

成功大學 典範傳承 ~ 講座教授的故事

我在成大半世紀

翁鴻山 講座教授/名譽教授

我的感謝

2009年我年滿70歲退休，在成大就學及服務共五十一年。在這半世紀中，很幸運地，我有很好的師長、同事及研究生。我最感念的師長有四位，第一位是賴再得老師，他不計親疏聘我擔任講師，讓我有機會踏入學術圈，以教學與研究為志業；在他的倡導下，研究蔚成風氣，使得我也以研究為本份重要的工作。其次是曹簡禹老師，她是我碩士論文的指導教授，雖然我的實驗進行不很順利，但在她的引領下，我對傳統醱酵工程有了皮毛的認識。第三位是黃定加老師，我服國防役那一年，除了進行軍方交給我的研究外，在他的指導下，從事雙酸根酯化反應的研究，由此我踏入了觸媒反應工程領域，也由曹、黃兩位老師學到了寫論文的技巧。另外我會感念的是石延平老師，我在學時與擔任講師期間，以及後來從事相間轉移催化反應對我有諸多鼓勵。

我很慶幸能在研究風氣濃郁的成大化工系從事教學及研究工作，而且有機會負笈美國西北大學深造。我要感謝馬哲儒及翁政義兩位校長，他們聘請我擔任研究發展委員會執行長(今研發長)及副校長，讓我有服務的機會。當然我也要感謝許多同事，沒有他們的協助，絕對無法順利完成交辦的工作。

我也要感謝我指導的研究生，他們大多數都非常優秀而且認真。由於他們的努力，我得以根據他們的研究結果，撰寫發表一些具有創意的論文，從而得到幾個獎項。在我擔任行政職務時，對研究生較少指導，我感到歉疚，但是他們仍能傾順利完成不錯的碩、博士論文，而且畢業後在工作崗位上有優異的表現。

當然，我也要感謝成大給我這麼好的教學、研究與服務的環境。

就學及服務生涯

就學

民國四十七年(1958年)我自台南一中畢業，當年考入本系，迄退休共五十一年。高中時，因家道中落，課餘要幫忙載貨，加上身體欠佳，所以能考上成大，自己覺得很幸運。大學期間，仍然要幫忙送貨或當家教，成績不是優良只能維持中上。

當時正值化工教育開始轉型，輸送現象、單元操作及單元程序的觀念開始引入，化

工原理(一)(二)相當於現在的單元操作，但是授課仍維持傳統內容；低我二屆，則由普渡大學剛學成回國的老師上課，所以授課內容較新穎。化工原理(三)是選修科目，上課內容有一半是輸送現象，我是少數幾個選修化工原理(三)的學生。單元操作實驗和單元程序實驗，都在由普渡大學規劃以美援經費建置的實驗工廠實習。

1962年剛好成大化工研究所成立，我抱持著姑且一試之心情報名參加入學考試，由於我曾向低我二屆的同學商借化工原理的筆記研讀，所以幸運地被錄取了。放榜後，接著就要選指導教授，當時所長宣佈錄取的研究生可直接跟四位教授洽談，那四位教授的研究領域分別是極譜現象、醱酵法產製有機酸、添加有機酸防止水蒸發、熱擴散分離。我選了曹簡禹老師當指導教授，從事以醱酵法由糖蜜製烏頭酸之研究。研究中，遭遇一些困難及波折，為此，我曾赴柳營台糖酵母工廠實習二星期，學習醱酵及分析的方法，並順便瞭解整個酵母、健素糖及酒精之製程。

服國防役時的研究

獲頒碩士學位後，旋即赴國軍經理學校受訓。約二個月後，奉國防部令，回成大從事國防科技研究，研究題目包括火箭燃料未來的趨勢、毒氣戰的趨勢、因應毒氣戰食品保存方法、國軍野戰口糧的最適成分及燃料油除硫的方法等共計五個。為了撰寫研究報告，除了上本校總圖書館和本系圖書室查閱相關資料外，也到美國新聞處和台南市立圖書館蒐集。

