

# 德國再生能源電解產氫案例簡介

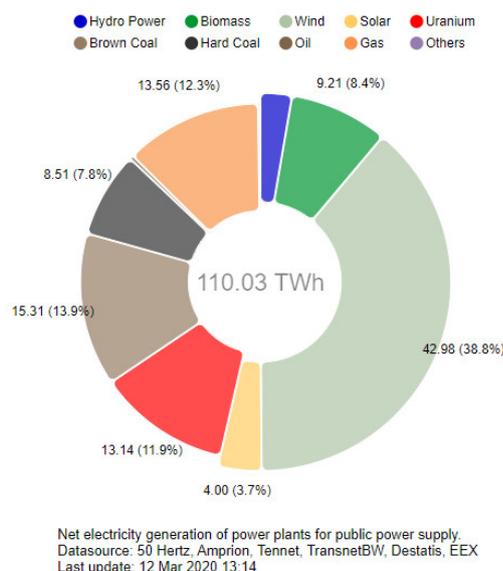
林志嘉 工研院綠能所研究員

## 摘要

德國預估於 2050 年再生能源發電將佔 80%發電量，而為了能夠平衡再生能源季節性變動之特性，單靠傳統燃煤燃氣電廠進行電網調節將不敷使用。在成本與能源儲存量的考量下，儲能電池並無法滿足需求，因此將再生能源轉成合成燃料的儲能技術逐漸受到矚目與重視，現階段德國已經從實驗室小規模示範驗證階段進入到工廠規模的實廠驗證，預計總建置量將大於 200 MW。

## 一、德國再生能源搭配電解產氫之原因

再生能源中以太陽能與風力為主要之來源，超過 45 個國家的再生能源裝置容量(不含水力)超過 1 GW[1]，其中德國於 2020 年再生能源(風力與太陽能)佔總發電量約 42.5%(圖 1)，預估於 2050 年再生能源將達到 80%總發電量。



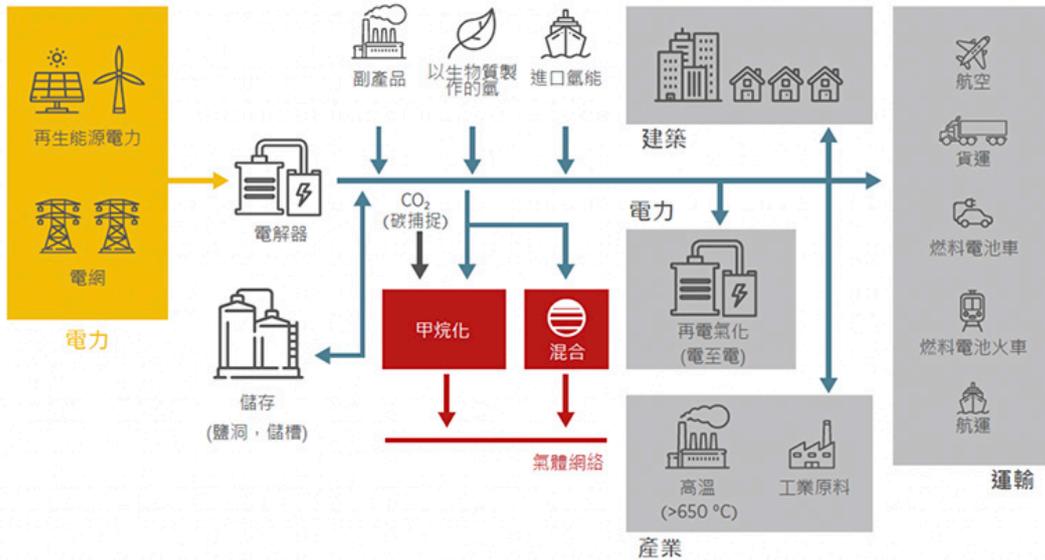
資料來源:整理自 Fraunhofer website，2020。

圖 1 德國 2020 年各發電量比例

在成本與能源儲存量的考量下，儲能電池並無法滿足需求且無法用來平衡再生能源季節性波動。因此，德國目前仍使用傳統燃煤燃氣電廠進行電網之調節。然而，隨著再生能源發電比例的提升，單靠燃煤燃氣電廠進行電力調節將不敷使用。

