

碳捕捉處理技術專利檢索與分析

一、前言

鋼鐵產業為全球最主要的碳排放行業之一，肩負著重要的減碳責任，國際能源總署(IEA)建議鋼鐵業實踐大規模減碳需仰賴氫能煉鐵及碳捕捉、再利用與封存(CARBON CAPTURE UTILIZATION AND STORAGE, CCUS)。CCUS是國際間競相發展之淨零排放重點技術，IEA預期碳捕捉量將於2030年成長至16億噸、2050年進一步擴大至76億噸；其中95%的量作封存處置，5%的量為再利用。

一貫化作業鋼廠在冶煉過程會伴隨著副產燃氣產生，為了提高能源使用效率，這些副產燃氣目前多回收用於燃燒作為能源供應，如製程供熱或於動力工場進行氣電共生，而80%以上碳源最終是依附於副產氣中排放。因副產燃氣碳濃度高，故若能於燃燒前進行捕碳再利用，則有機會成為應用CCUS之減碳路徑 [1]。

為了瞭解捕碳技術的發展趨勢，本次報告將以專利轉化為技術功效圖的方式，找出可發展的區塊，不僅可以作為公司減碳路徑的戰略參考，亦可避免日後公司進行各項減碳措施的專利風險。

二、碳捕捉處理技術前案文獻回顧

二氧化碳捕捉處理技術於學術研究上包含了許多種分類，依捕捉路徑可分為空氣直接捕捉(DIRECT AIR CAPTURE)、燃燒後捕捉 (POST COMBUSTION)、燃燒前捕捉(PRE COMBUSTION)、高氧燃燒 (OXY COMBUSTION)以及化學迴路(CHEMICAL LOOPING)。就捕捉處理技術上可分為吸收(ABSORPTION PROCESS)、吸附(ADSORPTION)、薄膜分離(MEMBRANE SEPARATION)、電解等 [2]。以下先就針對碳捕捉處理路徑進行簡單說明。

- 1、**空氣直接捕捉**—係利用**吸附劑結構**能有效結合空氣中的二氧化碳，隨後通過製程熱量，將二氧化碳從吸附劑中分離並再生吸附劑以供重複使用。空氣直接捕捉系統可以模組化設計，使其適用於不同規模的應用場景，從工業排放到大氣直接捕集，達到不依賴特定排放源，可在任何地點部署的特點。然而，由於在於大氣中CO₂濃度極低(約400PPM)，因此能耗與成本仍然偏高。
- 2、**燃燒後捕獲 (POST-COMBUSTION CAPTURE)**—將火力發電廠燃燒煤炭、天然氣等化石燃料後所排放出的高溫煙道氣，經降溫及雜質去除後，以鹼性吸收劑與酸性氣體 (CO₂) 進行可逆之化學吸收。此技術使 CO₂ 之

回收率可達 80% 以上，且技術成熟，應用最廣泛，惟因煙道氣中 CO_2 濃度約為 10~15%，需耗費大量能量進行分離，且胺液吸收劑具腐蝕性，需定期更換。

- 3、**富氧燃燒法 (OXY COMBUSTION)** — 將氧氣從空氣中分離出來，並將高濃度的氧氣和燃料燃燒進行發電，由於是使用純氧進行燃燒，所以燃燒後所產生之排放氣僅含有 CO_2 及 H_2O ，經過冷凝後即可得到高純度之 CO_2 ，澳洲已有半商業化的示範工廠從2012年6月至2015年3月間進行運作，並準備放大到商業規模。
- 4、**燃燒前捕獲 (PRE-COMBUSTION CARBON CAPTURE)** — 火力發電廠在燃燒煤炭或天然氣前，先將燃料轉化成 SYNGAS (CO 、 CO_2 、 H_2) 之混合氣體。將此 SYNGAS 進一步進行脫碳程序，分離出 CO_2 。此技術可回收高濃度之 CO_2 ，並利用分離出之氫氣 H_2 ，於燃氣輪機中燃燒發電。
- 5、**化學迴路法 (CHEMICAL LOOPING)** — 因其低能耗而被公認為最具創新性的二氧化碳捕獲技術之一。清華大學團隊開發出一種經濟實惠的固體金屬氧化物—鈣鈦礦氧載體材料的新型工業化生產方法，這項技術可應用於發電系統，進而顯著減少二氧化碳排放量。化學迴路法 (CHEMICAL LOOPING) 產生的二氧化碳純度足夠高，可以立即封存，無需進一步進行昂貴且耗能的加工，比現有的碳捕集技術更有效率。

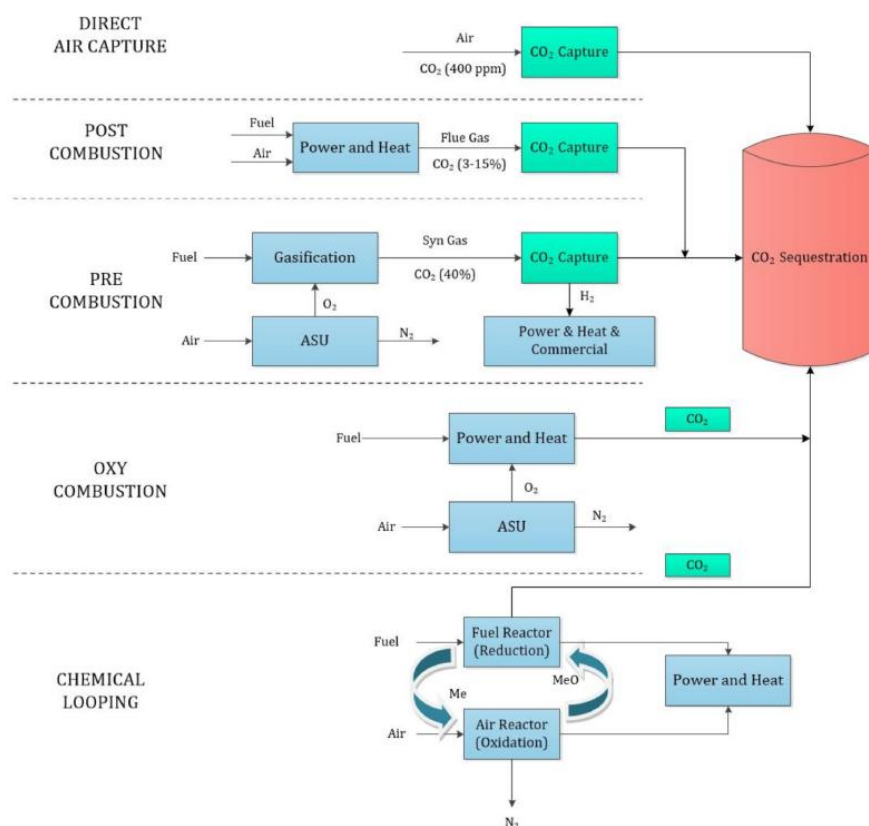


圖 1 二氧化碳捕捉處理路徑圖

表1 捕捉路徑主要使用的碳捕捉處理技術 [3][4][5]

路徑	空氣直接捕捉(DIRECT AIR CAPTURE)	燃燒後捕捉(POST COMBUSTION)	燃燒前捕捉(PRE COMBUSTION)	高氧燃燒(OXY COMBUSTION)	化學迴路(CHEMICAL LOOPING)
前處理	N/A	N/A	膜/電解	膜/空氣分離	使用鈣鈦礦或其他載氧體
主要碳捕捉處理技術	吸附	吸收	膜	冷凝/膜/直接封存	冷凝/膜/直接封存
核心原理	利用吸附劑有效結合含二氧化碳空氣流中的二氧化碳	在廢氣排放前，用化學溶劑吸收CO ₂ 。	燃料燃燒前，先氣化產生合成氣，再分離高濃度CO ₂ (40%)	使用純氧代替空氣燃燒，直接產生高純度CO ₂ 廢氣	利用載氧體間接燃燒，內生性地分離出純CO ₂ 流
主要優勢	唯一能處理歷史遺留與分散式排放的負碳技術	技術成熟度高，不改變核心燃燒製程	CO ₂ 在高壓高濃度下分離，效率高。可產出潔淨的氫能	CO ₂ 分離簡單，無需複雜的化學吸收單元	理論上能耗最低，無須額外分離單元，效率潛力最高
主要挑戰/劣勢	在於大氣中CO ₂ 濃度極低(約400 ppm)	CO ₂ 濃度低(3-15%)，溶劑再生能耗高	需建構全新的整合氣化聯合循環(IGCC)系統	空氣分離單元(ASU)的巨大能耗是其主要成本與能耗來源	技術尚在發展與放大階段，載氧體的長期穩定性與成本是關鍵
適用情境	不依賴特定排放源，可在任何地點部署	現有火力發電廠、工廠進行減碳改造	新建的煤化工或天然氣發電廠，目標為電力與氫能聯產	新建發電廠，特別是靠近需要高純度O ₂ 的工業區	下一代的先進潔淨燃燒發電系統

