

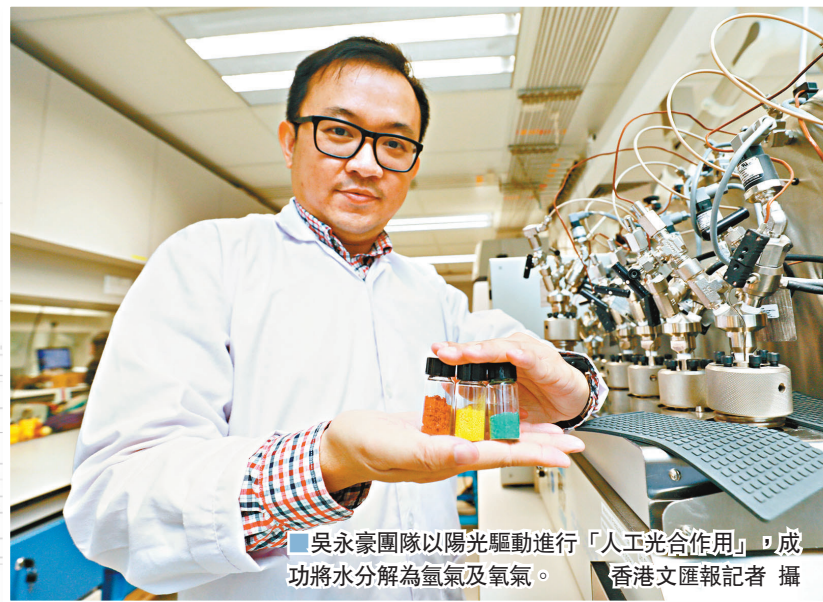
想·創能

之此氫只應水中



陽光與水，孕育了無數生命；若結合科學智慧，更可轉化成新世代零污染燃料，推動人類文明可持續發展。眾所周知，水(H₂O)是由氫(H)與氧(O)元素組成；當氫以氣體形式(H₂)存在，則是極具發展潛力的潔淨能源，惟如何有效產生氫氣卻面對龐大挑戰。近年，香港城市大學學者吳永豪及其團隊，受植物的光合作用啟發，利用獨特的半導體材料作為光催化劑(又稱光觸媒)，以陽光驅動進行「人工光合作用」，成功將水分解為氫氣及氧氣，過程中不會產生任何污染物。團隊更成功透過調控當中的電子反應，同時將廢水中的有機物氧化降解，同時做到產能及減污，「一石二鳥」的尖端技術廣受國際注目。

■香港文匯報記者 詹漢基



吳永豪團隊以陽光驅動進行「人工光合作用」，成功將水分解為氫氣及氧氣。香港文匯報記者 攝

面對全球暖化，開發潔淨能源成為解決問題的關鍵。由於氫氣燃燒過程只會產生水作為副產品，可望達至零排放，被視為有機會代替化石燃料成為未來的經濟動力核心。香港城市大學能源及環境學院副教授吳永豪日前接受香港文匯報記者訪問時指，氫氣並非天然存在需要藉化學反應提取，惟現時兩個主要方法分別涉及燃燒化石燃料或用大量能源將水電解，兩者成本效益欠佳且會排放溫室氣體，「因此，如何用『乾淨』方法大量產生氫氣，是為箇中關鍵。」

轉研光催化現象(photocatalysis)的吳永豪，因而向大自然「取經」。他表示，植物進行光合作用時，葉子利用陽光，將水、二氧化碳轉化所需養分(碳水化合物)，當中葉綠素就是一種光催化劑，若能以此為參照，「從水中提煉氫氣，燃燒氫氣時又產生水分，這樣便可以形成一個理想的循環。」不過當中涉及一個關鍵，「水是地球最穩定的物質之一，所以需要很強的氧化與還原能力，才能將水分解。」

粉末吸光 有效推「水裂解」

吳永豪表示，光催化是以光為驅動力，透過光催化劑加速化學反應，團隊利用從礦物提煉出的鈦酸鈦(TiO₂)及鉍酸鈹(BiVO₄)等化合物，合成粉末狀的光催化半導體，只要將其置於水中，粉末吸收光後即能有效推動「水裂解」過程，將水轉換為氫氣及氧氣。

他進一步解釋，在半導體物質中，存在「價帶(valence band)」及「導帶(conduction band)」，「價帶」上的電子會因為光的能量而激發到「導帶」，「那帶負電荷的電子就像上了高速公路一樣，具有活性」；水中存在大量的氫