過去十年以來，德國即嘗試利用太陽能、風力等再生能源生產的電力 (Power)，經由電解水和甲烷化的兩個步驟生產氫氣和甲烷 (Gas) 進行技術試驗，

此過程被稱為 PtG/P2G (Power to Gas)技術(圖 2)，並且已經將 PtG 技術視為利用再生能源的一項重要的儲能技術，並將其列入能源轉型計畫。



資料來源:整理自 APEC 能源國際合作資訊網，2019。

圖 2 以氫能整合再生能源並應用於各種最終用途之架構[2]

使用再生能源生產的合成燃料(合成氣態燃料：氫氣、合成甲烷或甲醇，以及合成液體燃料：合成汽油和柴油)的優點在於，可以繼續使用現有基礎設施(燃氣運輸網路、配送基礎設施)，且合成燃料易於存儲(且相對便宜)、具有更高的能量密度，因此可以用於航空和航運領域、從國外進口合成燃料相對簡單。然而在生產合成燃料時會發生能源損耗，因此需要更多再生能源發電廠來滿足相同發電量之需求。

## 二、德國 PtG 技術研發規劃

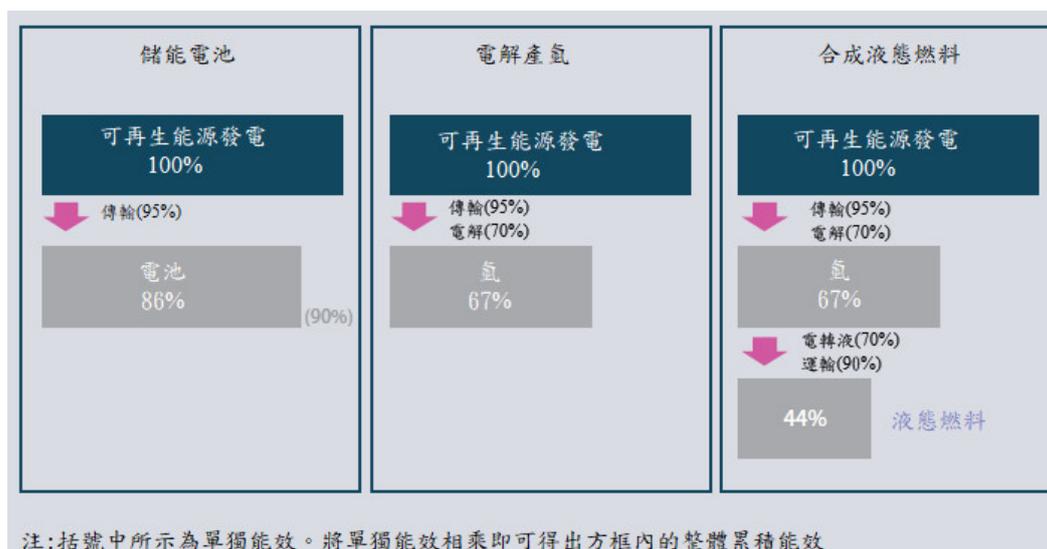
從電力到天然氣(Power to Gas)的生產第一步就是利用再生能源藉由電解水的方式合成氫，生產的氫氣可以直接使用，也可以通過氫氣與二氧化碳反應生成甲烷。合成氣體可用於長時間儲存且方便運輸，並且在生產中生產出工業所需的高溫(圖 2)。雖然 PtG 技術被長期看好，但截至目前德國僅有 35 個 PtG 工廠正在運行，總容量約為 30 MW，最大的單一機組僅為 6 MW。其中大多數是小規模的試點或示範用於研究之目的。

據諮詢機構 Agora 的估算，在歐洲目前 PtG 技術成本大約在 20-30 歐分/千瓦時，如果 2050 年全球 PtG 的規模可以達到 100 GW，成本將會降到 10 歐分/千瓦時。德國為了完成退出核能以及實現降低碳排放量之目標，目前正積極持續規劃工業規模的 PtG 項目，其中德國電網與燃氣公司 Amprion 及 Open Grid Europe(OGE)將建造一座名為“hybridge”的 100 MW 氫能廠，該廠可將風力轉

