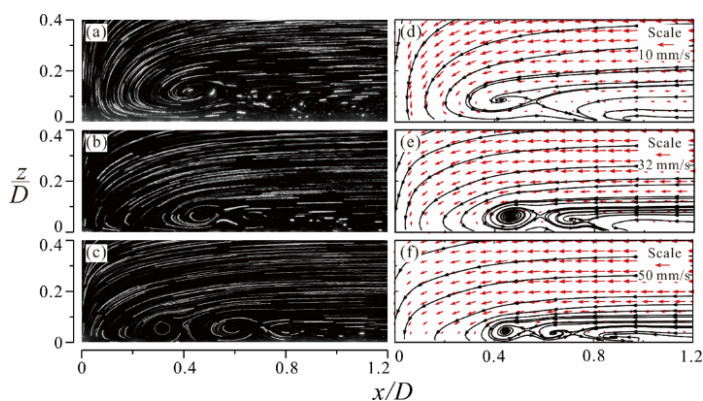
叁、「流體力學」、「燃燒氣動力學」相關基礎研究

基礎研究主軸，著重在「流體力學」、「氣動力學」與「燃燒」領域，例如：噴流(jet)、尾流(wake)、旋轉流(rotating flow, swirl flow)、混合層(mixing layer)、剪流(shear flow)、邊界層(boundary layer)、管流(pipe flow)、燃燒氣動力學(combustion aerodynamics)之物理、不穩定性與控制(流動控制與燃燒控制)。以下簡要敘述其中數個方向：

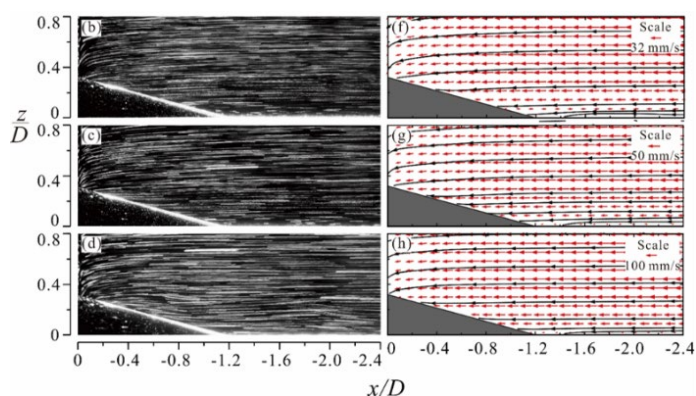
一、柱狀體與壁面交界上游馬蹄狀渦流的流動物理機制與渦流消除技術開發

背景說明：柱狀體與壁面交界處，例如機翼與機身交連處、橋墩與河床交連處、熱交換器流體管路與鰭片交連處、...，當流體流過時，傳統上認為因逆壓梯度的原因，在柱狀體上游形成1~3個渦流。這些馬蹄狀渦流在許多應用的例子中會產生負面的效應。例如：機翼與機身交連處的例子，馬蹄狀渦流會增加阻力、減小升力；橋墩立於河床時，河水冲刷造成的挖沙效應(scour)效應，河沙下蝕，使橋墩倒塌；又如熱交換器的案例，使得熱交換效率下降。

創新與貢獻：(1)研究結果顯示，馬蹄狀渦流的形成原因並非傳統認為的逆壓梯度，主要是因為邊界層逆流的結果。因為柱狀體的存在，使得流體接近柱狀體時減速(逆壓梯度僅是減速造成的結果)，並在柱狀體的上游壁面上形成一個停滯點。在停滯點下方的流體沿著柱狀體上游的表面往下方流動，遇到壁面時朝上游逆流，這一股沿著壁面逆向流動的流體與原來上方順向流動的流體形成一層介面，因順逆兩方向流動而造成的摩擦，在介面處形成1~3個渦旋，這些渦旋受到順向流動流體的帶動，便繞過圓柱兩側而形成馬蹄狀渦流。渦流會在柱狀體上游約0.3~1.3個柱狀體直徑處，距離壁面約0.2個柱狀體直徑以下的壁面邊界層產生分離點(三向鞍點)，並會對壁面施加頗大的剪應力，同時下游的柱狀體尾流會變寬、變大。若以橋墩立於河床為例，壁面剪應力(wall shear stress)增大，造成橋墩周圍的河床產生冲刷坑洞(scour)，冲刷坑洞將引致流場在坑洞周遭產生更大的下洗現象，隨著時間的衍化，坑洞的直徑變大，坑洞的深度加深，最終將橋墩的基部冲刷破壞，使得橋樑面臨斷裂的風險。(2)依據前述研究結果，發展出可以完全消除馬蹄狀渦流的錐狀體，並開發完成設計法。同時研究出此錐狀體有效消除馬蹄狀渦流的物理機制是由於流體在對稱面產生分歧點，因而防止了逆流發生，使渦流無法形成。目前正在進行不同截面形狀以及不同傾斜角柱狀體的馬蹄狀渦流消除技術開發與物理機制研究。



