

從奈米到綠氫儲能， 呂世源投身去化工污名、走向永續

11 〇二三年第二十八屆聯合國氣候變遷大會（COP28），各國做出一項歷史性的決議：化石燃

料將「過渡」至其他類型的潔淨能源。面對這項決議，清華大學化學工程學系講座教授呂世源期許：「由高碳經濟轉向低碳經濟，勢必伴隨一段陣痛期，身為研究者，應在可貢獻之領域竭盡所能，為實現目標做出努力。」

一直以來，清大化工系在高分子科學暨工程領域表現卓越，但部分的高分子材料與化石燃料息息相關；呂世源於擔任系主任期間（二〇〇七～二〇一〇年）推動「能源與環境」成爲系之重點研究領域，迄今儲能與二氧化碳再利用，已成爲系上的研究主力之一，呂世源也從投入降解污染物到儲能、電觸媒之研發應用，持續爲臺灣邁向二〇五〇淨零目標而努力，獲得第六十六屆學術獎肯定。

扭轉化工系污名標籤的起心動念

「在缺乏環保意識的年代，化工廠排放的污染不僅破壞了環境，還對居民的健康造成威脅，加上化工廠爆炸總是大新聞，使化工在早年被貼上產生污染及危險的標籤；也因此，當環境議題日益受到關注，我們也開始思索如何正本清源，反過來利用化工控管污染排放的源頭，扭轉大眾對化工的印象」，呂世源回首當時投入能源與環境領域研究的起心動念。

呂世源返臺至今，在學術研究上分爲三個時期。第一個時期，延續在美國威斯康辛大學麥迪遜分校的博士論文研究——探討異相系統的輸送現象，主要專注於理論和計算。第二個時期，建立「奈米材料與奈米結構實驗室」，轉入實驗與應用領域。第三個時期，關注環境議題，加上歷經第二時期摸索奈米科技累積的經驗，發現奈米材料暨結構非常適用於「能源與環境」領域，故以儲能作爲研究主題。



呂世源

工程及應用科學

第六十六屆學術獎

清華大學化學工程學系講座教授

只是，非從事學術研究的人可能不知，「理論計算」和「實驗應用」是兩種迥然不同的研究方法。在「理論計算」

中，研究者主要透過數學模型和計算來分析理論；但在「實驗應用」中，則需進行實際的實驗室工作和材料製備。這兩者之間的轉換對研究者來說，近乎是「斷崖式」的挑戰。

提及當年勇於轉身，呂世源笑稱自己很幸運：「一方面，系上已有兩名老師成功轉換研究領域之先例，對我起到鼓舞的作用；另一方面，不同於一路從高中讀到大學的學子，我是自高雄工專插班考上臺大化工，專科學校強調應用實作，帶來潛移默化的影響，因此欣然接受實驗應用的全新挑戰，加上當時系主任聘請到一名擅長實驗的博士後老師提供協助，這也是成功轉型的重要關鍵。」

從零開始探索的奈米世界

二十世紀末才開始發展的奈米科技，如今從家電、衣飾到塗料、光觸媒等，都可以看見標榜「奈米」的宣傳字樣，但若細述「奈米」的關鍵影響力，卻不容易，就連呂世源當初也是從零開始學習。

「我還在念書的年代，可被觀察測量的長度單位只有公里 (km)、米 (m)、毫米 (mm) 及微米 (μ)，而微米是奈米 (nm) 的一千倍大！」他進一步表示，由於奈米

非常微小，使其具有一些特殊性，比方說表面效應，尺寸越小，比表面積越大，表面原子更容易接觸外界而具有較高的活性，這對於進行催化反應至關重要；因為催化反應需要材料的表面與反應物充分接觸，所以當材料為奈米尺寸時，催化能力便大幅提升。