由於上列研究題目並不難，為了不浪費光陰多學一些，決定尋求參與研究的機會。恰好由黃定加老師(他原先是曹簡禹老師的助教，升任講師後二位繼續合作)處獲悉他們二位正規劃從事酯化反應的研究，遂主動向曹老師表示我的意願。後來就在黃老師指導下，從事雙酸根酯化反應的實驗研究。實驗結果由曹、黃二位老師撰寫論文投寄 Ind. Eng. Chem. Process Design and Development，後來被接受刊登，是本系在國際化工期刊發表的第二篇論文。

我服國防役時，並未領薪水，為了養活自己並對家裏的經濟有些幫助，就到中學去兼課，兼課的經驗對後來在化工系上課有或多或少的助益。

初期教學及研究

服國防役屆滿一年前一個多月，聽說化工系有講師缺，考慮了一個星期後，就懷著忐忑的心情問系主任賴老師：是否有機會當講師？賴老師答覆我說：你怎麼現在才來，我以為你另有高就。賴老師大概是看到我服國防役時，還會到系裡作實驗，是「可教」之「孺子」，當場就答應聘我。

我當講師時，先後開授過工程數學、輸送現象及單元操作、化工動力學、化工數學及物理化學實驗。先教工程數學，打好基礎再教輸送現象及單元操作，對熱、質傳有較深刻的瞭解後，接著再教化工動力學，是非常好的教學安排，我真幸運！五十八級畢業生曾修過17-20學分由我開授的課程，不知是否曾誤人子弟？在這段期間，除了有一年攀附黃定加老師以同位素從事鐵離子在固體粒子內擴散之研究外，是針對用於酯化反應的離子交換樹脂觸媒，研究其內外質傳現象。

四年後，1969年8月，我順利升為副教授。

負笈美國攻讀博士學位

1970年3月，在國科會資助下，赴美國西北大學化工系攻讀博士學位。申請入學許可時，該系承認我的碩士學位也同意我免考GRE。博士論文題目是「觸媒劣化對填充床反應器之效應」。實驗部分，是研究觸媒被毒化時，填充床反應器之動態行為。由於我的指導教授剛由耶魯大學轉來，實驗室儀器設備較匱乏，我必須到倉庫內尋找管件，組裝反應器系統，自行組合量測溫度的設備；我也自己用車床製作安裝反應器、流量計和壓力表的鋁板，該設備後來成為該系宣傳用的年度報告封面。不過在研究過程中，不幸碰上了別人先我一步投稿的事。在我到西北大學第三年伊始，指導教授交給我一份託審的論文稿，我發現其內容和我的理論及模擬的部分雷同，我只好加強實驗份量及增加最適化的項目，也因此在該系多留了一年。塞翁失馬焉知非福，我對最適化方法(Optimization techniques)和程序模式及模擬(Process modeling and simulation)也因而更加熟稔，對日後教學及研究有助益。

回國後教學和研究概況

回國後，最初講授程序設計與化工動力學(後改名為化學反應工程)二科必修科目，以及反應器設計、最佳方法(後改名為最適化方法)、程序模式及模擬等選修科目。後來與其他老師合授程序設計、化學反應工程、高等反應工程學及最適化方法。後期，主要開授化學反應工程、高等反應工程學及觸媒之發展與應用三科，也參與化學工業程序與燃料電池應用技術等二科之教學。

剛回國時，儀器設備較少，所以最初以數值方法，從事不均匀活性分佈觸媒性能及結晶器內結晶粒徑分佈之理論分析。當時氣相層析儀算是「貴重」儀器，回國二年後，與同事一起寫了研究甲烷蒸氣重組反應的計畫，由國科會補助購置了一部。後來，也陸續進行以觸媒催化之氣相與液相氧化反應以及酵素反應等研究，主要的研究領域為觸媒及反應工程。

與研究生和導生互動的情形

研究生除可隨時來跟我討論外，早期因指導的研究生較少，只要求他們每星期來跟我報告進度和討論問題。後來指導的研究生增加，而且化工系設有多間研討室，就每星期排定一個晚上為Group seminar的時間，由研究生輪流上台講解某一特定的課題或報告研究進度和討論。除了偶而一起到郊外爬山健行和聚餐外，也多次舉辦三天的旅遊，我們曾去過澎湖、金門、花東及中南部山區等地，最後一次是去爬合歡山東峰。