接下來再針對捕碳處理技術進行說明。

1、吸收

CO₂化學吸收法源於1930年，此法使用固定床來吸收CO₂及再生吸收劑，已有非常多的文獻(實驗室、示範工廠、商業化工廠規模)。化學吸收法式亦是目前較廣泛的研究方法，可將工廠內含有H₂S、NO_x及CO₂氣體的廢氣，透過化學吸收劑在低反應壓力之下，來對二氧化碳(CO₂)產生高選擇率吸收，著名的吸收法包含了運用胺類(AMINES)、胺基酸(AMINO ACIDS)、冷氨製程(CHILLED AMMONIA PROCESS)、碳酸化(CARBONATION)等。

物理吸收法是利用 CO_2 在某些溶劑中的物理溶解性，將 CO_2 從混合氣體中分離出來。這些溶劑對 CO_2 有較強的親和力，在一定的溫度和壓力下， CO_2 會溶解在溶劑裡，當條件改變，例如壓力降低或溫度升高時， CO_2 又能從溶劑中釋放，溶劑即可循環使用。物理吸收法的優點有製程簡單、投資及運作成本較低、選擇性吸收能力強、吸收劑可循環使用、能耗低且對設備無腐蝕等，其缺點有對吸附劑要求高、吸收效果有限等 [6]。

而傳統化學吸收法為燃燒後捕捉技術，捕碳之再生能耗過高為相當大的挑戰，且另一大挑戰為設備體積龐大，因需要處理的氣體量龐大、 CO_2 進氣分壓低氣液間存在明顯的質傳阻力。化學吸收法主要分為有機胺法、混合胺法、氨水法、熱鉀堿法這四種方法。

有機胺法經過長時間的研究，已經形成了單一胺、混合胺、兩相吸收劑、離子液體等多種體系。早期單一胺溶液典型的溶劑有一乙醇胺(MEA)、二乙醇胺(DEA)、N-甲基二乙醇胺(MDEA)等。其中，伯胺、仲胺的反應速率快，吸收容量約 $0.5 \text{ MOL CO}_2/\text{MOL}$ 胺，其反應原理為伯胺、仲胺先與 CO_2 反應生成兩性離子，後繼續反應為氨基甲酸鹽與質子化堿；叔胺由於氨基上沒有氫，與 CO_2 反應生成碳酸氫鹽，反應速率慢但吸收容量大，約 $1 \text{ MOL CO}_2/\text{MOL}$ 胺。

混合胺的概念於1985年提出，旨在將單一胺的優勢結合起來，達到更好的綜合吸收性能。此後，將伯胺、仲胺和叔胺混合，在開發更有效的胺吸收劑方面引起了廣泛的關注，MEA/MDEA，DEA/MDEA等混合吸收劑相繼提出。之後環胺哌嗪(PZ)、多元胺(AEEA，BDA，MAPA)、空間位阻胺(AMP)、烯胺(ETA,TETA)、HMPD等新型有機胺被發現，複合胺溶液得到充分的研究與廣泛應用。混合胺吸收劑是目前有機胺法吸收 CO_2 的主要吸收劑，它具有煙氣適應性好、捕集效率高、工藝成熟的優點，但存在氨逃逸問題。

氨水法是指在 $\text{NH}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系統中，氨水與 CO_2 發生反應生成碳酸銨和碳酸氫銨。氨水法吸收 CO_2 的吸收容量較大且再生能耗低，但氨逃逸問題依然限制該方法的發展。後續提出了冷氨法，即在 $0\sim 20^\circ\text{C}$ 的環境下對 CO_2 進行分離以限制氨逃逸，但反應生成的碳酸氫銨與碳酸銨易變為沉漿，從而對設備造成腐蝕堵塞。

碳酸鉀在低溫下溶解度較低，作為吸收劑與 CO_2 反應時需要在 $50\sim 80^\circ\text{C}$ 的環境下進行，因此又被稱為熱鉀堿法。解吸時高溫加熱富液，使碳酸氫鉀釋放 CO_2 ，從而變為碳酸鉀迴圈使用。熱鉀堿法的優勢在於其成本較低、耐降解、再生能耗低，但其吸收容量不理想且吸收速率慢。

總體來說，化學吸收法的能耗較高，腐蝕降解問題較嚴重，但其 CO_2 捕集

效率高，分離出的CO₂純度高，適合應用於大規模的CCUS專案中，是現階段佈置CCUS專案中最具潛力的方法。

2、吸附

吸附法利用多孔固體材料在其表面選擇性捕獲CO₂，隨後通過溫度、壓力的變化釋放CO₂，吸附法包括物理吸附和化學吸附。物理吸附通過固體吸附劑與氣體的分子間弱作用力以及范德華力表現出對CO₂的優先吸附，在低溫或者高壓的環境下進行吸附，在高溫或者減壓的環境下解吸。化學吸附中CO₂與吸附劑之間發生化學反應，如在固體吸附劑的表面負載能與CO₂發生化學反應的化學劑，如胺基負載吸附劑、PEI等物質，或者直接使用金屬氧化物進行吸附。

根據不同的解吸機理，吸附法工藝包括變壓吸附(PRESSURE SWING ADSORPTION, PSA)、真空變壓吸附(VACUUM PRESSURE SWING ADSORPTION, VPSA)、變溫吸附(TEMPERATURE SWING ADSORPTION, TSA)、變溫變壓耦合吸附(PRESSURE TEMPERATURE SWING ADSORPTION, PTSA)以及變電吸附(ELECTRIC SWING ADSORPTION, ESA)等。常用的吸附劑包括沸石、炭基材料、金屬有機骨架(METAL ORGANIC FRAMEWORK, MOFS)、活性氧化鋁等材料，其中沸石是目前應用最廣泛的固體吸附劑，常用的沸石吸附劑有5A沸石與13X沸石等。

物理吸附法的優勢在於解吸能耗較小，流程較簡單，無腐蝕揮發等方面的顧慮，對環境友好，但限制吸附法發展的主要原因有：1) 目前常用吸附劑的吸附容量較小，在對氣源中的CO₂進行分離時吸附解吸頻繁，對吸附裝置和解吸設備如真空泵的要求高，應用於規模較大的碳捕集項目的難度較高。2) 吸附容量高，功能調控方便的新型吸附劑造價成本高，尚不能量產。3) 當氣源中的水含量較多時，會嚴重影響常規吸附劑(沸石、MOFS等)的吸附效果。水是強吸附組分，吸附劑會優先吸附水分子，從而導致吸附CO₂的能力下降，部分吸附劑在吸附水分子後自身結構會被破壞。

未來，吸附法分離CO₂的研究方向應著眼於開發吸附容量高、吸附動力學快、再生穩定性好並且能夠量產的吸附劑，以及研究在高濕煙氣中吸附能力不受影響的吸附劑，或開發能夠將進入吸附床的氣源中的水分充分乾燥的工藝。

3、膜分離法

膜分離法適用於氣源中CO₂的分壓高、雜質少且與CO₂的滲透速率差異較大的情況，由此可見，膜分離法不適合應用於燃燒後煙氣的CO₂分離。根據膜法的原理與特性，膜分離法適用於低溫、高壓的操作環境。

對於燃燒前碳捕集，在整體煤氣化聯合循環 (INTEGRATED

GASIFICATION COMBINED CYCLE, IGCC) 工藝中，水煤氣變換單元後合成氣主要為 H_2 與 CO_2 的混合氣，兩者的分子動力學直徑相差小，致使分離選擇性較低，加之變換反應是在高溫下進行的，現今的膜材料在高溫的環境下穩定性差，不能做到長時間連續工作。另一種情況為天然氣以及油田伴生氣的脫碳，目前報導的有機膜材料(如聚醯亞胺)能夠達到42.8的 CO_2/CH_4 分離係數。而一些沸石膜，如SAPO-34沸石膜、疏水性DDR型沸石膜的選擇性也很可觀。目前商業化的膜法脫碳材料仍以有機膜為主，包括W. R. GRACE公司、CYNARA公司生產的各向異性膜，SEPAREX公司生產的膜材料應用於年 CO_2 捕集量為460萬T的巴西PETROBRAS SANTOS BASIN PRE-SALT油田CCS專案中，對於高 CO_2 濃度和中低氣量的天然氣脫碳過程，與有機化學吸收法相比，氣體分離膜技術具有更明顯的優勢。因此，膜分離法適用於中高 CO_2 濃度的中低氣體總量的天然氣脫碳以及油田伴生氣的脫碳過程中。

目前在燃燒後煙氣碳捕集領域，膜法尚處於起步階段，進行過相關研究的包括美國MTR公司的POLARIS膜、挪威NUST的PVAM膜、德國HZG的POLYACTIVE膜、俄亥俄州立大學的含胺徐進傳質膜，它們的 CO_2 處理量小，膜面積小($<10\text{ M}^2$)，煙氣進入膜組件之前需經過脫硝、脫硫以及煙氣乾燥的過程，保證最後進入膜元件的氣體為 CO_2 與 N_2 的混合氣。膜法應用於燃燒後碳捕集技術成熟度低，還需要進行進一步的實驗研究 [7]。