柱狀體與壁面交界上游形成的馬蹄狀渦流

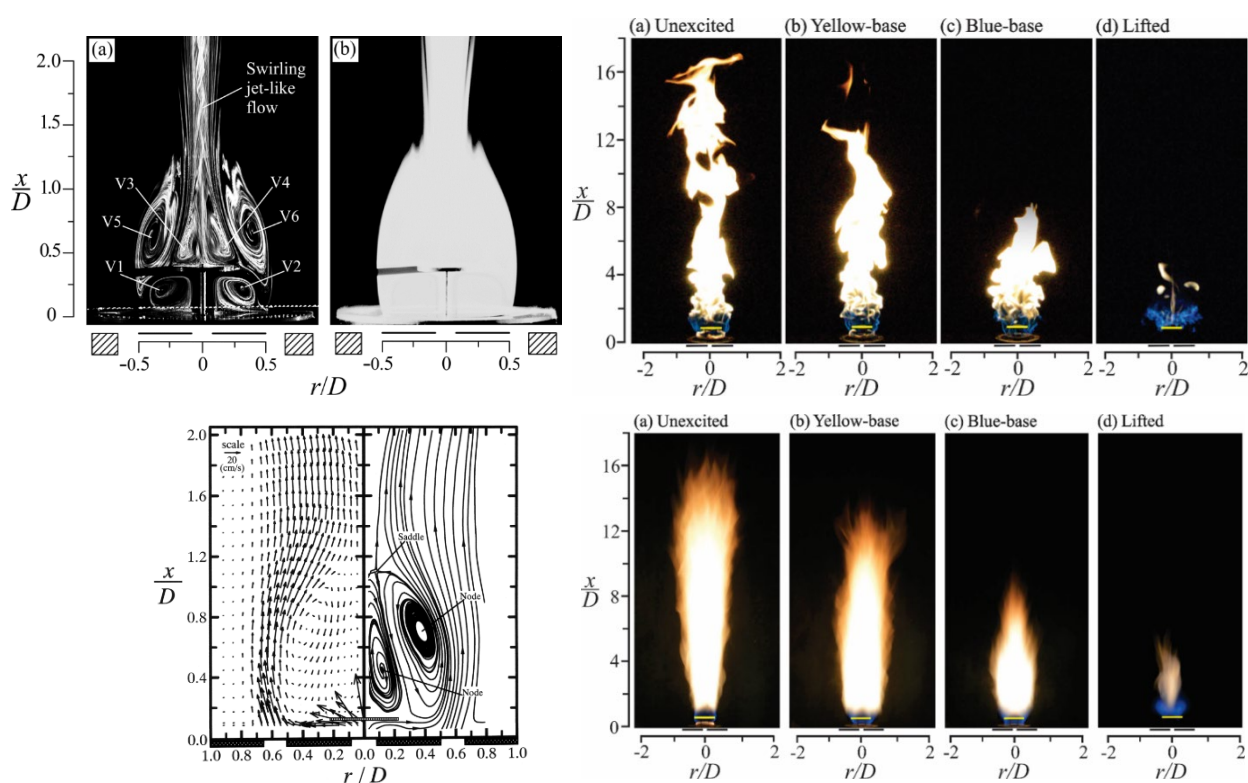


在柱狀體上游加上特殊設計的錐狀體後，馬蹄狀渦流消失。

二、漩渦尾流燃燒及其流動控制

背景說明：漩渦鈍體尾流場與燃燒場的研究，是為了幫助瞭解強制性的徑向壓力梯度與切線速度對迴流與燃燒的影響。在鈍體尾流的場合，欲形成迴流區以加強混合效應與燃燒、駐焰的能力時，所形成的壓損通常不是太小。而如果使用旋流來造成迴流，通常需要較大的雷諾數與旋流數才能達成。將這兩種方法結合，所形成的流場非常複雜，在不同的雷諾數與旋流數範圍內會有非常複雜的模態與混合機制。根據對此複雜流場的分析與理解，再從全域的搜索中，尋找出最適合的混合操作模態，然後繼以操控漩渦尾流特性的研究。

創新與貢獻：(1)發現當漩流與鈍體尾流結合在一起時，流動的物理機制，擴展了傳統漩流與鈍體尾流的應用面向。(2)發展出不增加壓損的動量偏置操控器，成功的操控漩渦尾流，使原本集中於軸向的噴流動量轉置為徑向與周向，並衍生強大紊流動能以達到快速混合的效果，混合效率可以增加50%。此一技術應用於發展動量偏置旋流燃燒器，使得燃燒效率提升約45%、火焰長度縮短約40%。(3)發展出聲波激勵鈍體旋流增強器與燃燒器的技術，使得混合效率提高約70%、燃燒效率提升約54%、火焰長度縮短約50%。