我跟導生的互動則較少，都以聚餐的方式和他們談話瞭解他們學習和家裡的情形。每次邀請4-5名同學，每學期一次，畢業時甚至會請吃大餐歡送。對有特殊情況的同學，會另安排時間跟他懇談。

後期研究概況

二十多年前，開始從事觸媒法空氣污染防治及相間轉移催化技術等方面的研究。十

年前起，順應時代的潮流，也把奈米觸媒當作主要的研究方向，將用於空氣污染防治的觸媒奈米化。近年來，以觸媒在能源科技之應用為主，包括合成氣燃燒、二氧化碳之轉化、燃料電池觸媒之改良、光觸媒之合成及應用、海膽狀碳材之製備及應用。

退休前五年，執行國科會個別型專題研究計畫四件和整合型計畫三件。整合型計畫各為期三年，一為「能源科技整合型計畫」，研究直接甲醇燃料電池之改良；一為「前瞻優質生活環境科技跨領域研究專案計畫」，從事二氧化碳轉化之研究；另一為「奈米國家型科技整合型計畫」，藉使用海膽狀碳材為觸媒之擔體，改進燃料電池之性能。另參與能源局補助為期四年之大型研究計畫，研製用於合成氣催化燃燒之觸媒。退休前六年，共發表 SCI 論文 16 篇，研討會論文二十餘篇。自任教以來，共發表有審查的論文 90 篇。

行政服務概況

1978 年 8 月，夏漢民校長聘馬哲儒教授繼任化工系主任及化工研究所所長。當時馬教授仍在美國，要半年後方能返國，夏校長遂任命我擔任化工廠主任兼代理系主任及所長。馬教授回國後，我主要是協助他處理經費與儀器設備以及系館增建的事務。1981 年 7 月，我兼任化工廠主任滿三年後辭職，赴加州大學 Davis 校區擔任客座研究員，在 Professor J. M. Smith 實驗室研究半年，也協助他指導研究人員。

1987 年 8 月至 1990 年 7 月，擔任化工系主任及化工研究所所長。卸任後，利用休假赴甫創立的高雄工學院（今義守大學）擔任首任教務長暨化工系主任。馬哲儒教授於 1988 年起榮任本校校長，1990 年校務會議通過設置研究發展委員會。由於我與他有共事的機緣，次年我由高雄工學院返校，他聘我出任首任執行長（今研發長）。任內在同仁協助下，訂定相關規章、編寫中程校務發展計畫、訂定校長遴選辦法、因應新頒佈的大學法大幅修訂本校的組織規程。其中中程校務發展計畫是在馬校長充分授權下，由翁政義教務長、楊明宗總務長及營繕組陳長庚主任通力合作下完成的，藉由這個計畫，本校爭取到包括總圖書館以及化工等四個新系館，一共二十七億的建築經費。1993 年底，我們排除諸多困難，創立了成大研究發展基金會，我被任命為第一任執行長。

由於我跟翁政義教務長有上述共事的關係，1997 年他出任校長後，在校務會議上提名我出任副校長。在副校長任內，協助校長推動人文藝術活動，包括協辦校園雕塑大展和博物館籌設工作，以及協助創立藝術中心和生物科技中心，我也被聘為該二中心的首任主任。此外，也協調規劃修齊大樓（文學院和語言中心）與照坤大樓（儀器設備中心），參與爭取陸軍 804 醫院撥交本校及南部醫學中心第二期擴建計畫之經費。2000 年 5 月翁校長出掌國科會，我出任代理校長。在翁校長及同仁的鼓勵下，我曾參與校長遴選，但未獲遴選委員的青睞。

