



迎接終極潔淨能源

# 氫能時代來臨

全球高喊2050淨零排放，不少國家紛紛啟動低碳能源新方案，燃燒後只產生水的氫氣，成了後石油時代重要的潔淨能源選項。國際能源署（IEA）指出，2050年全球氫氣供應量可達每年5.3億噸，全球現已有31個國家與地區，發表氫能戰略藍圖，世界正站在能源轉型的關鍵時刻，迎接氫能新時代。



氫是宇宙最豐富的元素，燃燒後不會產生二氧化碳，被視為「終極潔淨能源」。

撰文／陳怡如

從取之不盡的水資源中分解氫，透過能量轉換提供電力並生成水，如此周而復始的資源循環，描繪出人們對於未來永續世界的想像。氫是宇宙最豐富的元素，能量密度大，燃燒後又不會產生

二氧化碳，因而被視為「終極潔淨能源」。

早在1970年，美國德州農工大學教授博克里斯（John Bockris），在通用汽車技術中心的一場演講當中，提出「氫經濟」（Hydrogen Economy）一

詞，設想未來以氫氣取代石油，成為支撐全球經濟的主要能源。20多年前，氫燃料電池有了新的技術進展，日本和美國再次倡議氫經濟，但最終受限於成本和技术尚未成熟，仍舊無法實現氫經濟願景。

近來氫能復興，最主要的驅動力就是2050淨零排放。為了達到淨零目標，全球苦尋替代傳統石化燃料的潔淨能源，工研院綠能與環境研究所副所長萬皓鵬指出，取自大自然的再生能源雖然扮演要角，但發展有其環境限制，仍需部分低碳燃料支撐零碳世界。

國際能源署在其公布的「全球能源部門2050淨零排放路徑」中指出，若想達到2050淨零排放，氫能需占整體能源使用13%，在國發會公布的臺灣2050年淨零排放路徑中，氫能也占電力供給的9%至12%。從整體能源使用角度來看，「氫能不僅是全球、也是臺灣達到2050淨零排放的關鍵角色。」

為了加速臺灣邁向氫能時代，工研院在近日提出「臺灣2050氫應用發展技術藍圖」。氫氣長期做為石化煉製中不可或缺的要角，中油董事長李順欽就指出，「這是氫能發展的一小步，卻是臺灣邁向2050淨零排放的一大步；要達到淨零排放，沒有氫能萬萬不能。」

## 2040綠氫將成主力

氫氣依照來源不同，而有灰氫、藍氫、與綠氫的分別。以化石燃料如天然氣經蒸汽重組產生的氫氣，稱為灰氫；若將蒸汽重組過程中的碳排，經由碳捕捉及封存或再利用，避免二氧化碳排放到大氣中，則稱為藍氫；只有以再生能源電解水產氫的方式，才是最潔淨的綠氫。現今全球氫氣生產大部分為灰氫，隨著技術提升與成本下降，預計在2040年綠氫將會成為主力。

萬皓鵬指出，目前臺灣氫氣用量大約在30~40萬噸，主要來自以石化燃料產氫，幾乎百分之百都是灰氫。在工研院規畫的藍圖裡，2050年臺灣氫氣需求量將達435萬噸，成長10倍之多。這些氫氣來源，評估臺灣再生能源設置與調節情境下，高達四



產業因不同製程，使用氫氣已是行之有年，如煉油業、石化業、鋼鐵業等，氫氣需求量都很大。

分之三要靠進口，四分之一則是自產藍氫及綠氫，自產數量約為110萬噸，估計其中7成是綠氫，3成是藍氫。

雖然氫氣進口成本不低，但萬皓鵬認為，到了2050年，使用化石燃料需付出碳費，而氫氣成本以鄰近日、韓所提出的目標，均在每公斤2元美元左右，而未來可能的氫氣供應大國澳洲，則提出出口目標為每公斤1.4-1.5美元，雖然比目前天然氣貴一點，但若加上碳排和碳費的考量，「氫能和化石燃料在經濟成本上的競爭就會拉近，會具備替代能源的優勢。」

## 多管齊下投入氫能發電

萬皓鵬指出，未來氫能主要有三大應用，也就是發電、工業應用和交通載具，臺灣各有不同機會。首先在發電上，分為定置型發電和分散型發電兩種模式，前者就像大眾熟知的火力發電廠，後者最具代表性的就是燃料電池發電。

在定置型發電上，近幾年國際已實地測試以氫氣替代天然氣燃燒，30%的混燒比例已完成技術驗證。臺灣因產業能量及市場規模等因素，切入大型

發電系統的機會不大，但未來引進氫氣機組後，在地的工程公司可負責運轉維護。

在分散型發電上，現階段市場主力有兩種，一種是可快速啟動的質子交換膜燃料電池（PEMFC）；另一種是適合作為基載的固態氧化物燃料電池（SOFC）。早在20多年前，臺灣便投入PEMFC研究，有許多燃料電池供應商都以PEMFC為主，有些甚至已能做到整組成品輸出，外銷至東南亞和日本等地。工研院也投入發展PEMFC的金屬雙極板，不僅體積更輕薄，成本也只有原先碳板的50%，「未來臺灣在PEMFC的發展很有機會，」萬皓鵬說。