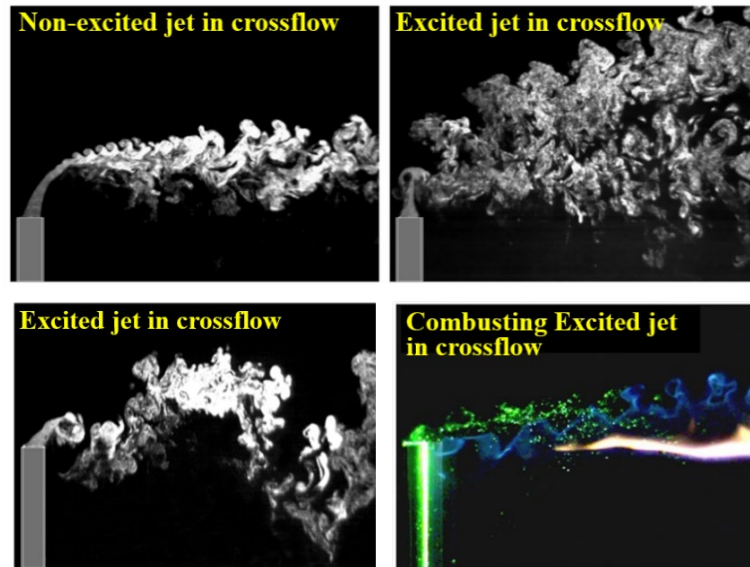
漩渦尾流燃燒及其流動控制

三、偏折噴流、紊流燃燒與流動控制

背景說明：由於工業應用需求與廣泛性，紊流與渦旋流的燃燒是近十年來燃燒界極為重視的課題。因為隱藏在內的物理與化學現象的交互作用極為複雜，因此吸引了大批研究者的投入。敝人在這方面亦積極投入，致力於「橫風中的噴流與火焰」之研究。由於此一火焰的特性與流體動力行為有很大的關係，為了瞭解此新型火焰各種複雜的

物理特性，陸續針對火焰的特性行為與穩定性、渦旋結構特性及對火焰的影響、燃燒紊流場結構等三方面作探討。

創新與貢獻：(1)發展出一種簡單有效的被動式駐焰法，造成一個可以停駐在燃燒器與噴流下游尾流區的高穩定度火焰。此一新發現有別於傳統的在橫風中跳脫而穩定度不佳的噴流火焰，因此開拓出一個新的方向。由於此一新型火焰具有高穩定度，可以使用在極端的條件(例如很大的Heat Load)的條件下仍舊保有高的火焰穩定性，不致於熄滅。(2)發展出被橫風衝擊之偏折噴流的聲波控制技術，增加噴流混合效率約80%，並釐清使得混合增強的物理機制。

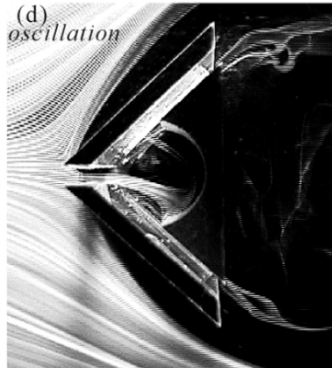


偏折噴流、紊流燃燒與流動控制

四、自我激勵橫向振盪噴流對混合與燃燒的增強

背景說明：噴流的動量傳輸主要在軸向，於近、中距離在側向的動量傳遞相對微弱，導致噴流必須在離開出口處一段長距離之後才藉由捲入效應與紊流擴散的機制而使得周遭流體與其混合的效果逐漸顯現。因此一個擴散火焰通常呈現頗長的火焰長度，在燃燒應用上存在著燃燒強度與效率低以及燃燒設備尺寸大的困難。為了解決上述問題，利用流體的不穩定原理，引導噴流進入一個特殊設計的幾何空間，使得噴流產生自我激勵的側向來回振盪，因而將軸向動量轉換為橫向週期性動量振盪。

創新與貢獻：(1)研究出一個有規律可循的噴流振盪器設計方法，並證明藉由流體不穩定原理，不必額外供給能量，即可將噴流的軸向動量在短距離內消散以增強混合效應。(2)噴流本體在5~7個直徑內即快速「破碎」(disintegration)，並衍生約200%的紊流強度，使得噴流與周遭流體的「混合」效果快速提升，混合效率提高約70%。(3)發展自我激勵橫向震盪噴流燃燒器，燃燒效率提高約45%，HC與CO排氣濃度分別降低約80%及70%，火焰長度縮短約50%。