正離子(H⁺)，會因「正負相吸」而吸收具活性的電子，兩顆氫正離子會形成「Bonding(鍵結)」，繼而還原成氫氣。

有機物失電子 結構氧化分解

當電子離開「價帶」，原有位置則成為「電洞(electron hole)」。吳永豪指，由於「電洞」性質並不穩定，故傾向將有機物周遭的電子吸附過來。當有機物失去了電子，其結構就會氧化、分解，從而起到將水淨化的作用，「但想要一種光催化劑，能同時擁有很強的還原能力及氧化能力，其實是行不通的。因為『價帶』及『導帶』距離太遠的話，電子不能被激發，對光就沒有反應，所以要有取捨及平衡。」吳永豪說，團隊的優勢在於做了很多基礎理論的理解，「我們對調控不同材料『價帶』及『導帶』的距離較有心得，繼而調整吸光率。」

吳永豪提到，不同的半導體粉末具有不同的氧化、還原能力，故團隊搭建「滑梯」，利用氧化石墨烯作為輸送帶，引導電子在不同光催化劑間移動，從而產生更多的氫氣，並達到更強的淨化能力。以此創新方法產生的氫氣，可用合適的儀器儲存，進而燃燒發電；亦可結合二氧化碳分解技術，提煉煤氣等化學燃料。

藉着多年來於光催化製造氫氣的研究，吳永豪在亞太經合組織(APEC)約20個國家與地區的青年科學家脫穎而出，成為該組織2019年度「創新、研究與教育科學獎」唯一得主。他透露，香港機電工程署亦有邀請其加入APEC相關工作小組，並將以署方名義舉辦亞太區氫能論壇，推動區內氫能發展。

城大用半導體材料光催化「人工光合作用」

零 污 染 發 電

港高樓大廈林立 污水發電具優勢

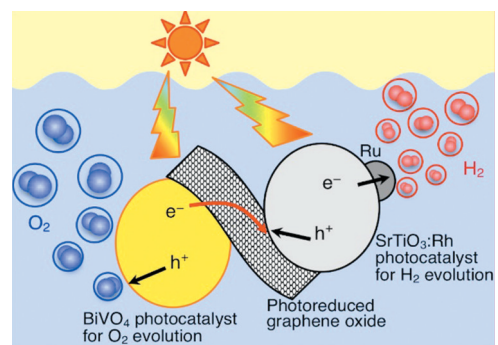
由於光催化同時具有產生氫氣及淨化污水的能力，吳永豪指，利用污水發電亦成為一個可以「一石二鳥」的發展方向。雖然相關技術尚未十分成熟，但他表示，對高樓大廈林立的香港來說，若能設計出合適的機器，在處理生活污水方面，特別能發揮技術的優勢。

吳永豪提到，在技術上分解污水遠比分解乾淨水製氫容易，「我們需要將半導體的『價帶』做得非常深，才能夠將水進行氧化；但『價帶』上的『電洞』，會優先攻擊污水中的有機物，所以氧化工作變得簡單，令潛在應用亦更廣。」

惟技術需要依賴光作為驅動力，他說：「污水不一定是透明的，所以我們需要解決這個難題，最容易的方式就是將污水稀釋；但當中仍有難以分解的雜質，例如廚房的食用油，若分解到一半，仍有機會包裹着光催化粉末，光催化粉末的壽命就會縮短。」

吳永豪說，現時研究團隊有意將光催化粉末變為薄膜，當污水經過，在過濾後就可成乾淨水。不過他坦言，光催化技術仍不能取代所有現時用於淨化的化學物質，「但我們可以將大的污染物分子打散為小分子，降低污水廠對化學品的用量及毒性。」

■香港文匯報記者 詹漢基



鉍酸鈹(BiVO₄)、鈦酸鈦(SrTiO₃)等化合物具有不同的氧化及還原能力，利用石墨烯作為輸送帶，引導電子在不同光催化劑間移動，從而產生更多的氫氣，並達到更強的淨化能力。受訪者供圖