4、電解

固體電解質是一種固體材料，當施加外部電場時，離子會在其中移動。在鹼性水電解池中，水和電解質負責離子傳輸，但在固體氧化物電解池中，陶瓷承擔了這個角色。固態電解質也用於固態電池，由於其在該領域的應用，近年來固態電池的技術取得了顯著進步 [8]。

SOEC電解池堆的高溫二氧化碳電還原具有對產物CO選擇性近乎100%、能量效率高且產率可達到工業標準等特點。該技術能夠將可再生能源、二氧化碳和水轉化成高能量化合物，是實現碳中和的有效途徑，具有較強的應用前景。尤其SOEC產出的CO及氫氣，可藉由費托合成產生液態的烴或碳氫化合物（HYDROCARBON），對於碳的去化具有相當助益。但這種二氧化碳利用方法容易受電解過程中的積碳影響，嚴重損害電解池的能量效率和運行壽命，近年來，研究者們努力分析積碳問題，並通過改變反應條件來抑制積碳生成，或嘗試設計無積碳產生的電極材料。然而，這些抑制積碳的策略同時犧牲了催化活性和能量效率。因此，未來研究需要兼顧催化電極的性能、電解池的能量效率和穩定性 [9]。

三、專利檢索背景設定

基於前述的文獻回顧，可以發現碳捕捉處理技術主要是以吸收 (ABSORPTION PROCESS)、吸附 (ADSORPTION)、薄膜分離 (MEMBRANE SEPARATION)、電解為主。另外，捕碳處理技術的專利申請人雖在中國、日本、歐洲及美國均有布局，然而中國的專利數量過於龐大且沒有明顯的主要參與廠商，日本國內市場也比中國及美國市場的規模小，故本次不納入考量。美國由於市場較具規模，亦有主要的參與廠商，並且該區域的專利申請人數量大適中，適合作為此次專利檢索及分析之範圍。

因此，為了瞭解碳捕捉處理技術的發展趨勢以及美國布局的情形，利用以下關鍵字及檢索條件，並且排除大專院校研究所的專利申請人，於美國區域進行專利檢索及分析。

表1 碳捕捉處理技術專利檢索背景設定

關鍵字	DIOXIDE、CARBON、MONOXIDE、分類號B01D53、UNIVERSITY
搜尋欄位	專利名稱、專利全文、IPC國際分類號
布林檢索碼	((MONOXIDE<IN>TTL) OR (DIOXIDE<IN>TTL) AND (CARBON<IN>TTL)) AND (B01D53<IN>IPC) ANDNOT (UNIVERSITY<IN>ANY) AND ISD >= 2014/01/01 AND ISD <= 2025/01/01
搜尋地區	美國
搜尋年份	~ 2025/01
搜尋語言	英文為主
資料庫名稱	USPTO

四、專利管理分析

篩選後的專利有 808 件，將針對碳捕捉處理技術專利申請人總件數、專利布局類別、專利申請人前五年及後五年件數等資訊進行統計上的分析，再輔以生命週期圖以及技術功效圖，了解碳捕捉處理技術在美國的布局情形，以作為日後進行專利迴避，或是研發人員在研究開發時的參考。

1、專利申請人分析

在專利申請人分析中，藉由專利申請人在專利活動期間申請的數量，以判斷在這個技術領域的主要申請人，作為研發人員的參考。在專利申請的數量上，以東芝(TOSHIBA)的 37 件為最多，法商液態空氣(L'AIR LIQUIDE)的 28 件次之，奇異(GE)及三菱重工(MHI)的申請數量分別為 22 件及 21 件(如圖 2 所示)，故研發人員日後可關注前述專利申請人，以了解碳捕捉處理技術的發展狀況。

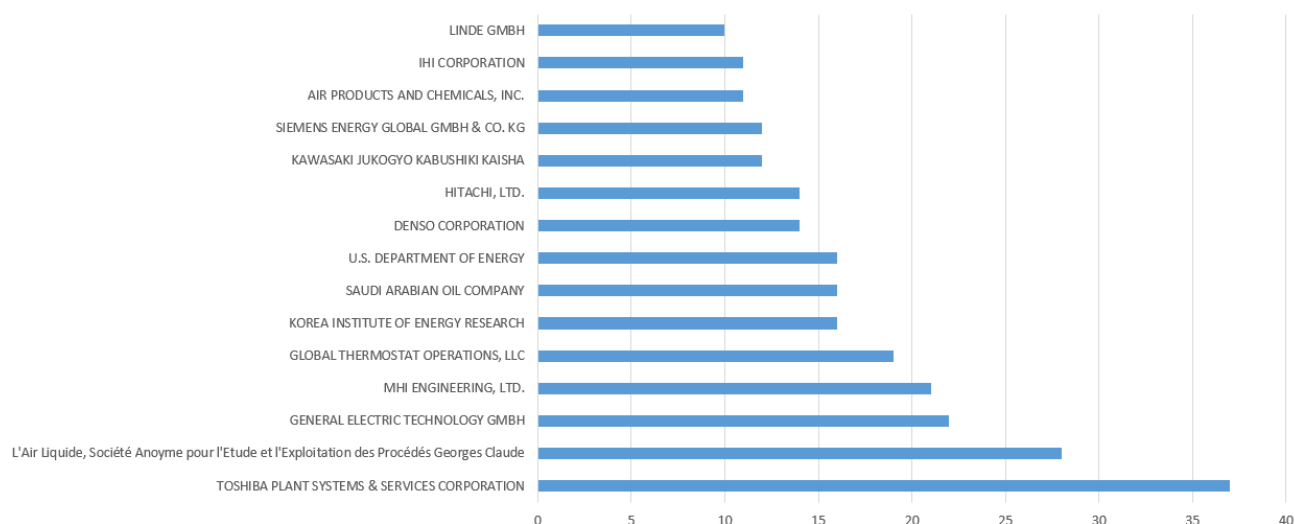


圖 2 碳捕捉處理技術申請人申請件數圖

以專利活動期間來看，在 2014 至 2018 年間(如圖 3)，主要前五大發明人為東芝(TOSHIBA)、奇異(GE)、全球溫控營運有限責任公司(GLOBAL THERMOSTAT)、西門子(SIEMENS)、三菱重工(MHI)與韓國能源研究所(KIER) (兩者並列第五)。而在 2019 至 2024 年間(如圖 4)，主要前五大發明人為法商液態空氣(L'AIR LIQUIDE)、東芝(TOSHIBA)、沙烏地阿拉伯石油公司(SAUDI ARABIAN OIL COMPANY)、日本電裝(DENSO)、三菱重工(MHI)。

從前述申請情形來看，2014 年至 2024 年仍持續投入大量研發及專利申請資源的專利申請人僅有東芝(TOSHIBA)、三菱重工(MHI)，而法商液態空氣(L'AIR LIQUIDE)、沙烏地阿拉伯石油公司(SAUDI ARABIAN OIL COMPANY)、日本電裝(DENSO)則是近幾年突然大量提出專利申請，因此後續