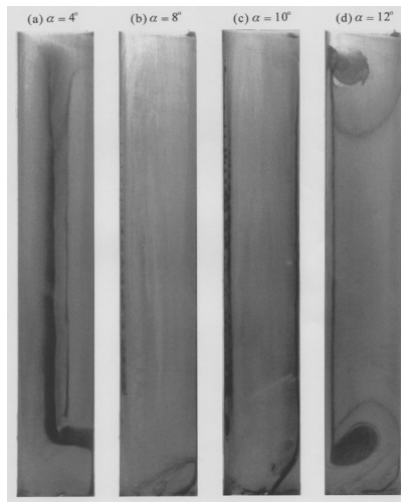


自我激勵橫向振盪噴流對混合與燃燒的增強

五、機翼氣動力學與流動控制

背景說明：在進行前面幾類研究的時候，申請人發現有必要對流體流經有限長度壁面所造成的邊界層之行為以及這些行為對下游尾流區之非穩態結構模式變遷的影響作探討，以幫助瞭解前面兩類的研究。因此，設計、建造了一個風洞及一批輔助的設備與儀器，探討機翼與氣流之間的交互作用。由這些研究中探索到許多流體行為在不同狀況下的類比現象，尤其是邊界層行為對下游尾流區之非穩態結構模式變遷的影響以及渦旋流逸的模態變化方面更有突破，同時也進行了Flow Control的探討。另外，在風洞中吹試的機翼空氣動力學研究中，分離的表面流無法使用煙線與煙霧技術觀察到細節，只能看到一般教科書或文獻所載的回流。但是，分離邊界層內動態的流體結構與行為則無法使用上述技術觀察到。這個問題在心中困擾許久，感到非常不安。因此，就帶著學生，打造了一部可以做幾乎瞬間啟動動作的拖拉式水槽，接著又發展出流場軌跡可視化技術與質點影像測速儀軟硬體(PIV)，然後進行實驗研究與分析，探討機翼從靜止啟動時，吸力面上大結構渦旋之衍化過程與尾流區渦旋逸放的現象。這些現象對飛行器操作初期之非穩態氣動力負荷現象是很重要的。造成機翼週期性受力的尾流區非穩態結構，也與表面渦旋的釋放息息相關。因此，吸力面上大結構渦旋與尾流區非穩態結構的形成會直接或間接影響機翼的昇、阻力性能。

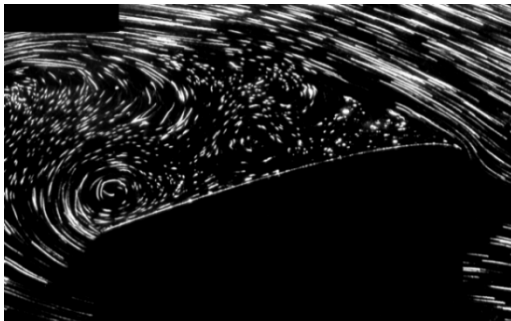
創新與貢獻：(1)釐清自由流紊流的影響。(2)發展出一套被動式的自激振動桿技術，在翼前緣適當的位置安裝一支適當直徑與彈性強度的金屬桿，可以在接近失速攻角時，利用流場的特性，激發金屬桿的galloping，造成振幅頗大的自激振動，以強烈激擾邊界層。結果可以提高失速攻角80%，升力20%。(3)釐清表面渦旋、尾流區非穩態結構與氣動力性能等連串相關性問題的主宰機制、結構分析、不穩定頻率與流動控制的整合關係。



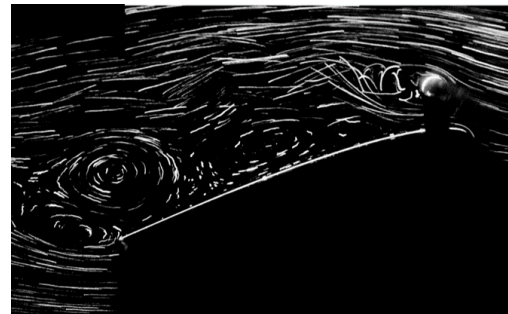
未受控制的機翼表面油墨流



受控制的機翼表面油墨流



未受控制的機翼表面邊界層

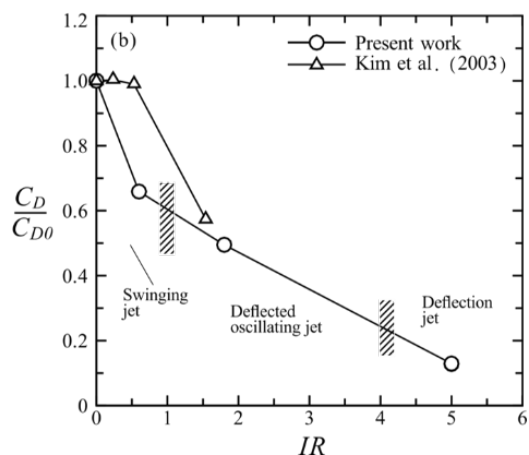
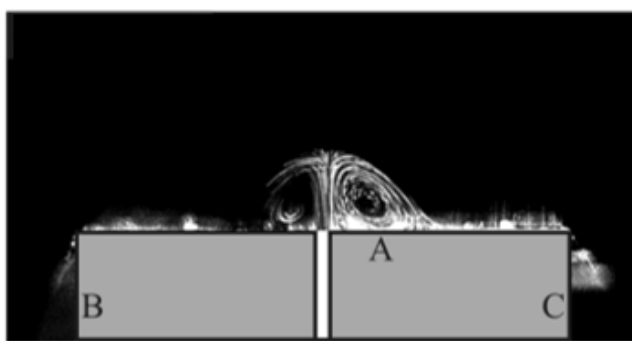


受控制的機翼表面邊界層

六、鈍形體於氣流中的受力減阻與尾流控制方法

背景說明：當一個鈍形體受風或水流衝擊時(例如：建築物受風力衝擊、插入海床的船塢或探油平台支撐柱受海流衝擊、飛行體或水下載具等等)，由於三種效應共同作用(鈍形體正面受流體衝擊、側壁面受流體摩擦力、背風面因流體從壁面分離而衍生的非穩態尾流形成低壓區)，造成鈍形體受到隨時間做週期性變動的巨大阻力。此種阻力易使流體衝擊下的鈍形體容易損壞、耗損巨大能源、承受噪音。

