二氧化碳捕捉、封存、再利用技術的產業應用現況

台灣亞太產業分析專業協進會 103 年認證產業分析師 劉致中

一、二氧化碳捕捉、封存、再利用技術與高碳排產業跨域結合

二氧化碳捕捉、封存、再利用技術(Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS)是將工廠排放或大氣中的二氧化碳進行捕集和灌入地底封存或再利用，因此已經成為能源、化學、鋼鐵、水泥等高碳排產業降低二氧化碳排放量的重要應用技術。如果將捕捉到的二氧化碳灌入尚在開採的油井中封存，還可以提高石油的採收率，利用此種方式可提高油田採收率 10~20%，相對於煤發電、鋼鐵等行業的二氧化碳去化處理具有明顯的優勢。因此具有大量油井與氣井的國家均有發展或應用 CCUS 技術來解決二氧化碳減量的問題。

從地底挖出的原油、煤、天然氣等碳氫化合物，經加工製成各式油品、燃料、塑橡膠製品與有機化學品，這些碳氫化合物製造的產品經燃燒後產生動力、熱能，或是消費使用後變成廢棄物進焚化爐焚化處理，最後都以 CO_2 的形式進入大氣中，如何將來自於地底的碳重新灌入地底儲存一直是解決溫室效應的方法之一。油氣企業由於具鑽探專業知識，在發展二氧化碳捕捉、封存、再利用技術(CCUS)上具有先天的優勢。

CCUS 技術在國際上已與能源、化學、鋼鐵、水泥等高碳排產業及油氣鑽探業高度結合，形成另一種跨域整合應用的技術。

二、能源產業的 CCUS 應用

位於美國德州 JX Nippon 公司的 Petra Nova 計畫為美國最大型的燃燒後捕捉 CO_2 工廠，主要將 NRG Energy 公司位於德州 Parish 地區的燃煤發電廠排放的尾氣，利用三菱重工(Mitsubishi Heavy Industries, MHI)提供的化學吸收技術捕獲其中的 CO_2，並將此 CO_2 注入 80 公里外的 West Ranch 油井以提高石油採收率(Enhanced Oil Recovery, EOR)，每年可捕獲 140 萬噸 CO_2。

整體計畫由 Petra Nova Parish 控股公司負責規劃，該公司則由 NRG Energy 與 JX Nippon 公司共同出資成立。運輸及封存計畫則由 Petra Nova Parish 控股公司與 Hilcorp Energy Company 共同出資成立 Texas Coastal Ventures(TCV)公司進行運作。

ITIS 智網 http://www.itis.org.tw
經濟部產業技術司科專計畫成果，未經同意不得轉載

NRG Energy 公司位於德州 Parish 地區的燃煤發電廠是全美最大的燃煤發電廠之一，設有四座燃煤發電機組，發電量總計 2,475MW，每天煤炭用量超過 3 萬噸，由懷俄明州所供應。除燃煤之外，亦設有六座燃氣機組，發電量為 1,270MW。Petra Nova 計畫設計碳捕獲量為 140 萬噸/年(捕獲率約 90%），電廠滿載運轉時每天可捕獲 5,200 噸 CO_2，是目前世界上最大的電廠燃燒後碳捕獲設施。自 2016 年碳捕獲廠開始運轉，2017 年 1 月開始進行 EOR，至目前為止，Petra Nova 計畫已經捕獲 300 萬噸 CO_2。