須關注這幾名申請人專利活動狀態。

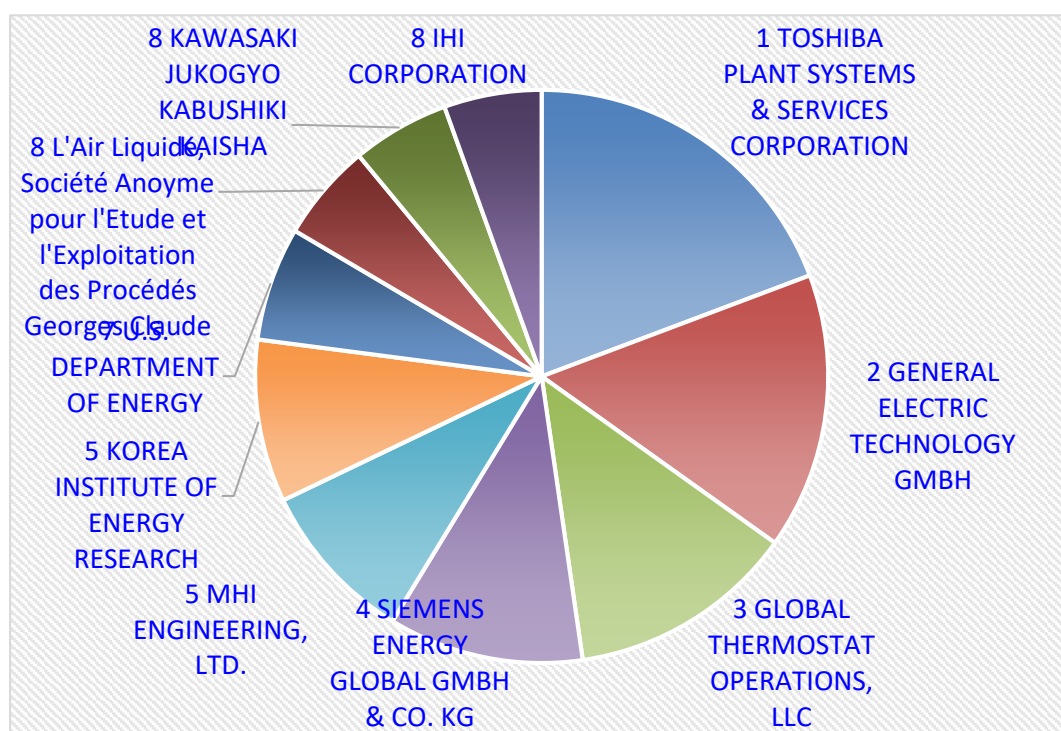


圖 3 2014 年~2018 年碳捕捉處理技術主要申請人分布圖

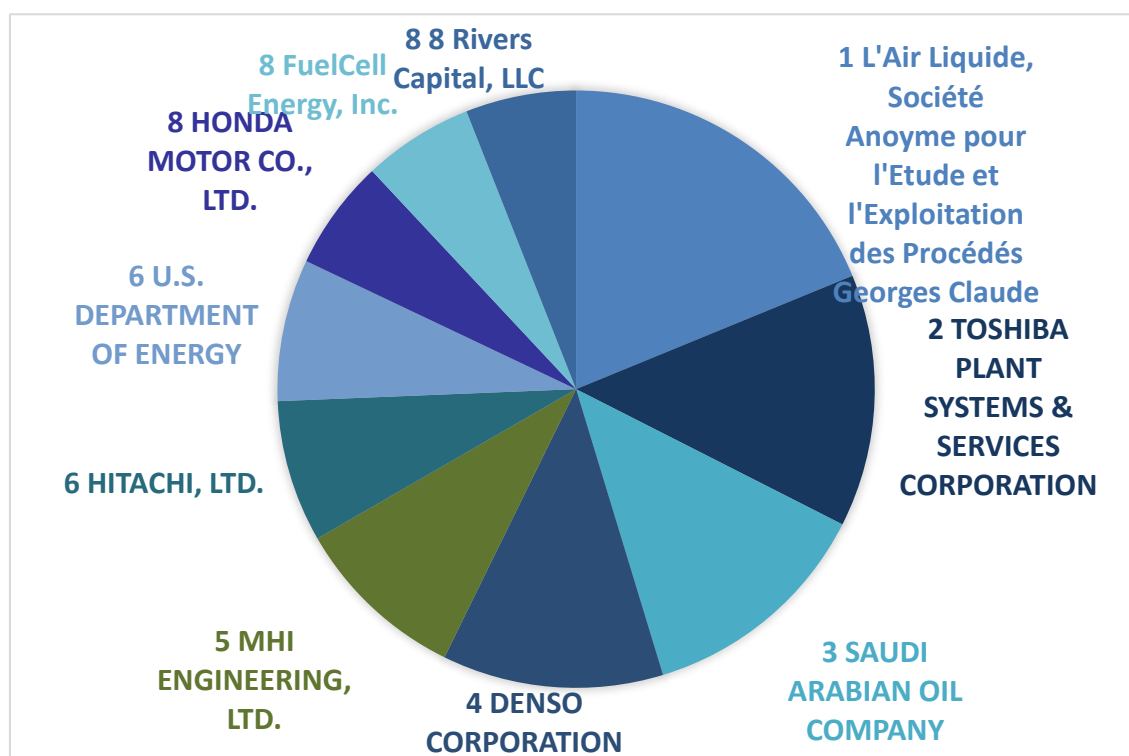


圖 4 2019 年~2024 年碳捕捉處理技術主要申請人分布圖

2、專利生命週期分析

透過專利件數與申請人數隨時間的消長，可觀察出目前產業所處的技术生命週期狀況。圖 5 說明專利技術生命週期圖之意義，比對專利件數與申請人數，

可以推論此專利技術是處於萌芽期、成長期、成熟期或技術瓶頸期。透過生命週期分析，可以推測未來技術的發展方向及可發展性。

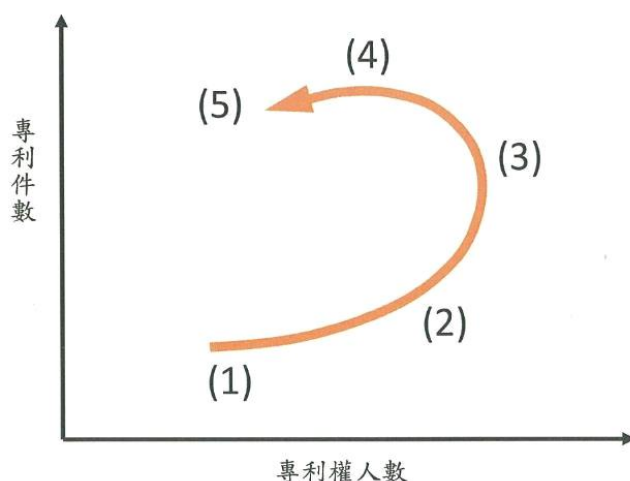


圖 5 專利生命週期圖

- (1)技術萌芽期:廠商投入意願低，專利申請件數與人數較少，多屬專利共有或委託研究。
- (2)技術成長期:技術有突破/價值被市場認同，申請量與人數上升。
- (3)技術成熟期:少數廠商大肆申請專利，建構圍牆，以嚇阻其他廠商進入，此時申請量激增，但申請人成長趨緩。
- (4)、(5)技術瓶頸:產業技術研發遇到瓶頸難以突破或此類產業已過於成熟，專利申請量與專利權人數呈現負成長。

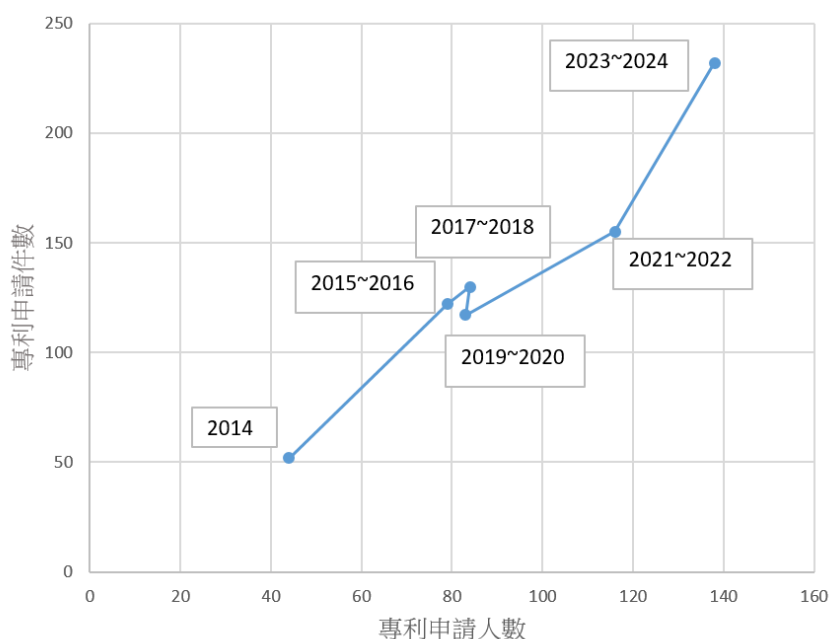


圖 6 碳捕捉處理技術專利生命週期圖

由圖 6 中得知，從 2014 年開始專利權人數及專利件數都一直不斷的成長，即便到了 2023~2024 年的時間點，依舊可以看出專利權人數及專利件數仍是處於成長的階段，因此可以看出碳捕捉處理技術目前仍處於百家爭鳴狀態，尚未有明顯的幾家主要申請人大量申請專利的現象，整體來說該項技術處於技術成長期或技術成熟期的區間，故公司除了引進碳捕捉處理技術之外，亦可投入碳捕捉處理技術的研究及開發。