2005 年，因應同仁之建議，與工學院吳文騰院長研商成立能源科技研究中心之事宜，吳院長決定先設置能源學程，藉以匯集整合人才。2007 年 7 月，組成籌設小組，我擔任召集人，決定籌設能源科技與策略研究中心。2008 年 2 月，主管會報中通過同意籌設並以籌備處的型式運作。其後，在楊毓民和林大惠兩位教授的協助下，收集相關同仁之資料，將本校同仁之研究分成 12 個領域，並商請 12 位教授擔任召集人進行整合之工

作。2009年3月初中心籌備處開始運作。3月中旬，開始分批舉辦各領域座談會，後來共組成16個團隊，參考全國能源會議之決議訂定研究方向。也請二位助理協助下建立網頁，提供頗受歡迎的能源知識及訊息。2009年8月我退休後，改由吳文騰教授主持，該中心已於2010年正式成立。

退休後的生活

2009年退休後，每周二、四清晨我會到附近的公園或學校快走40-50分鐘，周末早上則騎腳踏車到郊外，前後2-3小時；周間每天仍然在8時許到校、6點半以後回家。我仍然繼續上課，但是課不多，平均每週約1個鐘點。我也擔任化工系友會常務監事和化工文教基金會常務監察人負責財務工作，平均每週約需花一天的時間。此外仍有一些服務性的工作，包括擔任校內幾個單位的諮議委員，以及校外評鑑、計畫和升等審查、國際學術論文審查等，但是已逐年予以婉拒。

自2006年開始負責編撰化工系系史，已於2011年11月出版；而自2007年開始籌設化工系史館(由47級系友捐款建置)，也於2011年11月揭幕，但是仍需逐步充實，也有許多地方需要改進，因此正進行調整與擴充的工作。此外，自2009年受台灣化學學會之託，負責編纂臺灣化工史，分為六篇，將於今(2012)年9月起分冊出版。因為我退休時，獲頒名譽教授，化工系循例提供了一間8坪大的辦公室，讓我進行上述的工作有足夠的空間。

最近又有系友惠允捐款在化工系建置臺灣化工史料館，針對臺灣重要化工產業和化工教育收集資料，邀請專家學者進行整理、研究、彙整成專集，並將作成電子檔供線上查閱，也將挑選適當的專集出版，我已與歷史系高淑媛教授作了初步的規劃，安排近程的工作。化工系系務會議已通過撥地下一樓一間約26坪大的房間充當籌備處，今(2012)年9月已開始運作。

編寫實用且適合國內情況的「化學反應工程」教科書，一直是我數十年來想要完成的夢想，但是因教學、研究及服務的工作而延宕下來，明年起，除執行上述臺灣化工史料館的計畫將有較多的時間，編寫上列教科書將是我未來數年另一項主要工作。

從事觸媒及反應工程研究的想法及經驗

研究歷程

從事研究工作需要儀器設備、經費與人力，早期因為儀器種類少而且台數有限，例如一台氣相層析儀要多人共用。所以回國後，我從事僅使用電腦計算或僅使用簡單的實驗設備的研究，包括觸媒劣化現象對填充床影響的理論分析、Population balance 在反應器-再生器系統及結晶器之應用、具不均勻活性分佈觸媒之性能、葡萄糖異構化反應、與陳陵援老師合作從事甲烷蒸氣重組反應。

後來我的實驗室累積的儀器設備逐漸增加，包括HPLC、NO/CO分析儀各一台及GC

三台；校方也購置了幾台包括 XRD、SEM、ESCA 等貴重儀器，我就轉向以實驗為主要的研究，自 1980 年起，都沒有作僅使用電腦計算的研究。

化工方面的研究隨經濟的發展而改變，二次大戰後，先是以煉油技術為主，隨後是石化工業(包括高分子材料)，接著是環保及生化技術。期間精密化學品與電子封裝材料也是重要的研究項目，近期則以奈米及新能源科技為主。由於研究經費大部分來自國科會，而國科會也多以是否合乎潮流之重點科技決定是否補助。為了爭取研究經費及因應研究的潮流與研究生的需求，我也調整了研究方向，但仍與觸媒(或酵素)相關，包括以觸媒法處理空氣中之污染物、合成液相有機化合物及酵素反應機構。