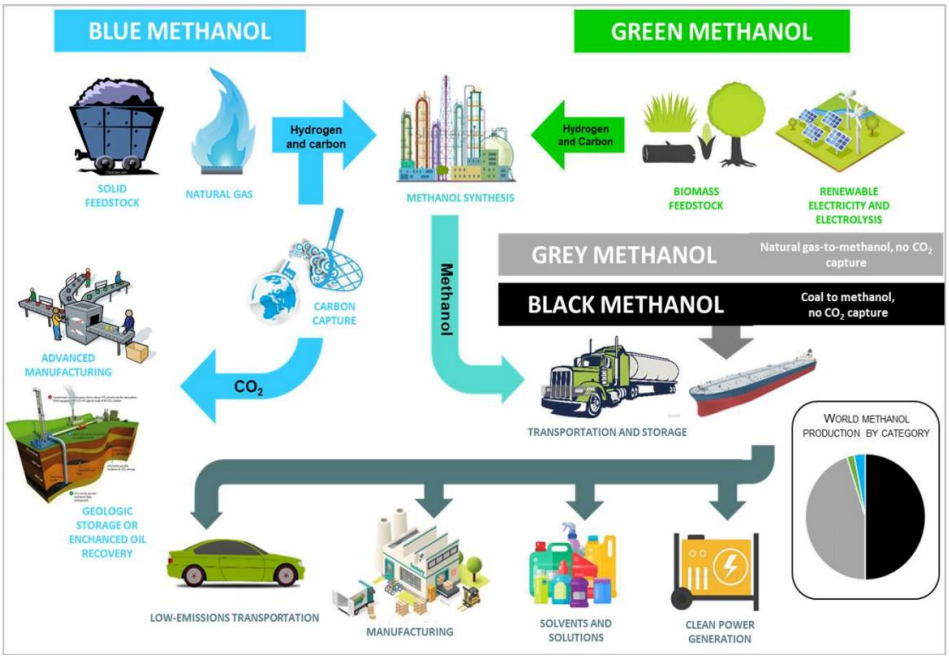
資料來源：工研院產科國際所 (2024/02)

圖一、Petra Nova 計畫建廠之鳥瞰圖

三、化學產業的 CCUS 應用

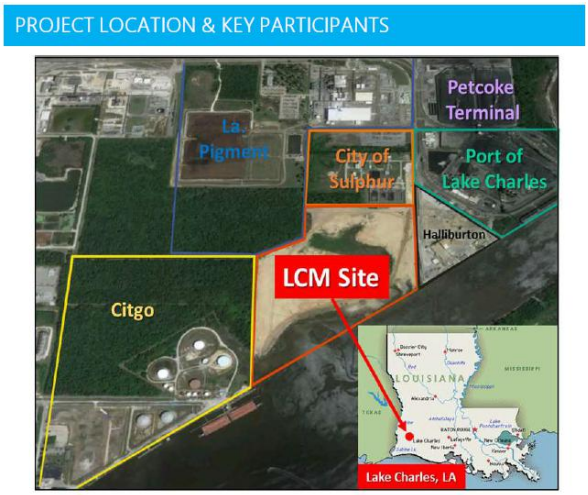
Lake Charles Methanol(LCM)公司是一間具有世界級規模的石油焦(Petcoke)回收設施和世界最大的工業 CCS 計畫項目的公司，每年可將 250 萬公噸的石油焦轉化為甲醇和其它化學產品。

ITIS 智網 http://www.itis.org.tw
經濟部產業技術司科專計畫成果，未經同意不得轉載



資料來源：Lake Charles Methanol 公司網站(2023/10)

圖二、黑、灰、藍、綠色甲醇的製程差異



Large International Chemical Company	Methanol Offtaker
Large International Chemical Company	Methanol Offtaker
Large U.S. Chemical Company	Methanol Offtaker
Denbury	Carbon Dioxide Offtaker
KOCH INDUSTRIES INC.	Sulfuric Acid Offtaker / Petcoke Supplier
CRYOIN	Rare Gases Offtaker
FLUOR	LSTK EPC Contractor
U.S. DEPARTMENT OF ENERGY	Senior Construction Loan Guarantee

資料來源：Lake Charles Methanol 公司網站(2023/10)

圖三、Blue Methanol 計畫的位置與參與廠商

經濟部產業技術司科專計畫成果，未經同意不得轉載

Lake Charles Methanol 公司的 Lake Charles Methanol II 計畫是利用天然氣重整技術(Steam Reforming)和二氧化碳捕獲和封存技術(CCS)來生產低碳氫，將 CO_2 轉化為藍色甲醇。亦為一項耗資 40 億美元的清潔氫項目，將使用包括碳捕獲和封存(CCS)在內的先進技術，將天然氣轉化為低碳氫，進而轉化為藍色甲醇，作為氫載體燃料。

本計畫將捕獲濃縮的二氧化碳壓縮，然後以管線將其輸送到封存服務提供者 Denbury 公司所營運的二氧化碳管線系統中。Denbury 公司將此二氧化碳輸送到一個或多個封存地點，並將其注入深層鹹水層中進行永久封存。