3、碳捕捉處理技術專利類別分布

本次檢索發現，碳捕捉處理技術主要集中在吸收、吸附、電解以及膜分離這四個類別(如圖 7)。

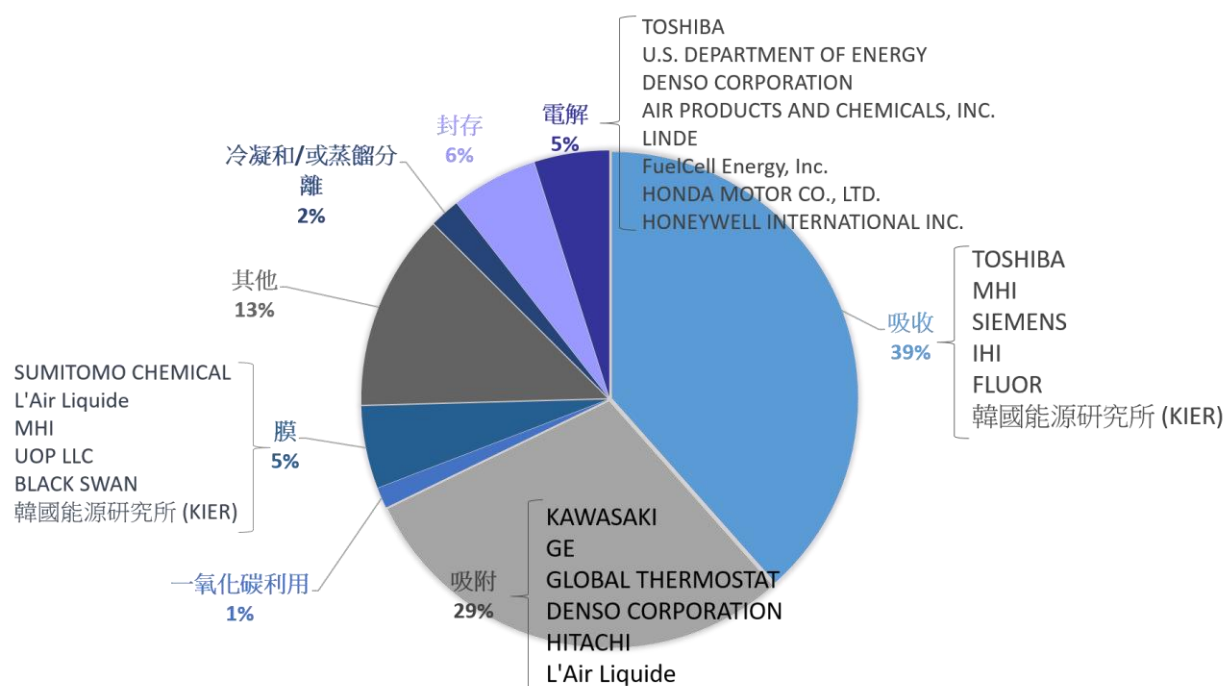


圖 7 碳捕捉處理專利技術類別分布圖

吸收類別方面主要的申請人有東芝(TOSHIBA)、三菱重工(MHI)、西門子(SIEMENS)、石川島播磨重工業(IHI)、氟石科技公司(FLUOR)、韓國能源研究所(KIER)。

吸附類別方面主要申請人有川崎重工(KAWASAKI)、奇異(GE)、全球溫控營運有限責任公司(GLOBAL THERMOSTAT)、日本電裝(DENSO)、日立(HITACHI)、法商液態空氣(L'AIR LIQUIDE)。

膜分離類別方面主要申請人為住友化學(SUMITOMO CHEMICAL)、法商液態空氣(L'AIR LIQUIDE)、三菱重工(MHI)、萬國油品(UOP LLC)、BLACK SWAN、韓國能源研究所(KIER)。

電解類別方面主要申請人為東芝(TOSHIBA)、美國能源部(U.S. DEPARTMENT OF ENERGY)、日本電裝(DENSO)、空氣產品公司(AIR

PRODUCTS AND CHEMICALS, INC.)、林德集團(LINDE)、燃料電池能有限公司(FUELCELL ENERGY, INC.)、本田汽車(HONDA MOTOR CO., LTD.)、漢威聯合(HONEYWELL INTERNATIONAL INC.)。

另外，藉由觀察申請人歷年在各項(類別)捕碳技術申請的專利數量(如圖 8)，可以得知各項(類別)捕碳技術在這段時間區間內的發展變化。由圖中可以得知，從 2015 年開始，大多數的申請人都以吸收類別作為專利申請的標的。但是從 2023 年開始，每一年的吸附專利的申請數量均高於吸收專利的申請數量。故由此可知捕碳技術的發展重心，已經從吸收轉變為吸附為主。

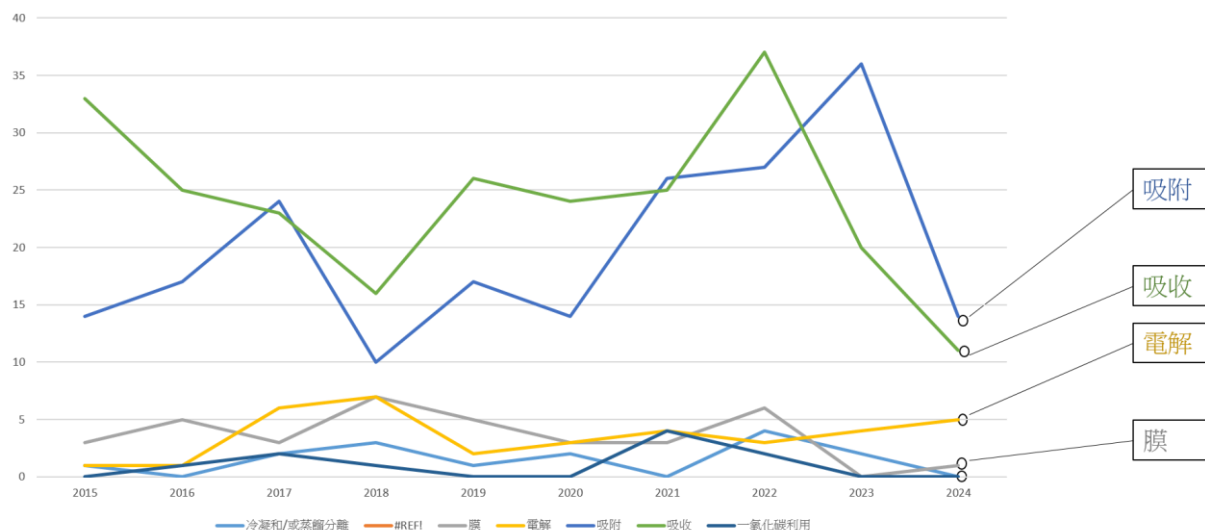


圖 8 碳捕捉處理專利技術歷年申請件數圖

4、碳捕捉處理技術專利布局態樣分析

碳捕捉處理技術專利布局態樣分析主要是以吸收、吸附、電解以及膜分離這四個類別進行討論。

申請吸收技術的專利，其布局態樣主要為製程與設備最多，其次是單獨主張製程或是設備，亦有以吸收劑原料為主軸，再搭配製程與/或設備的方式，主張權利範圍。

申請吸附技術的專利，其布局態樣主要為設備最多，其次是主張製程與設備或是吸附劑原料，亦有以製程為主軸，再搭配吸收劑原料的方式，主張權利範圍，有少數專利則是主張結構(吸附劑結構)或是製程/設備/吸附劑原料。

申請膜分離技術的專利，其布局態樣為製程與設備最多，其次是單獨主張製程或是設備，亦有以膜原料為主軸，在搭配製程與/或設備的方式，主張權利範圍。

申請電解技術的專利，其布局態樣主要為設備最多，其次是單獨主張製程或是設備與製程一併主張。

因此，由上述布局態樣可以看出，吸收、吸附、電解以及膜分離這四項類別主要都以製程與設備為主要布局標的。另外，除電解技術未牽涉到原料部分外，吸收、吸附以及膜分離亦有以原料為主要標的的專利。