創新與貢獻：研究發展以噴流作用於鈍形體上游或下游的流動控制方法，有效降低鈍形體受流體衝擊時的阻力。上游噴流法可減低阻力約超過80%；下游噴流法可減低阻力超過40%。上游噴流法降低阻力的物理機制，是藉著從鈍形體上游表面中央往上游射出之噴流，將原本當流體衝擊於鈍形體正面所形成之停滯點往上游偏移，等同於在鈍形體正面造成一股保護氣流，使鈍形體不直接受流體衝擊，所以鈍形體受力大為降低。下游噴流法降低阻力的物理機制，是藉著從鈍形體下游表面中央往下游射出之噴流，破壞原本於背風面因流體從壁面分離而衍生的非穩態尾流，提高尾流區的低壓，並減小尾流區的寬度，所以鈍形體受力也會減低。

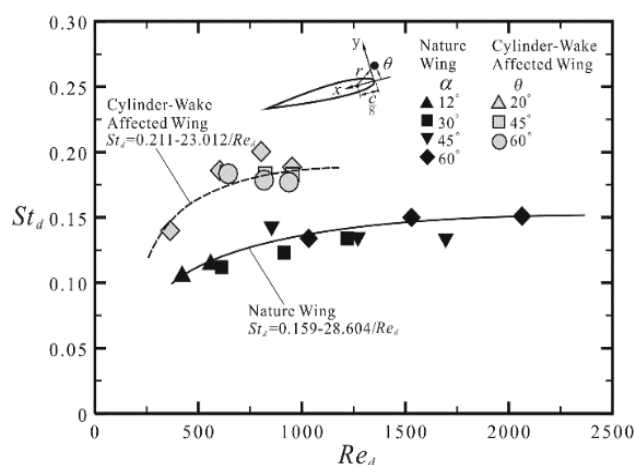
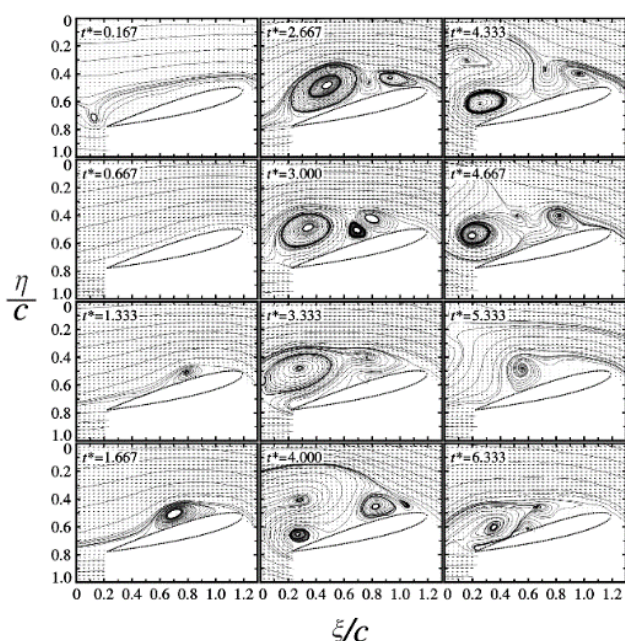


鈍形體於氣流中的受力減阻與尾流控制方法

七、瞬間啟動物體之分離表面流、渦旋逸放與流動控制

背景說明：在風洞中吹試的機翼空氣動力學研究中，分離的表面流無法使用煙線與煙霧技術觀察到細節，只能看到一般教科書或文獻所載的回流。但是，分離邊界層內動態的流體結構與行為則無法使用上述技術觀察到。這個問題在我心中困擾許久，感到非常不安。因此，就帶著學生，打造了一部可以做幾乎瞬間啟動動作的拖拉式水槽，接著又發展出流場軌跡可視化技術與質點影像測速儀軟硬體(PIV)，然後進行實驗研究與分析，探討機翼從靜止啟動時，吸力面上大結構渦旋之衍化過程與尾流區渦旋逸放的現象。這些現象對飛行器操作初期之非穩態氣動力負荷現象是很重要的。造成機翼週期性受力的尾流區非穩態結構，也與表面渦旋的釋放息息相關。因此，吸力面上大結構渦旋與尾流區非穩態結構的形成會直接或間接影響機翼的昇、阻力性能。

創新與貢獻：釐清機翼表面渦旋、尾流區非穩態結構與氣動力性能等連串相關性問題的主宰機制、結構分析、不穩定頻率與流場控制的機制，並發展非穩態控制桿流動控制技術，壓抑機翼表面的渦旋逸放，減小機翼表面分離邊界層厚度約45%，降低阻力約30%。



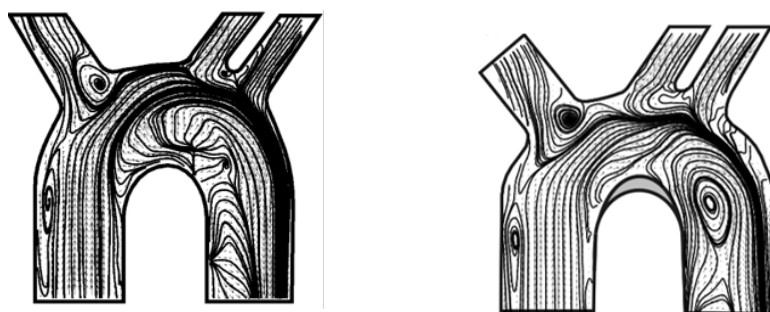
瞬間啟動機翼之分離表面流、渦旋逸放與流動控制

八、心臟血管流動與控制

背景說明：這是與心臟科的醫生一起合作所進行的題目，因與人體健康及生命有關，所以是個有趣又有用的題目。目前主要是針對心臟所打出來的脈動流在經過主動脈弓及其上供應頭部與雙手血液的分叉管之流體所造成的病變(如血管剝離、阻塞等)原因以及解決這些問題的血管支架安裝的恰當性與較佳方式做流體力學上的探討。