化工方面的研究大部份在 80 年代已做完，其後多為跨領域的研究。退休前七、八年間，我參與或主持的研究多為整合型，包括：合成氣之催化燃燒(含甲烷之催化燃燒)、二氧化碳之甲烷重組反應、直接甲醇燃料電池陽極觸媒之研發及海膽狀碳材之製備及在燃料電池之應用。

隨著年齡增大，研究愈朝應用性發展，更重視環保與能源的課題。除了上列幾項應用性的研究外，也主持或參與幾個產學合作計畫，包括廢輪胎裂解產油、正丁烷催化燃燒及正庚烷異構化等。

曾經進行跟觸媒(酵素)相關的研究項目：

1. 酯化反應。
2. 觸媒被毒化時，填充床反應器之動態行為。
3. Population balance 在結晶與反應系統之應用。
4. 具不均勻活性分佈觸媒之性能。
5. 葡萄糖異構化反應。
6. 葡萄糖氧化反應。
7. 三液相相間轉移催化反應。
8. 以固體觸媒催化環己烷/環己酮之液相反應。
9. 複合型觸媒用於甲苯氧化的性能。
10. 複合型觸媒用於還原一氧化氮的性能。
11. 甲硫醇/二甲基二硫之氧化反應。
12. 二氧化硫之催化還原。
13. 甲醇之蒸氣重組反應。
14. 甲烷之催化燃燒。

15. 合成氣之催化燃燒。
16. 二氧化碳之甲烷重組反應。
17. 直接甲醇燃料電池陽極觸媒之研發。
18. 光觸媒用於水分解及二氧化碳還原反應。
19. 添加吸附劑對光觸媒用於降解水中污染物的效應。
20. 海膽狀碳材之製備及在燃料電池之應用。
21. 正丁烷之催化燃燒。
22. 正丁烷與正庚烷之異構化反應。

研究題目的選定、內容的發展及新題目的形成

大學教師的研究領域常是延續其碩、博士論文之研究範疇，或是配合時代潮流和因應單位主管之要求而作調整。而化工方面研究題目的選定、內容的發展及新題目的形成，則是源自於下列的因素：為解決某一學術或應用的問題、改良材料或製程(提高性能、降低成本)、嘗試新的作法、釐清某一問題或特異現象、新材料問世、出現新儀器或新解析方法以及靈感(基於學理或其它研究的啟發)。為確定新研究題目，必須評估自己的學識能力、效益、經費、人力和時間等因子。自 1990 年代後期起，奈米科技及新能源科技之研究普獲重視，我也因應此一趨勢調整研究方向和內容。

下面我舉四個例子，說明我決定研究題目及內容的想法。

I. 複合型(Perovskite-type)觸媒相關研究

我會從事研究 Perovskite-type (通式為 $A_{1-x}A'_xB_{1-y}B'_yO_3$) 觸媒，是因為處理工廠排放 VOC 廢氣與汽機車廢氣轉化器使用價格昂貴且易中毒的含鉑觸媒，許多人認為宜研發低價位的新觸媒取代。最初研究的反應是甲苯深度氧化(Deep oxidation of toluene)，使用 $La_{1-x}Sr_xBO_3$ ($B = Fe, Co, Ni, Mn$) 為觸媒，跟工研院化學工業研究所合作。參與研究的碩士生畢業後就到該所服務研究機車廢氣轉化器使用的觸媒。我的實驗室後來也繼續研究以 Ce 取代 Sr 和 B 金屬互相部分取代的效能。

在此一研究中，當我們使用 $La_{1-x}Sr_xNiO_3$ 為觸媒時，發現轉化率-溫度曲線在低溫下有奇特的現象，而以 GC-MS 分析反應器出口氣體的成分，得知不是預期的 CO_2 和水，卻是幾種二甲苯的異構物，因而對此現象作進一步的研究。結果確定甲苯在低溫下會發生 Rearrangement 和 Disproportionation 二種反應。