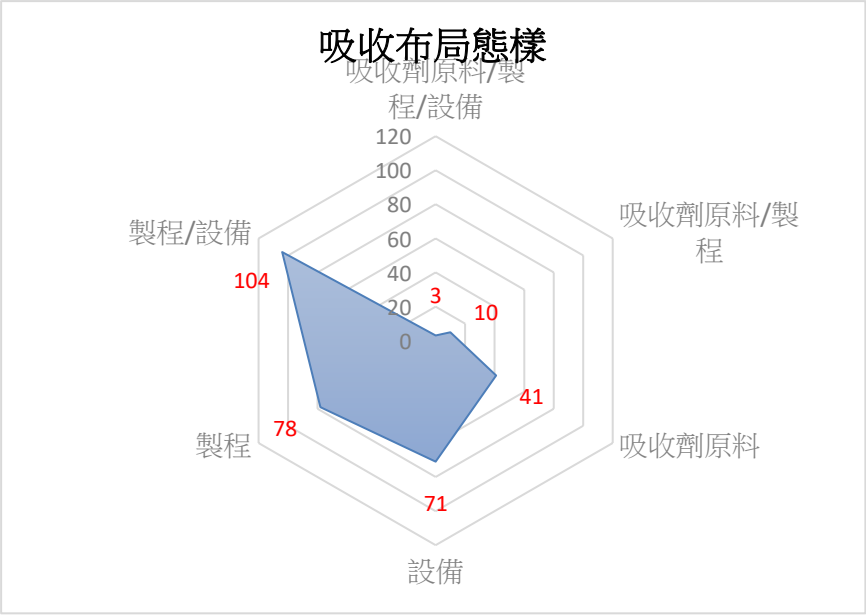


圖 9 吸收技術布局態樣圖

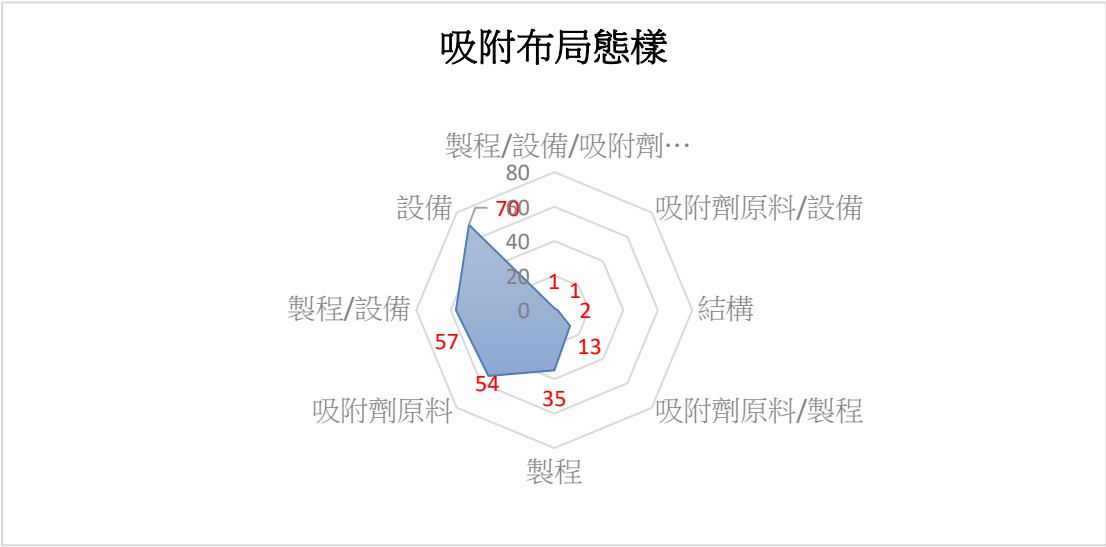


圖 10 吸附技術布局態樣圖



圖 11 膜分離及電解技術布局態樣圖

5、主要申請人技術特點

為了瞭解主要申請人的主要發展方向，故先找出 2014 至 2024 年間申請專利最多的前五大主要申請人，這五大申請人分別為法商液態空氣(L'AIR LIQUIDE)、東芝(TOSHIBA)、奇異(GE)、三菱重工(MHI)、全球溫控營運有限責任公司(GLOBAL THERMOSTAT)。藉由分析主要申請人的專利，以便更清楚的知道主要申請人，在捕碳領域的發展重心。

(1) 法商液態空氣(L'AIR LIQUIDE)

本次檢索發現法商液態空氣(L'AIR LIQUIDE)美國專利有 28 件，其他各國專利共 204 件。法商液態空氣的技術主要聚焦於從含二氧化碳的氣體混合物中分離與純化二氧化碳、甲烷、氫氣及一氧化碳等目標成分，涉及多種製程方法與設備。首先，流體催化裂解廢氣的處理涉及將一氧化碳轉化為二氧化碳，生成富含二氧化碳的氣流，隨後通過低於 0°C 的低溫分離技術，分離出富含二氧化碳的流體與貧二氧化碳流體，並將含氧量至少 90%的氣體送至燃燒。

其次，蒸汽重整製程利用烴類（如甲烷或石腦油）生成粗合成氣，通過多階段純化與分餾，生產純一氧化碳與氫氣，並配備具備多個獨立運作壓縮階段的循環壓縮機，以有效回收副產物流。此外，設施採用油潤滑或水潤滑的葉片式壓縮機壓縮含甲烷與二氧化碳的進料氣流，隨後透過膜分離單元分離甲烷與二氧化碳。吸附單元則用於移除揮發性有機化合物（VOCS），採用至少三個吸附器，遵循壓力循環與相位差操作，並根據膜分離單元入口的壓力或甲烷濃度調節進料氣流。這些技術結合膜分離與低溫技術，提升分離效率。

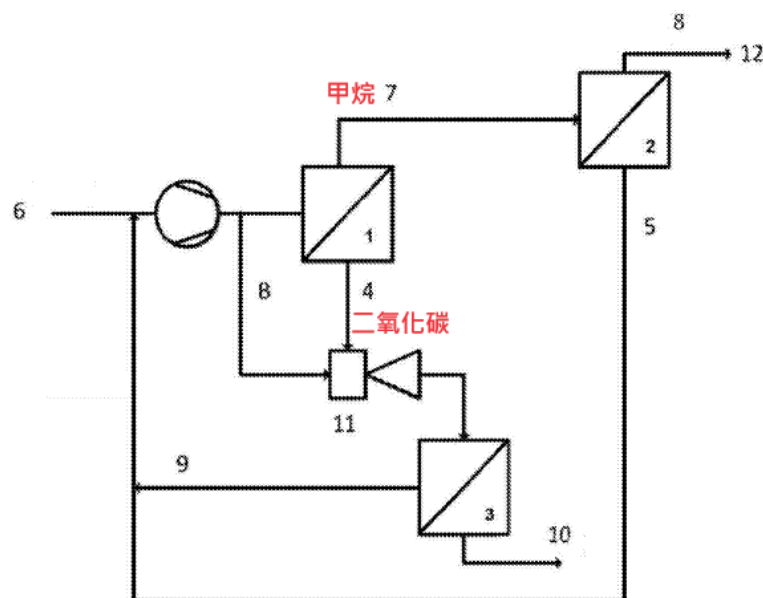


圖 12 氣體分離流程示意圖

前述技術在氣體分離與純化領域展現顯著的功效與效益。首先，通過將一

氧化碳轉化為二氧化碳並進行低溫分離，可有效提升二氧化碳的濃度，生成高純度二氧化碳流體，同時減少氮氣含量，適用於工業應用或碳封存，降低環境影響。其次，蒸汽重整製程結合多階段純化與副產物回收，不僅提高一氧化碳與氫氣的產出純度，還通過循環壓縮機優化副產物流的再利用，顯著提升資源利用率與能源效率。

此外，採用葉片式壓縮機與膜分離技術的設施，能高效分離甲烷與二氧化碳，降低能耗並提高目標氣體的回收率。吸附單元移除 VOCS 後，結合膜分離生成富含二氧化碳的滲透物與富含甲烷的滯留物，進一步提升氣體純度。通過壓力與濃度調控，系統能動態適應進料氣流變化，確保穩定運作與高分離效率。這些技術的綜合應用不僅降低能耗與運營成本，還提升產品純度與環境效益，為工業氣體處理提供高效、永續的解決方案。

(2) 東芝(TOSHIBA)

本次檢索發現東芝(TOSHIBA)美國專利有 37 件，其他各國專利共 198 件。東芝(TOSHIBA)涉足多種二氧化碳捕集與回收技術，涵蓋吸收、再生與熱能回收等製程及設備。首先，系統採用吸收塔將含二氧化碳的氣體與吸收液接觸，生成富含二氧化碳的富液，隨後通過再生塔加熱富液釋放二氧化碳，生成貧液並回流至吸收塔。而部分系統配備有清洗器，利用噴霧的清洗液（由再生塔的貧液提供）捕集燃燒廢氣中的胺類，清洗液隨後作為吸收液回用。值得注意的是，東芝(TOSHIBA)另有技術使用熱交換器加熱富液，並通過分流器將其富液分流，再由釋放裝置加熱，生成半貧液，再由再生塔進一步加熱生成貧液。其中一部分的釋放裝置利用貧液加熱富液，其他的釋放裝置則利用再生塔排出的含二氧化碳蒸汽加熱富液，熱交換器則利用通過釋放裝置的貧液進行熱能回收。此外，系統包含處理氣體管線，分別導入高濃度與低濃度二氧化碳氣體，以優化吸收塔的進料氣體濃度。