創新與貢獻：

- (1)發展出使用雷射輔助流場可視化技術，可以觀察到脈動流在經過主動脈弓及其上面供應頭部與雙手血液的分叉管之流體在時間與空間上的演化過程。
- (2)發展出使用質點影像速度儀(PIV)技術，可以將脈動流在經過主動脈弓及其上供應頭部與雙手血液的分叉管之流體在時間與空間上的速度場「量化」的演化過程量測出來，並可精確的計算血管壁面受血液來回震盪沖刷所造成的剪應力震盪變化，並據此找出血管剝離、阻塞等的流體力學物理機制。
- (3)依據所探討出的血管剝離、阻塞等流體力學物理機制，探求出目前外科手術常使用之血管支架的放置與方式並非最妥恰，應該改變與調整位置與方法，以達到較佳之功效；目前正在進行最適化的流場控制方法。

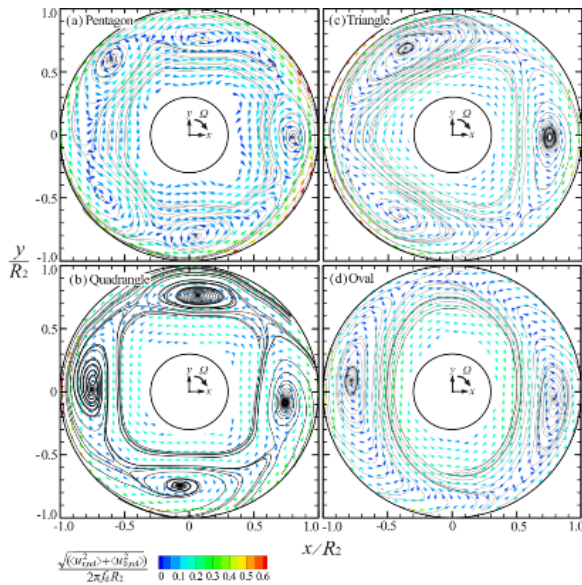


心臟血管的流動與控制

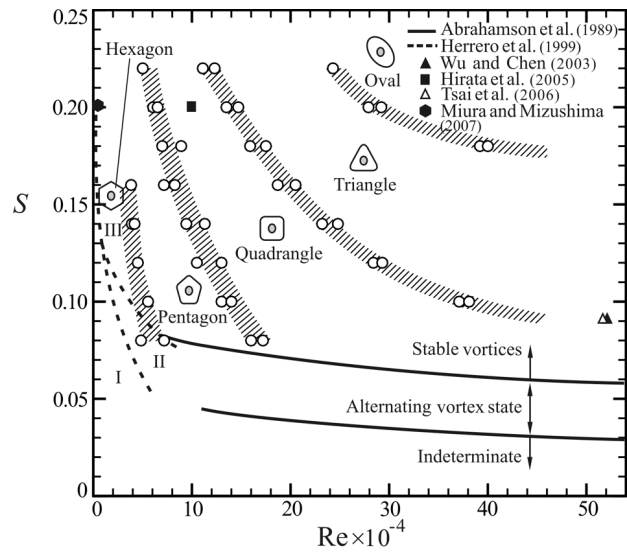
九、旋轉流(Rotating Flow)

背景說明：兩個或多個周遭環繞護板的圓盤繞著中心軸旋轉時，隨著兩個圓盤之間的縫隙大小以及旋轉速度的不同，縫隙之間的流體會呈現不同的流動型態與渦流結構，例如：繞著旋轉軸形成橢圓形、三角形、四角形、五角形、六角形的核心渦流；在核心渦流外圍與周遭環繞護板之間，形成兩個、三個、四個、五個、六個與核心渦流轉向相反的周邊渦流。這些流動型態與渦流結構會造成不同程度的摩擦阻力、噪音與音頻。

創新與貢獻：探討出形成不同核心渦流形狀與周邊渦流數目的物理參數範圍；使用流動拓撲學的方法，分析核心渦流形狀與周邊渦流形成的物理機制，找出周遭環繞護板與旋轉圓盤外圍的有效間隙以及兩圓盤之間的有效距離；並將不同核心渦流形狀與周邊渦流的旋轉頻率量化成公式。這些研究結果，可以提供具有同心旋轉圓形物件之設備在設計時的參考。