考量一些因素，我們進行了下列的延伸性研究：

1. 因為還原反應會伴同氧化反應，而且一氧化氮也是空氣中的污染物，所以就決

定嘗試使用一氧化碳、氫及乙烯為還原劑，而以上列 Perovskite-type 觸媒催化一氧化氮。

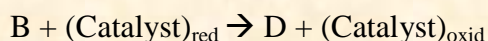
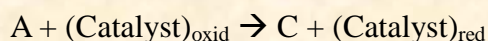
2. 許多有機硫化物也是揮發性的污染物，我們選了甲硫醇(CH₃SH)的氧化反應為研究對象。
3. 二氧化硫是空氣中主要的污染物，而且也是甲硫醇氧化反應的最終產物，我們為了回收硫，所以也研究它的催化還原反應。
4. 二氧化硫與一氧化氮是發電廠排放廢氣主要的成分，所以我們也曾嘗試將二者同時還原。

所以進行氣相觸媒反應實驗時，除了必須在大的溫度範圍下，建立轉化率-溫度曲線外，也要仔細分析反應器出口產物的成分。

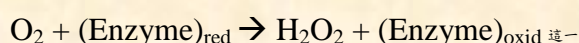
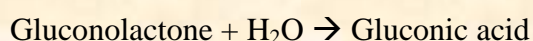
退休前數年相關研究包括：甲烷之催化燃燒、合成氣之催化燃燒、丁烷之催化燃燒。

II. 葡萄糖氧化反應 (Glucose Oxidation)

酵素反應的反應機構，一般是根據反應速率表示式的形式推測的；而表示式中的參數，則是將在不同濃度下所求出之反應速率代入反應速率方程式求得。1987年從事以固定化葡萄糖氧化酵素催化葡萄糖氧化反應之研究時，想到有一些以固體觸媒催化的氧化-還原反應的反應機構是屬於 Mars-Van Krevelen 型，其使用的固體觸媒會同時具有氧化態和還原態，而且兩者會互變：



所以就決定進行葡萄糖氧化反應，以吸附/反應的方式推測反應機構，求出反應速率表示式及式中的參數。我們在裝有固定化葡萄糖氧化酵素的管狀反應器中先通入氧氣，然後在不通氧氣的情況下，將葡萄糖水溶液引入反應器，在出口處測得產物為葡萄糖酸；接著，僅通入氧氣，測得產物為過氧化氫。由上述的實驗結果，我們確定葡萄糖氧化反應的反應機構是：



在推測酵素反應的反應機構的研究中，我們領先使用這種吸附/反應的實驗方法；這種作法，是將一個領域使用的方法成功地應用到另一個領域的案例。

III. 相間轉移催化(Phase-transfer catalysis, PTC)

有機相和水相間的反應(LL organic reaction)，因互不相溶或僅微溶而反應速率很慢，在 1960 年代，就有人發現添加相間轉移觸媒可大幅加快反應速率，此種反應技術被稱為相間轉移催化(LL-PTC)。但是相間轉移觸媒不易回收使用，若能使用固定化觸媒則可重複使用，如此，就形成 LLS-PTC 系統

1983 年，我們在 250 mL 反應器中以固定化之三級胺為相間轉移觸媒催化 PhCH_2Cl 與 NaBr 之反應(為一種 LLS-PTC)為模式反應，研究固定化方法和條件對觸媒性能的影響中，同時也以溶解於水油兩相的四級銨鹽催化同一反應(即 LL-PTC)，藉以互相比較。

我們在 LL-PTC 的實驗中，發現隨著觸媒用量之增加，反應速率常數最初緩慢增大，但觸媒用量增加至某一數值後，反應速率常數突然急劇增大。我們最初以為觸媒和 NaCl 用量較大時，觸媒會被推擠到水油界面，因而加速反應之進行。幸運地，有一次研究生將反應液倒入試管後，發現水油二相間出現了一薄液層，而且歷經數天仍然存在。(由 250 mL 玻璃反應器無從看出。) 據此，我們斷定 LL-PTC 系統，在某些條件下會出現第三液相，而且反應速率會加快，就將此催化技術命名為三液相相間轉移催化(Tri-liquid phase phase transfer catalysis)，簡稱為三液相催化(Tri-liquid phase catalysis)，為相間轉移催化開創新的技術。