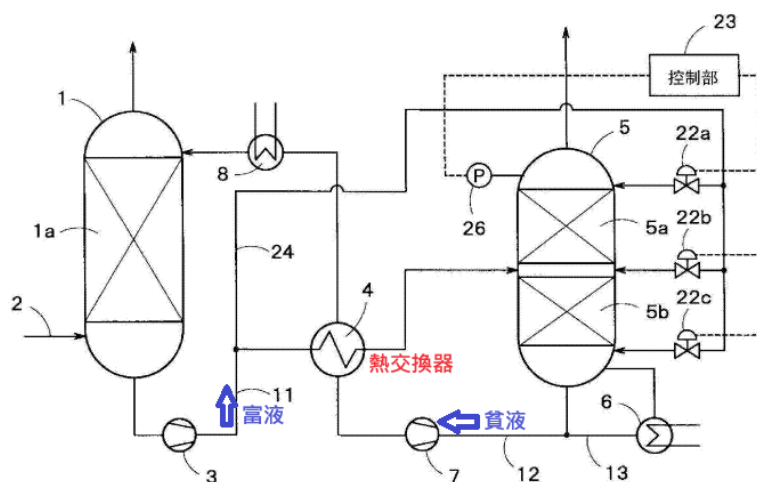


圖 13 利用熱交換器優化熱能利用示意圖

上述技術在二氧化碳捕集與回收方面展現顯著功效與效益。首先，通過吸收塔與再生塔的協同操作，系統高效捕集並釋放二氧化碳，提升二氧化碳濃度與回收純度，適用於工業排放控制與碳封存。清洗器設計有效捕集胺類，防止吸收液損失並確保系統環境友善，同時將清洗液回用為吸收液，降低吸收液補充成本。熱交換器與分流設計優化熱能利用，利用貧液與含二氧化碳蒸汽加熱富液，顯著降低能耗。特別是利用不同的釋放裝置分階段加熱，結合再生塔的熱能回收，進一步提升能量效率，減少外部熱源需求。此外，導入高濃度與低濃度二氧化碳氣體的模組設計，靈活調節進料氣體濃度，增強系統對不同氣源的適應性，提升捕集效率。這些技術的整合不僅降低運營成本與能耗，還提高二氧化碳回收率與系統穩定性，為工業碳減排提供高效、永續的解決方案，具備顯著的环境與經濟效益。

(3) 奇異(GE)

本次檢索發現奇異(GE)美國專利有 22 件，其他各國專利共 101 件。奇異(GE)聚焦於二氧化碳捕集與煙氣處理技術，涉及多種製程方法與設備。核心技術包括二氧化碳捕集系統，該系統設有第一流體入口（供含二氧化碳的進料氣體）與第二流體入口（供蒸汽等第二流體），並配備第一與第二接觸器。每個接觸器內含兩個流體隔離區域：一為含吸附劑的第一流體區域，用於進料氣體的二氧化碳吸附；另一為第二流體區域，供蒸汽協助二氧化碳解吸。另外，此系統還包括濃縮器與第一流體連通，生成二氧化碳貧化氣流與二氧化碳富集氣流。而鍋爐系統與煙氣處理系統相結合，包含壓縮裝置與二氧化碳供應管道，將加壓的二氧化碳富集煙氣送至氣體清洗裝置。煙氣處理系統包括氣體清洗系統、氮氧化物還原單元（降低煙氣中的氮氧化物含量）以及壓縮與冷卻裝置，用於對經清洗與還原的煙氣進行加壓與冷卻處理，實現高效二氧化碳分離與煙氣淨化。

上述技術在二氧化碳捕集與煙氣處理方面展現顯著的功效與效益。首先，二氧化碳捕集系統通過吸附與解吸分離設計，利用接觸器內的吸附劑高效捕集二氧化碳，生成高濃度二氧化碳氣流，顯著提升二氧化碳回收純度，適用於碳封存或工業再利用。雙流體隔離區域設計確保吸附與解吸過程高效進行，蒸汽輔助解吸降低能量需求，提升系統能效。濃縮器的應用進一步提高二氧化碳濃度，減少後續處理負擔。鍋爐與煙氣處理系統的整合，通過氣體清洗與氮氧化物還原，顯著降低煙氣中的污染物含量，符合嚴格的排放標準。壓縮與冷卻裝置的加壓處理不僅促進二氧化碳分離，還優化煙氣處理流程，降低能耗。整體系統通過高效的熱能與資源管理，減少外部能源輸入，降低運營成本，同時提升環境效益。這些技術的結合為工業碳減排提供穩定、高效的解決方案，兼顧

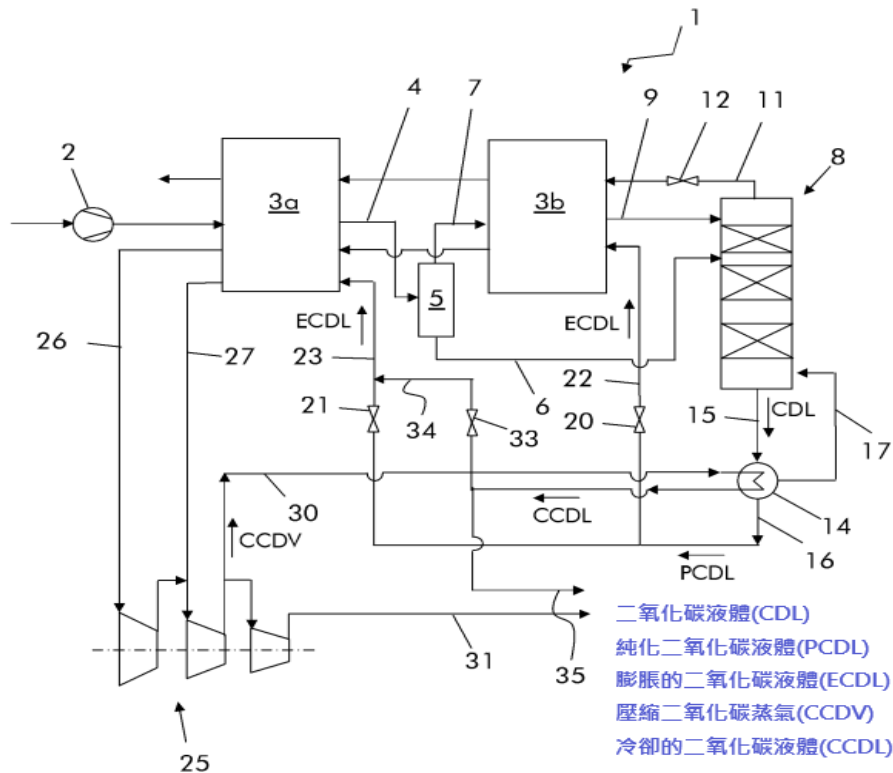


圖 14 分離二氧化碳以產生高純度二氧化碳產品示意圖

(4) 三菱重工(MHI)

本次檢索發現三菱重工(MHI)美國專利有 21 件，其他各國專利共 118 件。三菱重工(MHI)專注於多種二氧化碳捕集與分離的技術手段與設備。首先，三菱重工(MHI)發展出利用含環狀胺化合物與多孔材料的二氧化碳吸收劑，其中環狀胺化合物具 35%以上的一級胺基，搭配專用捕集方法與分離設備實現二氧化碳吸附。此外，另一技術採用含金屬錯合物的水與水溶性溶劑混合溶液，該錯合物以銻、錳或鐵為中心金屬，配體含羰基及氮雜環結構，部分具有羧基或羥基取代基，促進二氧化碳吸收與還原。同時，三菱重工(MHI)還有發展出利用電磁波照射胺化合物與二氧化碳反應產物以解吸二氧化碳的方法，搭配相應的捕集系統，包含容納反應產物的殼體與電磁波照射部件。另一吸收劑則以含氧或含硫雜環結構的胺化合物為主，含量達 65%以上。此外，化學吸收系統包含吸收塔、再生塔、冷凝器、回流管及收集盤等設備，利用烷醇胺水溶液吸收燃燒廢氣中的二氧化碳，並通過再生塔解吸二氧化碳，實現吸收液循環使用。

上述技術在二氧化碳捕集與分離方面展現顯著功效與效益。首先，環狀胺化合物與多孔材料結合的吸收劑，因其高比例一級胺基，顯著提升二氧化碳吸附效率，同時多孔材料增強吸收劑的穩定性與重複使用性。金屬錯合物溶液通過特定配體設計，實現高效二氧化碳吸收與還原，降低能耗並提升處理濃度，尤其適用於低濃度二氧化碳環境。電磁波解吸技術則通過精準能量輸入，高效

解吸二氧化碳，減少傳統加熱再生過程的能源消耗，同時系統設計簡化操作流程，提高設備運行的穩定性。含雜環結構胺化合物的吸收劑因高含量活性成分，增強吸收選擇性與容量，降低副反應發生率。此外，化學吸收系統通過冷凝回流與吸收液循環設計，有效減少水汽損失與化學試劑消耗，提升系統整體能效。這些技術不僅降低捕集過程的能耗與成本，還提高二氧化碳濃度純度，促進後續儲存或再利用，對於實現碳中和目標具有重要應用價值。

2,5-BATF		糠胺	
2,5-BAF		5-甲基糠胺	
4-氨基甲基 四氢吡喃		MXDA	
4-(2-氨基 乙基) 吗啉		DETA	
2-噻吩甲胺			

圖 15 各種與二氧化碳吸收有關的胺化合物

(5) 全球溫控營運有限責任公司(GLOBAL THERMOSTAT)