換為更易於儲存和運輸的替代燃料，將於 2023 年全面投入營運。而 WindH2 計畫則是薩爾茨吉特集團(Salzgitter Group)規劃以 7 台功率為 30 MW 的風力渦輪機搭配一座 400 Nm<sup>3</sup>H<sub>2</sub>/hr 的製氫廠，投資金額約為 5,000 萬歐元，其產生的氫氣將用於該集團鋼廠生產之用，此風力-氫能廠將於 2020 年開始運轉。而 ELEMENT ONE 計畫則是荷蘭-德國電力傳輸系統商(TSO)與兩個天然氣廠商(Gasunie 和 Thyssengas)規劃建造一個 PtG 試驗工廠，容量為 100 MW，將於 2022 年逐步營運。

### 三、PtG 技術瓶頸

從再生能源轉化成燃料的程序中具有明顯的缺點，在電解、甲烷化和儲存過程中會損失大量能量，這意味着生產過程需要消耗大量的再生能源，電解之後，僅剩下約 67%的能量，並且在甲烷液化的步驟之後，僅留下約 44%的能量(圖 3)[3]。



資料來源:整理自電力合成燃料的未來成本, Agora, 2019。

圖 3 各種情境能源效率之比較[3]

為了獲得成本效益必須滿足兩個條件，PtG 設備需要廉價的再生能源和長時間滿負荷運轉。僅靠多餘的再生能源並不足以滿足合成燃料生產的能源需求。PtG 設備是資本密集型設施，具有較高的固定成本，因此，每增加一個運行小時對合成燃料的成本有很大影響，為了以經濟高效的方式運行，PtG 設備每年需要達到 3,000 至 4,000 滿負荷運行小時數[4]。由於能量損耗，合成甲烷的能源成本是投入電力成本的兩倍。因此，廉價的再生能源對於生產設備的經濟運行至關重要。

合成甲烷或液體燃料的替代品是它們的共同化學原料：氫。氫比甲烷或液體燃料更容易生產，效率也更高，製氫成本比在同一地點生產合成甲烷的成本低約 50%(圖 4)。氫的缺點在於與合成甲烷或其他合成液體燃料相比，使用氫需要對

能源系統進行更多改造。因為現有基礎設施在涉及到氫時，其應用受到限制，不僅需要對基礎設施進行高成本改造，而且還需要改變燃氣和燃料設備，德國目前的燃氣供應網路可耐受的氫氣比例約為 10%(按體積計)[5]。氫的大規模使用將需要全球性的氫基礎設施，而隨著全球再生能源的發展，各國針對氫能基礎設施也紛紛擴大其建置。



資料來源: 整理自電力合成燃料的未來成本, Agora, 2019。

圖 4 預估德國投資北非太陽能合成甲烷和製氫成本(不含運輸至德國成本)[3]

#### 四、PtG 技術未來與展望

隨著再生能源使用比例之提升，PtG 技術近年來逐漸受到重視，但是卻面臨氫能設備成本過高以及受到季節性波動影響而無法長時間滿載運轉等問題。因此，初期可透過燃氣混和氫氣的供氫管線開發，而在原有燃氣設備基礎下，擴大 PtG 與氫能之供應鏈，以利於成本下降。中長期除了可持續配合風力與太陽能等季節性變動之再生能源外，亦可針對較穩定之再生能源如海洋能搭配 PtG 技術之應用技術進行開發，以逐步取代傳統之燃煤發電。

#### 參考文獻

- [1] Renewables 2019 Global Status Report.
- [2] Hydrogen from Renewable Power-Technology Outlook for the Energy Transition, IRENA, 2018.
- [3] 電力合成燃料的未來成本, Agora, 2019。
- [4] Acatech, 2015.
- [5] Muller-Syring, G., Establishing a Pan-European understanding of admissible hydrogen concentrations in the natural gas system 2014.