後續我們針對 LLL-PTC 作深入的探討，包括：三液相形成及存在的條件、連續式 LLL-PTC、連續式 LLS-PTC、以第三液相催化液-固反應，作了一系列的延伸研究。

IV. 直接甲醇燃料電池觸媒 (DMFC catalysts) 及海膽狀碳材

直接甲醇燃料電池是微型燃料電池發展的主流，它雖具有方便、功率密度高、體積小及重量輕、不必使用氣瓶儲存燃料，亦不需要外部重組器等優點，但也有放電性能比使用氫氣時低，中間產物一氧化碳易毒化鉑觸媒及甲醇滲透(cross-over)過質子交換膜降低甲醇利用率的問題。為解決這些問題，須改良電極觸媒提高反應性及穩定性，需研發新的質子交換膜，增加直接甲醇燃料電池的發展性與實用性。

基於上述的理念，幾位老師一齊申請了一個為期三年的整合型計畫，我的實驗室負責改良電極觸媒。我們曾嘗試

1. 以多次含浸法並改變還原劑製備 Pt-Ru/C 觸媒；
2. 除碳黑(CB)外，使用中孔碳(Mesoporous carbon, MC)；
3. 添加碳奈米管。
4. 除 Pt 外，添加 W、Sn 和 Ru+Sn。

結果發現以多次含浸法製備 Pt-Ru/CB 觸媒電催化活性較單次含浸法高；添加錫製成 Pt-Ru-Sn/CB 活性提高；製備電極時，添加碳奈米管(CNT)可進一步提升電極的性能。

根據上述之研究成果，我們確定添加碳奈米管於碳材（碳黑或中孔碳）中，可增進電極觸媒之電催化效能。我又想到如果在碳黑或中孔碳的外表面，生長碳奈米管，製成

海膽狀碳材 (Urchin-like Carbons, ULC)。如此，不僅碳奈米管跟碳材之接觸可更緊密，碳粒也可藉碳奈米管之接觸，增加彼此的接觸面積。因此，我們參與了海膽狀碳材的整合型計畫，就以碳黑和中孔碳為基材含浸鐵、鈷、鎳，在它們上面生長碳奈米管，製成海膽狀碳材。然後再含浸鉑、鈦和錫的鹽類，製成 Pt-Ru-Sn/ULC。測試結果顯示，以海膽狀碳材為擔體製成的電極觸媒，其電催化效能更佳，甚至遠比商用觸媒好。我相信我們是第一個製備出海膽狀碳材的研究團隊。

我對大學化工系所研究的看法

1. 主要是訓練研究生，從事基礎研究，最好能有創新理論或技術。(就這一點而言，我頗為汗顏。)
2. 實驗的經驗和研究的成果若能用於教學，在上課時不僅有成就感也覺得踏實。
3. 與工學院其它學門比較，化工人有較好的化學和生化方面的基礎與背景，更容易參與跨領域的研究。
4. 儘量從事跨領域或整合型的研究。
5. 善用儀器設備，有很多研究不一定要使用貴重儀器設備。
6. 宜從事以應用為目標的學術性研究。
7. 儘可能將學術性研究成果應用化。
8. 奈米科技的風潮及能源科技的發展，給觸媒及反應工程相關的研究新的生命。
9. 奈米材料(包括觸媒和光觸媒)引領新民生用品之出現，也給予傳統科技新機會。

結語及對化工系同學的期望

- * 作反應實驗時，要對生成物作雙重檢測。
- * 遇到奇特現象發生，要重覆實驗確定，並向指導教授報告探究原因。
- * 重視基本學科。
- * 學習其它領域的知識與技術。
- * 注意科技的發展趨勢。
- * 多參與跨領域合作研究計畫。
- * 加強語言能力。
- * 不要太計較自己的得失，多關心公共事務。

* 把握機會，用心思考，認真踏實地工作。



圖一 化學反應工程上課中



圖二 在研究室



圖三 與研究生遊澎湖