而SOFC有Bloom Energy等國際大廠掌握核心技術，臺灣則以關鍵零組件供應商的角色，切入供應鏈。工研院也打造了2套SOFC，自製率達75%，建立本土化SOFC系統整合技術。

### 氫能車滿足長途運輸需求

在工業應用上，萬皓鵬表示，產業因不同製程，使用氫氣已是行之有年，像是煉油業、石化業、鋼鐵業等，都是氫氣需求量很大的產業。此外，也有些產業在製程中，會有餘氫排出，如造紙業、半導體業等。過去工業餘氫直接排放或燃燒，但近年因為能源議題，也開始出現餘氫回收再利用的討論。

但若採用燃料發電，純度需達99%以上，如果餘氫雜質過多，可能會讓燃料電池的觸媒受到毒化，降低發電效率。工研院投入開發工業餘氫的純化跟回收技術，可將50%的低濃度氫氣直接發電或回收純化到99.999%回到製程使用，讓餘氫發揮最大價值。

在交通載具上，為達2050淨零排放，國際專家一致認為，小型車朝向電動化發展，許多國家研擬停售油車；但對於需要長途運輸和載重的巴士和貨車，電動車續航力就顯不足，也需要較長時間充電，預料大型車會以氫能車為主。

相比電動巴士最多只能跑200公里，充電動輒



氫液化後體積會比氣態時小近1,000倍，載送量更多，因此長途運輸均採用液化氫形式。

數小時，氫能巴士只要儲氫5到10分鐘，就能跑400公里，更具優勢。工研院也投入車用儲氫瓶技術，開發碳纖複合材料，更安全又輕量。

### 氫氣加速實現零碳願景

氫能雖然具備潔淨優勢，但也有不少挑戰。首先，在國際進出口上，由於氫液化後體積會比氣態時小了近1,000倍，可以載送更多氫氣，因此長途運輸都是採用液化氫的形式。

但氫要液化，溫度需達零下253度，為了達到如此低溫，能耗相對較大。同時在運輸過程中，也要全程維持低溫，且需重複加壓液化，導致損失部分氫氣及增加能耗，因此長途運輸目前仍在驗證中，今年初日本和澳洲也才剛完成全球第一艘液態氫運輸船的航程。

即使運輸到目的地，也還有關卡要克服。由於氫分子小，容易鑽入金屬的分子鏈中，久了就會產生裂斷現象，也就是所謂的「氫脆」，因此包含輸送氫氣的管線、儲氫瓶、接收站等設備，都要使用鋼管材料。同時，氫是易燃氣體，爆炸範圍比天然氣還要大，在儲存跟運輸上需要更加小心。目前國



氫氣目前雖比天然氣貴一點，但若加上碳排和碳費的考量，氫能和化石燃料在經濟成本上的競爭就會拉近，具備替代能源優勢。

際上有幾個在地示範系統，大約可運輸100~200公里，但都還在驗證階段。

由於氫氣在儲存和運輸上的挑戰，讓國際開始思考短期替代方案，也就是氨氣。萬皓鵬表示，氨氣是由氫氣和氮氣反應而成，燃燒後同樣沒有碳排，又比氫氣安全，不易爆炸，最重要的是，氨氣液化的溫度只要零下33度，在長途運輸上非常具優勢。IEA指出，在1萬公里以上的運輸，氨氣的運輸成本只有氫氣的75%，過往氨氣作為肥料應用，在國際間運輸也非常成熟。

一般來說，氨氣可直接燃燒使用，不須再分解成氫，因此最好的應用就是直接用於發電。在工研院的「臺灣2050氫應用發展技術藍圖」中，2050年臺灣的氫氣需求量約為315萬噸，百分之百依靠進口和煤炭進行混燒。台電公司規劃今年底和日本三菱重工簽訂MOU，預計將在林口發電廠先行驗證煤炭混燒5%的氨氣。

雖然氨氣優點不少，但萬皓鵬提醒，氨含有氮，在燃燒時會產生氮氧化

物，也是一種污染物，因此目前日本和美國都在研究如何控制氮氧化物的排放量，不過看來技術難度不算太高，「整體來說，氫仍然是終極目標，但氨是短中期立刻就能使用，可加速實現零碳燃料的願景，」萬皓鵬解釋。

### 搶先布局未來氫能經濟

能源是最基礎的民生需求，但能源系統建置需要時間，不管是自產或進口，都需要長時間的規劃和建設，就像過去發展天然氣，也花了很長時間建置天然氣接收站，並且和天然氣供給國簽約。

萬皓鵬進一步指出，國際研究調查機構普遍估計，氫氣大規模使用將在2040年以後，看似還有不短時間，但臺灣從現在就要開始布局，不僅是建構儲存和運輸等基礎設施，還有法規調和，甚至要在氫能技術上做出突破，屆時臺灣就能以技術領先者的角色，在新興的「氫經濟」上搶得先機。■