譬如：二〇〇三年 SARS 期間，總統府以光觸媒劑展開消毒工作，因使用奈米材料的光觸媒只需暴露於陽光或室內照明即可啓動催化能力，產生羥基自由基（·OH），破壞細菌細胞壁，藉以達到消毒抗菌的效果；現今民眾熟悉的防潑水衣物也是奈米化的產品，因其使用顆粒結構的奈米材料具有超疏水之效果，水分子無法附著於奈米顆粒表面，以致於衣物不易變濕。

「奈米結構也是我們的研究範圍。想像一下，若將奈米材料製成顆粒狀，使其長、寬、高之三個維度都在奈米尺度內，這就是零維奈米材料；還有我們目前研究的電觸媒選用的奈米孔洞材料，亦是近年來備受關注的研究領域」，呂世源簡單說明何謂奈米結構。

他不諱言地表示，奈米是過去未曾真正深入研究的尺寸範疇，「昔日，我們只知道肉眼可見的物體尺寸，屬於宏觀世界，以及超過可見光的波長，無法被直接觀察及操作的分

子、原子之微觀世界；而奈米雖然肉眼看不見，但在實驗室

條件下是可以被觀察和操作的，且於物理性、化學性、機械性等多方面都與宏觀及微觀世界不同，至今仍有未被完全開發的領域，其應用潛力相當值得期待！」

欲透過奈米電觸媒催化，大幅提高電解水產氫效益

呂世源團隊現正研發的電觸媒，旨從源頭減少電解水產氫技術的耗能量，以達到節省能源、降低成本的目的，同時確保更高的效能。

「綠氫是實現二〇五〇淨零碳排的主要途徑之一。國際能源署曾建議，生產綠氫以電解水為主，可如果電價過高，電解水產氫的效益就會降低；所以，我們希望透過催化劑減少所需的電能，比方說，以往需施加兩伏特的電壓才能進行電解水產氫，但有了電觸媒的催化後，降低至一點八伏特，既可節能、降成本，技術也更具競爭力」，呂世源透露研發電觸媒的原因。

只是，這項技術的研發涉及電極的製備。在實驗室裡，電極的尺寸可能只需一公分乘一公分，但若欲商業化，勢必得實現規模放大，這是一項極富挑戰性的任務。

呂世源解釋，目前實驗室主要發展的電觸媒是包含五種金屬成分的高熵合金，「原本五種金屬的比例均等，但在規模放大後，金屬的配比卻無法保持等比例，就會造成組成比例

失衡的問題；另還有電鍍均勻性的挑戰，隨著電極面積的增大，容易導致不同部位的厚薄不一致，就像擀面皮一樣，擀小的餃子皮容易均勻，擀大面皮時，均勻性的難度便隨之提升。」



除了規模放大，還需考量未來應用的實際環境，因為呂世源團隊先前曾成功研發出高效能光觸媒以降解有機污染物，但在洽談技轉時，遇到難以克服的瓶頸而宣告失敗！

「當時廠商告訴我們，雖然光觸媒效果出色，但日照光不穩定，若使用人造光源則耗費額外的成本，尤其當處理數噸含有大量有機污染物的廢水，所需要的光照量，絕不是實驗室裡的小光源可滿足的，使得成本過高而無法商業化」，呂世源大方分享失敗經驗，強調這是研究者經常歷經的過程。

人類正面對永續生存的挑戰，人人有責

呂世源不僅在擔任系主任期間在系上力推節能減碳，投身能源與環境之研究，同時也要求自己生活中對環境盡一己之力，例如：隨手關燈、溫度不超過二十八度不開冷氣、與太太共乘一輛車上下班等。

他語重心長地說：「過去，我們使用了太多的化石能源，導致二氧化碳排放過多；如今，我們已經親身見證極端氣候帶來暴雨、旱災、森林大火等災害，人類正面對永續生存的巨大挑戰，所以實踐二〇五〇淨零排放目標，不只是政府責任，而是人人皆有責。」