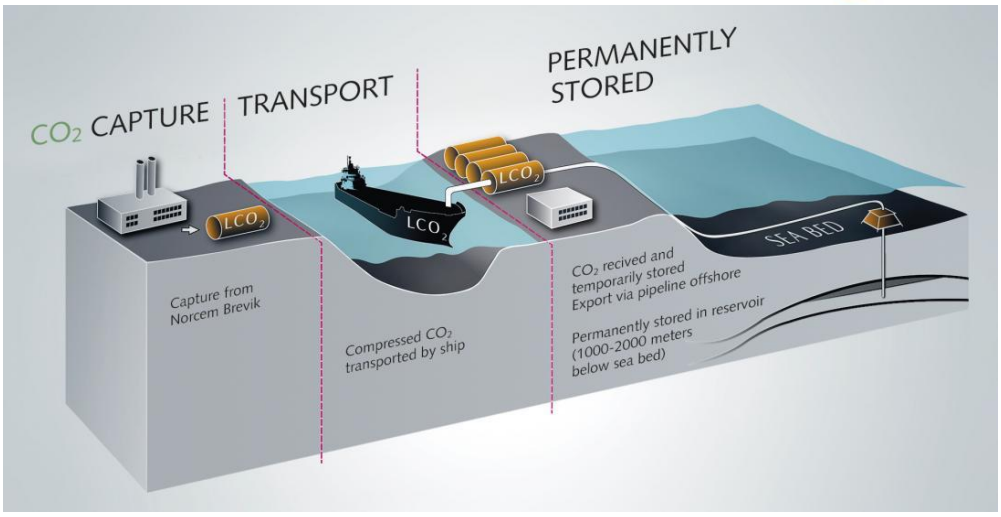
Blue Methanol 計畫預計將耗資 40 億美元，將生產超過 500 mm kg 的氫氣，可用來合成 360 萬公噸的藍色甲醇。本計畫結合了藍氫生產、CCS 技術，可以生產出多用途氫載體燃料。

四、水泥產業的 CCUS 應用

Cementa 公司(隸屬 Heidelberg Materials 集團)正在加快在瑞典 Gotland 地區建立碳捕獲和封存(CCS)設施的工作。Slite CCS 計畫是瑞典最全面的氣候變遷措施之一，目前正在規劃可行性研究。目標是到 2030 年實現瑞典水泥產業的轉型。當 CCS 設施在 2030 年完工時，它將捕獲和儲存 Slite 廠總排放量 180 萬噸/年的二氧化碳，這相當於瑞典總排放量的 3%。

Slite CCS 計畫於 2021 年春季啟動並進行了初步研究。可行性研究則於 2022 年啟動，主要研究：(1)規劃新設施的建設方式：CCS 設施將涉及現有工廠和港口的重大重建和擴建。(2)優化能量流和能量回收，並計劃分離和液化多達 180 萬噸的二氧化碳，二氧化碳必須在廠內進行後勤處理，才能夠運輸到挪威外海深 1~2 Km 海床進行最終儲存。(3)投資與營運成本深化分析，旨在於 2026-27 年做出最終投資決策。(4)申請工廠和新 CCS 設施的環境許可證。(5)確保哥特蘭島及其島上的電力供應充足。

ITIS 智網 http://www.itis.org.tw
經濟部產業技術司科專計畫成果，未經同意不得轉載



資料來源：https://industrylink.eu/tag/slite-ccs(2023/12)

圖四、Slite CCS 計畫

五、台灣的 CCUS 應用技術仍處於試驗階段

目前台灣的碳捕捉技術在四大碳排產業均有著墨，整理如下：

(一)能源產業碳捕捉技術－工研院/台電公司合作在臺中火力發電廠的減碳技術園區

2019 年底啟動，應用醇胺捕獲劑自煙道氣捕獲 CO_2，已運轉超過 9,500 小時，每年可捕獲 7 噸 CO_2；目前正規劃每年捕獲 2,000 噸 CO_2 技術與再利用驗證(110 年通過環差，預計 112 年運轉)。

(二)化學產業碳捕捉技術－工研院/台塑/成大合作於高雄仁武廠汽電共生廠

經濟部 A+企業創新研發計畫支持之「煙道氣化學固碳製程與應用技術研發計畫(108. 01 ~ 111. 06)」，應用醋酸鉀捕獲劑，CO_2 捕獲量>30 噸/年，目前正規劃於麥寮廠每日捕獲噸級 CO_2 技術與再利用驗證。