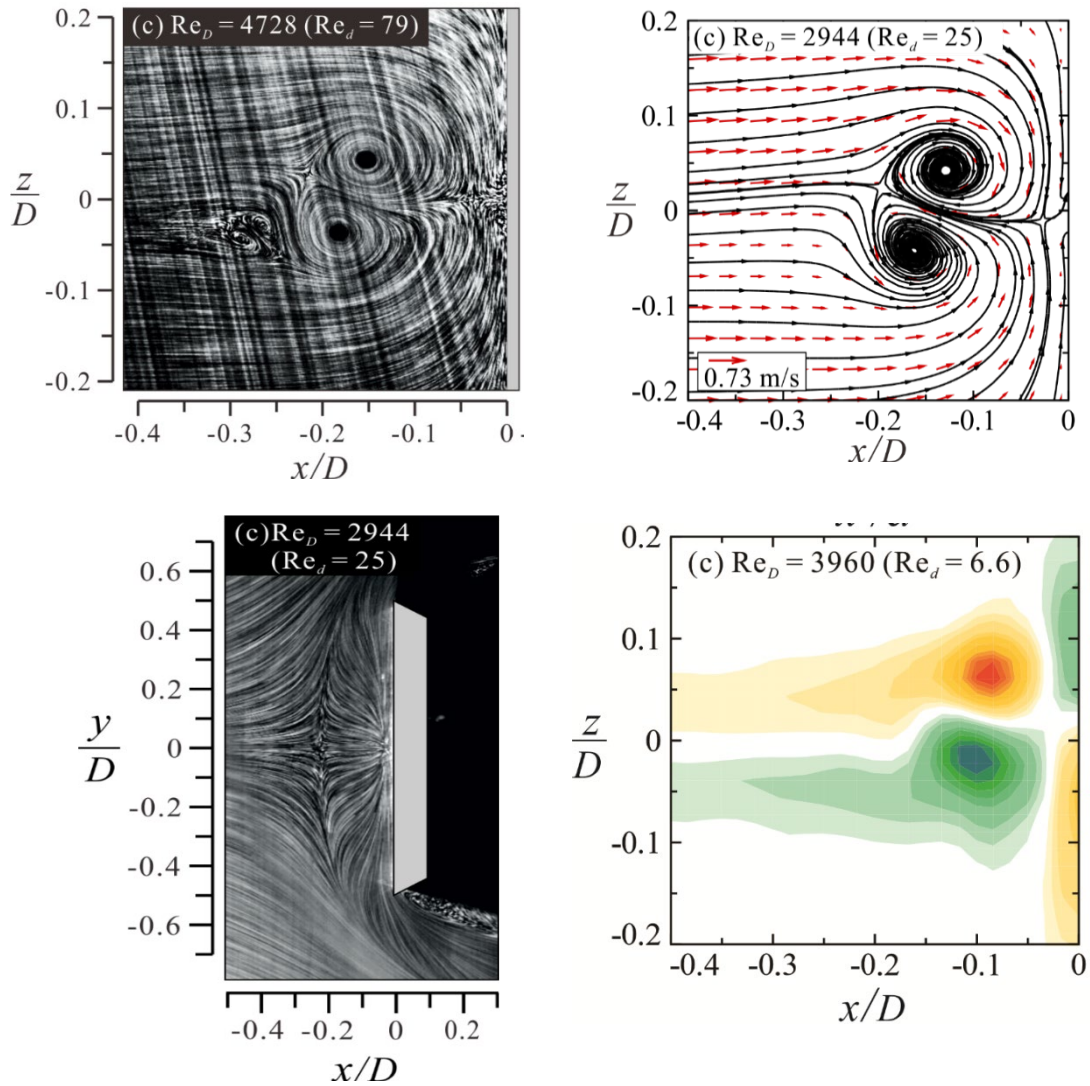
有周邊護板的旋雙圓盤，圓盤轉速與兩圓盤之間的距離影響圓盤間隙流場結構



十、尾流衝擊平板的渦流現象(Vorticle flow induced by wake impinging on flat plate)

背景說明：當流體流過一個鈍形體，即使尺寸極小(例如：直徑 $d = 50 \mu\text{m}$ 的圓柱)，也會形成尾流。尾流所形成的擾動可能往下游傳遞影響至數百個以上鈍形體直徑的距離。在尾流會存在渦度(vorticity)，此渦度也會往下游傳遞數百個以上鈍形體直徑的距離。當尾流衝擊一面有限寬度的平板並繞過平板往下游逸去時，存在於尾流內的渦度受到渦旋拉伸(vortex stretching)的作用，渦度的數值增加因而在平板衝擊面附近形成渦流，渦流的模態有許多種類，視雷諾數的範圍而有不同。此一引致渦流的存在，會對許多工業應用設施的性能產生影響例如：熱交換器、機翼根部等等。

創新與貢獻：探討出形成不同渦流模態的物理參數範圍，例如：*Vorticity Concentrated, Vortex Formation, Transitional, and Unstable Vortex modes*。描繪出各渦流模態的流動拓撲模型，分析渦流形狀與渦流形成的物理機制。找出控制渦流形成模態的方法，可以提供工業技術使用與設計時的參考。