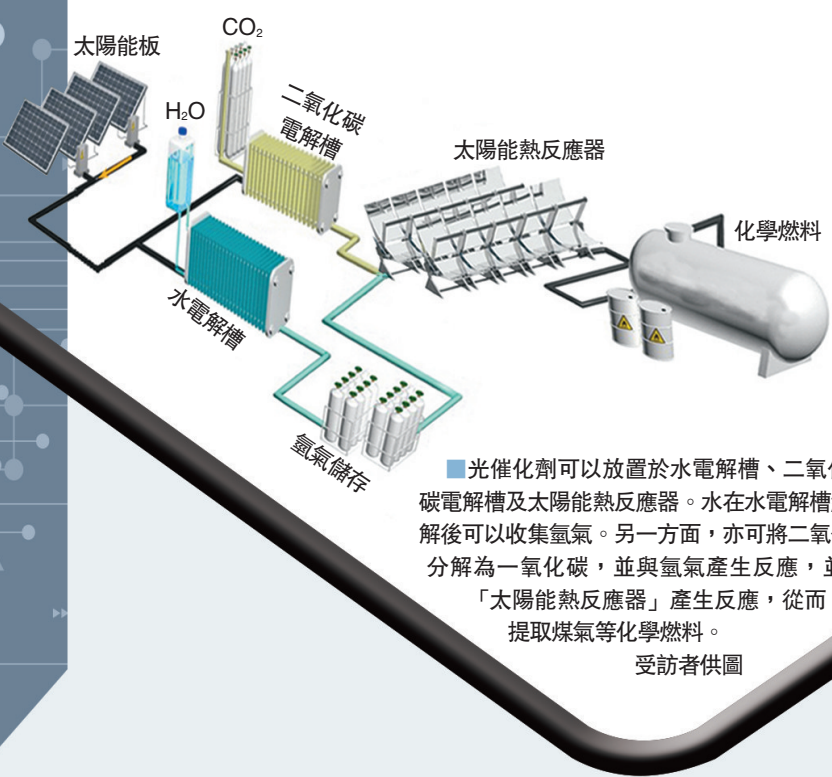
小時多看港劇 最終選擇赴港

吳永豪於馬來西亞長大、日本讀博士、澳洲開展研究生涯，前年加入香港城市大學延續其科研路。母親是廣東人，說得一口流利粵語的他笑言，小時候看了不少香港電視劇、電影，是其毅然決定赴港的原因。

吳永豪的父親是客家人、母親是廣東人，為馬來西亞第四代移民。他表示，在亞洲新加坡和香港都是科研水平高的地方，自己曾於兩地間考慮取捨，最終因為「情感因素」，受小時港產片及劇集影響，潛移默化下變得嚮往香港的生活，最終選擇赴港。

提到科研路的起點，他笑指，「我中學時就對化學有興趣，化學老師將不同液體混在一起，就會發生產生不同的顏色，甚至結晶，讓我覺得『a+b=c』的現象很奇妙。」而在大學、研究生階段對化學催化反應的認識，形成他現時主要工作的基礎。吳永豪又坦言，最初自己並沒有對能源研究領域特別感興趣，但隨着近年見到不少氣候失控事件，感受到人類的生活習慣與環境息息相關，希望能對於潔淨能源方面作貢獻，「這也是一份有意義的工作！」

■香港文匯報記者 詹漢基



光催化劑可以放置於水電解槽、二氧化碳電解槽及太陽能熱反應器。水在水電解槽經分解後可以收集氫氣。另一方面，亦可將二氧化碳分解為一氧化碳，並與氫氣產生反應，並在「太陽能熱反應器」產生反應，從而提取煤氣等化學燃料。受訪者供圖



「氫經濟」世界地位漸升 港應與時並進

煤、石油、天然氣等燃料總有耗盡的一天，在各種可再生能源中，氫氣是全球社會其中一個關注焦點，更因而衍生「氫經濟(Hydrogen Economy)」的概念，而即將舉行的東京奧運會，亦以打造成「氫奧運」為目標，展示其可行性及發展潛力。吳永豪提到，內地、澳洲、韓國等地近年已陸續將氫氣納入能源發展的重要方向，他認為香港應該與時並進，在能源探索、開發與使用方

面走得更有前瞻性。

吳永豪表示，中國氫能聯盟2019年發布全國首份《中國氫能源及燃料電池產業白皮書》，而澳洲、韓國等亦於同年推出發展氫能的路線圖，另外美國、歐洲、日本等氫能源發展也相對成熟，可見「氫經濟」在世界各地的地位日漸提升。

「乾淨」光催化製氫 重點研究方向

為貫徹減排的願景，以「乾淨」

的光催化方法產生氫氣，已成為重點研究方向，「一般而言，現行技術能將光的10%能量轉化為氫氣；若轉換率能超過10%的話，已有一定商業價值。」吳永豪指，數年前科學界已開始突破10%數值，當中以日本的技術效率最為領先，當地政府、工業界也更願意投放資源，甚至奧運的選手村、運動場、巴士等都計劃以氫氣供電。

相對來說，香港對氫氣技術的應用發展仍停留在初步階段，吳永豪

透露，雖然香港有大型企業對其團隊研究感興趣，「但他們對技術的成熟度要求更高，需要經過大量測試才願意使用。」

他認為，香港特區政府縱有意發展太陽能、風能、海浪等多元化可再生能源，「惟對氫氣卻欠投入，只着眼於已有的成熟技術。」他認為香港應放棄保守思維，「再往前多走一點」，才能展示於推動新能源佔上一角色。

■香港文匯報記者 詹漢基



各種顏色的粉末有不同的氧化還原能力，可按實際情況將其混合，推動不同光催化反應。香港文匯報記者 攝