(三)鋼鐵產業碳捕捉技術－工研院/中鋼公司合作鋼化聯產

由中鋼製程中的轉爐氣捕獲二氧化碳，CO_2 捕獲量>15 噸/年，未來規劃擴建大型 CO_2/CO 捕獲廠

ITIS 智網　http://www.itis.org.tw
經濟部產業技術司科專計畫成果，未經同意不得轉載

(四)水泥產業碳捕捉技術－台泥推動鈣迴路碳捕捉技術研發與先導廠建置

台泥與工研院合作，使用氧化鈣作為捕獲劑，建立新世代捕獲先導廠，每天捕獲量約 9 噸，捕獲 CO_2 可供微藻養殖固碳，轉製高值化蝦紅素。目前台泥公司正進行放大示範規劃， 預計 2025 年可擴大至每年捕捉約 3 萬噸。

(五)CO_2 封存至枯竭油氣田技術

台灣中油公司於 2010 年進行舊氣田碳封存相關研究，完成永和山氣田增產可行性評估、環境背景監測及地面設備測試。

(六)CO_2 封存至深部鹽水層技術

1.台灣中油公司 2022 年啟動「二氧化碳封存技術研究」三年期研究計畫，評估與篩選合適之碳封存場址及發展監測技術；另正規劃利用儲油氣構造之深部鹽水層進行封存試驗。

2.台電公司在 2013 年完成彰濱 3 公里深地質探井，確認臺灣海峽內臺西盆地，具有可供二氧化碳封存之深部鹽水層；正規劃於臺中電廠內進行碳捕捉及封存試驗。

(七)CO_2 轉製化學品技術

1.長春石化 CO_2 轉製醋酸，主要將大連化工及南亞廠的製程高濃度 CO_2 尾氣轉化為 CO，再與甲醇合成醋酸，年產能 80 萬噸，每年可去化 16 萬噸 CO_2。

2.中鋼公司與中油規劃合作鋼化聯產，未來將由中鋼公司提供高純度 CO_2，供中油發展甲醇及甲烷應用產品。

3.工研院材化所實驗室級 CO_2 轉製甲醇，主要以捕獲的 CO_2 轉化甲醇，反應溫度≦220℃(較國際現行技術低) ，甲醇產量 1 噸/年。

ITIS 智網 http://www.itis.org.tw
經濟部產業技術司科專計畫成果，未經同意不得轉載

4.奇美 CO_2 轉製碳酸酯(DRC)技術，主要與工研院材化所合作開發以化學製程尾氣 CO_2 與醇類為原料合成碳酸酯(DRC)技術，未來規劃進一步合成生產聚碳酸酯(PC)，產能擴大時將建立二氧化碳的捕捉技術與系統。

(八)CO_2 轉製燃料技術

台塑 CO_2 轉製甲烷小型場域驗證，主要以鎳基觸媒轉換 CO_2 成為甲烷，產量約 10 噸/年。

全球的 CCUS 技術已經成為歐美國家能源、化學、鋼鐵、水泥等高碳排產業降低二氧化碳排放量的重要應用技術，在原油開採產業的應用由於具有提高石油採收率 10~20%的效益，也形成能源、鋼鐵、水泥等高排碳產業的廠商與原油開採廠商合作，降低 CCUS 技術商業應用的成本，在具有大量油井與氣井的國家尤為發展迅速。台灣目前在碳捕捉技術的發展處於試驗階段，也就是技術的可行性試驗與分析，下一階段才能邁入擴大量產的階段，距離商業化實用階段仍有一段長路要努力。再則台灣不像生產油氣的國家，擁有大量的空油氣井或仍在開採的油井可供灌注捕捉下來的 CO_2，以後台灣的 CO_2 捕捉下來後，以運送至西部外海深部鹽水層封存看起來是較為可行的運營方式，但此技術目前尚未成熟，也無商業化應用的實例，真的要實際應用，可能需要較長的時間完成技術可靠度的試驗後方能實踐。

(本文作者為工研院產科國際所執行產業技術基磐研究與知識服務計畫產業分析師)

原文出處：ITIS 智網 http://www.itis.org.tw/

經濟部產業技術司科專計畫成果，未經同意不得轉載