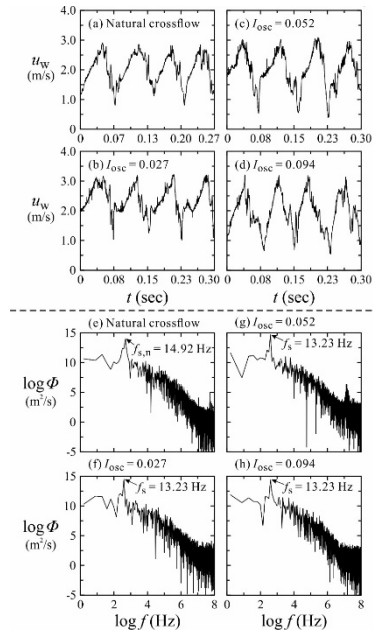
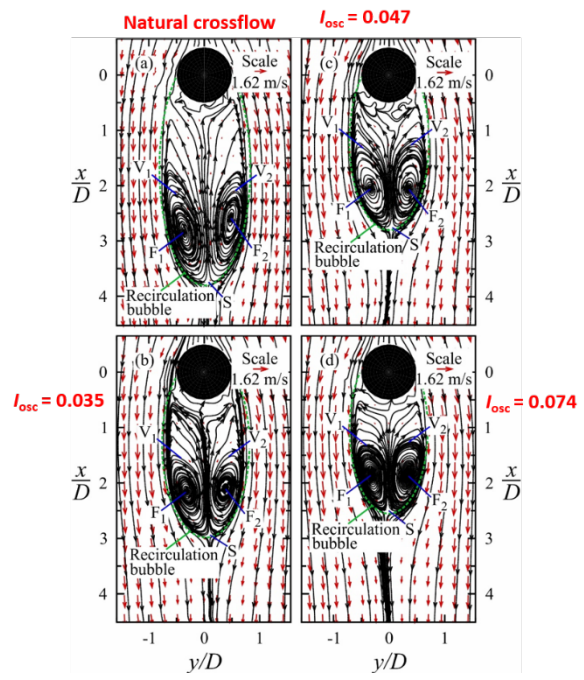
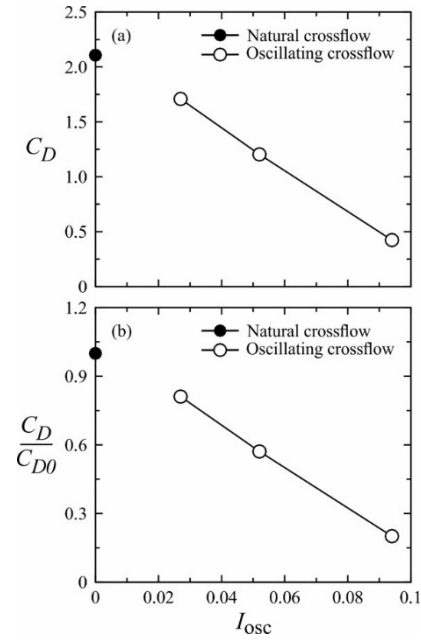
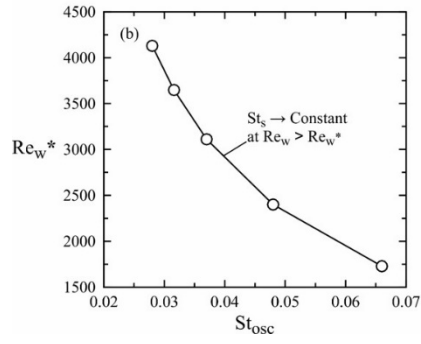
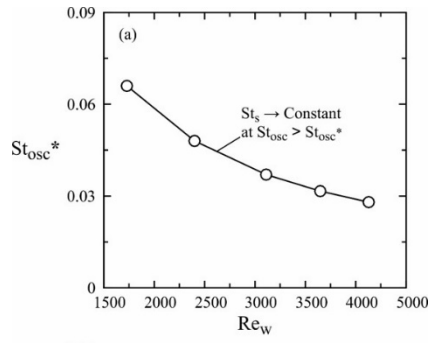


尾流衝擊平板的渦流現象

十一、圓柱尾流在震盪流中的不穩定波(Instabilities of a circular cylinder in oscillating crossflow)

背景說明：當震盪流通過一根圓柱時，震盪流的震盪頻率 f_{osc} 會影響圓柱下游尾流渦旋逸放的頻率 f_s 與圓柱的受力。這些問題多年來一直未有解答。

創新與貢獻：探討出震盪流的震盪頻率 f_{osc} 對圓柱下游尾流渦旋逸放頻率 f_s 的調制機轉，發現震盪流的震幅 I_{osc} 對圓柱下游尾流渦旋逸放頻率無作用。並理出震盪流的震盪頻率 f_{osc} 對圓柱的受力的減小特徵。



圓柱尾流在震盪流中的不穩定波特性

肆、因應研究需要而發展設備與儀器

背景說明：由於進行許多創新型的研究，且為了從根本項目培育學生，採取設備與儀器自行設計與製作的方式進行研究與開發。

創新與貢獻：開發多項儀器、設備、技術，這些開發出來的儀器、設備、技術使用在前述的產品研發工作。有多個項目在技轉過程傳輸給工業界，也帶領學生體驗「從頭做起，構築基礎」的過程。例如：

- | | |
|--------------------|-----------------|
| (1)線性掃描多通道壓力傳輸器； | (2)極低速風洞； |
| (3)可調式煙線技術； | (4)高產煙密度連續式產煙器； |
| (5)表面油墨流技術； | (6)風扇流場診斷設備； |
| (7)彎道整流技術； | (8)新型抗側風氣罩； |
| (9)新型大面積推挽式污染排放裝置； | (10)全無響室； |
| (11)微壓校準器； | (12)氣體流量校準器； |
| (13)熱線風速儀； | (14)管道流體波形產生器； |
| (15)雙向皮托管； | (16)動態流量偵測儀 |
| (17)室內外壓差量測與控制穩壓器 | |