本次檢索發現全球溫控營運有限責任公司(GLOBAL THERMOSTAT)美國專利有 19 件，其他各國專利共 975 件。全球溫控營運有限責任公司(GLOBAL THERMOSTAT)聚焦於從大氣中移除二氧化碳的系統與方法，主要技術手段包括使用吸附劑結構與空氣萃取系統。其吸附劑結構能有效結合含二氧化碳空氣流中的二氧化碳，隨後通過製程熱量將二氧化碳從吸附劑中分離並再生吸附劑以供重複使用。空氣萃取系統通過特定介質從大氣中收集二氧化碳，並利用熱能移除介質中的二氧化碳。空氣萃取系統還包含隔離系統，將移除的二氧化碳轉移至儲存地點，或用於生成可再生碳燃料、肥料或建築材料等非燃料產品。另外，部分系統利用化石燃料電廠作為供熱單元，提供製程熱量以驅動二氧化碳移除與介質再生；其他系統則使用多種能源來源提供熱量，確保系統運作的靈活性。這些技術共同構成一個完整的二氧化碳捕集、移除與處理流程，涉及吸附、分離、再生與隔離等關鍵步驟。

這些專利技術在二氧化碳捕集與處理方面展現顯著的功效與效益。首先，吸附劑結構與空氣萃取系統能高效從大氣中移除二氧化碳，降低溫室氣體濃度，有助於減緩全球暖化。通過製程熱量驅動的二氧化碳分離與吸附劑再生技術，不僅提升系統運作的持續性，還顯著降低能耗，特別是利用化石燃料電廠或其他能源來源提供熱量，確保能源利用的高效性與靈活性。隔離系統將捕集的二氧化碳轉化為可再生碳燃料或非燃料產品（如肥料與建築材料），提升資源利用率，促進循環經濟發展。此外，這些系統的模組化設計使其適用於不同規模的應用場景，從工業排放到大氣直接捕集，均能有效提高二氧化碳濃度純度，方便後續儲存或再利用。整體而言，這些技術不僅降低環境負擔，還創造經濟價值，通過減少能源消耗與提升資源轉化效率，為實現碳中和與永續發展目標提供重要支持。

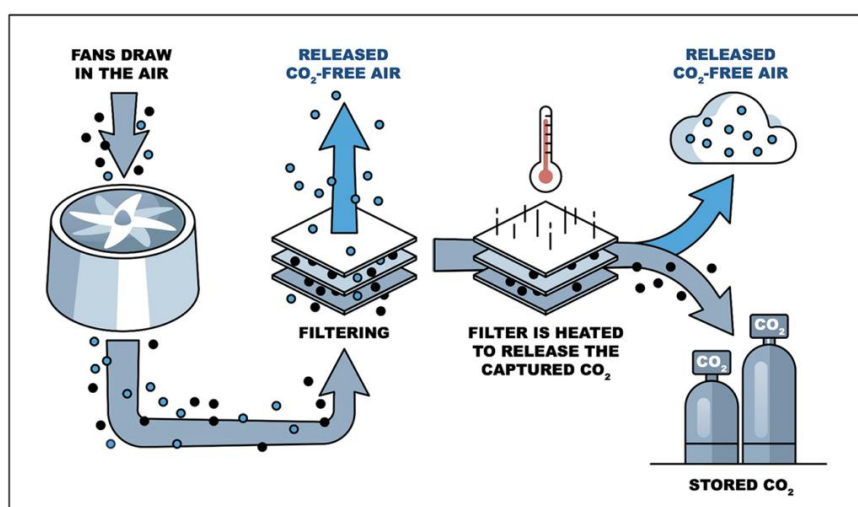


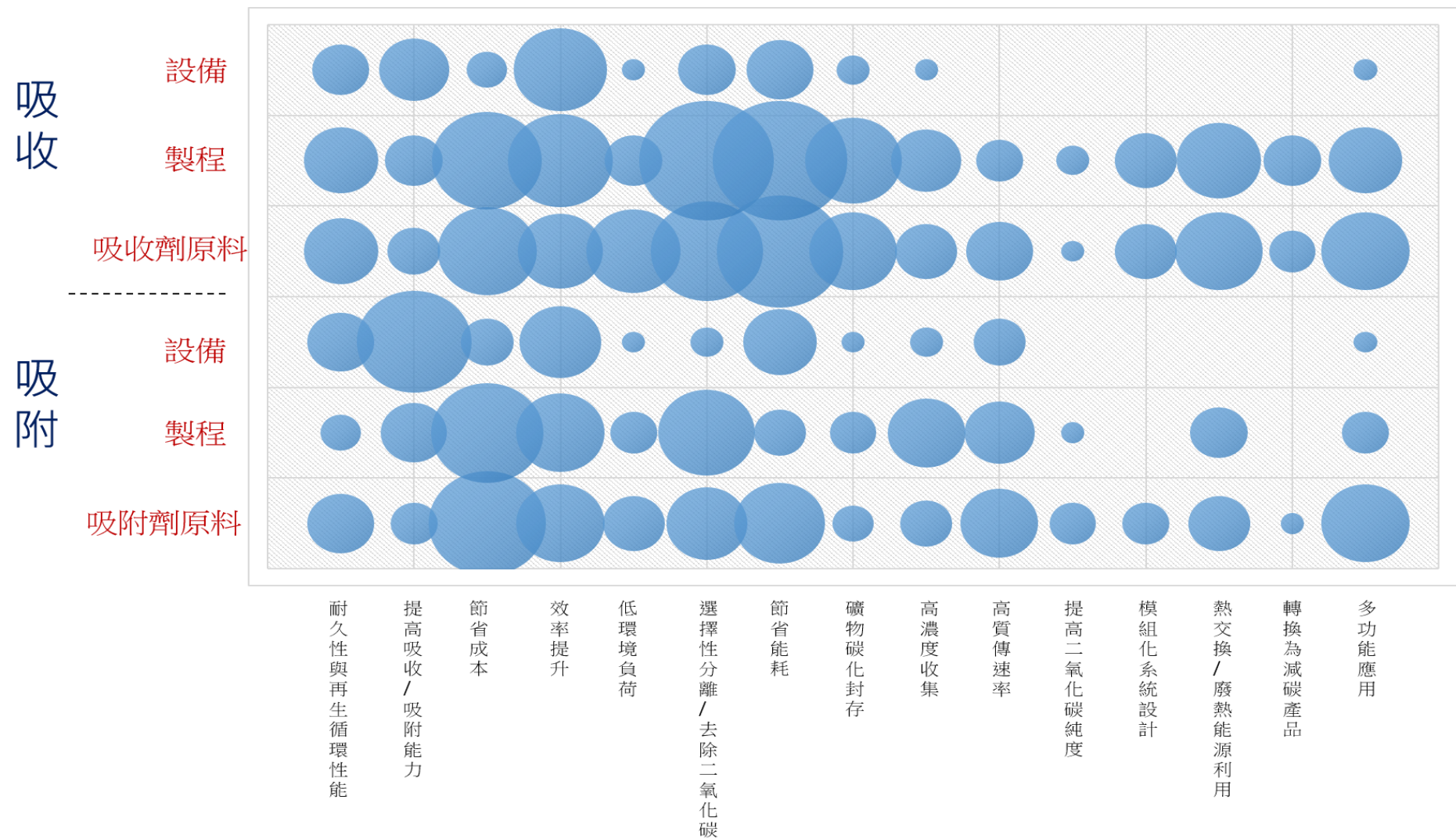
圖 16 直接空氣捕捉法示意圖

五、 專利技術/功效分析

若要進一步聚焦於「特定技術領域」之專利發展脈絡，找出技術地雷區或技術藍海地帶，便需透過更縝密的「技術功效矩陣分析」，剖析各專利之技術落點及發揮功效等資訊，更深層的探討技術創新或迴避發展之策略。

由於本次專利數量較多，故先行利用 Grok 3 等 AI 工具，整理出這些基於前述檢索條件篩選出的專利，找出 20 個關於捕碳技術的功效為橫軸；另外，並以吸收及吸附類別這兩大主軸為縱軸，製作技術功效矩陣圖。

技術功效圖分析方面(如圖 14)，主要的熱區集中在吸收(縱軸)-節省能耗|選擇性分離/去除二氧化碳(橫軸)、吸收(縱軸)-節省成本|效率提升(橫軸)、吸附(縱軸)-提高吸收/吸附能力|效率提升(橫軸)這三個區域。另外，高質傳速率、提高二氧化碳純度、模組化系統設計、轉換為減碳產品等區塊，可能因為需要較高的技術含量，或是目前還未有商業上的驅動力，故申請人較少布局的這些區塊。



六、 結論與建議

- 1、 本次檢索發現，於2014至2024年期間，在專利申請的數量上，以東芝的37件為最多，法商液態空氣的28件次之，奇異及三菱重工的申請數量分別為22件及21件。此外，法商液態空氣、沙烏地阿拉伯石油公司及日本電裝，因專利活動特別集中於近5年內，故亦需特別留意。
- 2、 碳捕捉處理技術主要集中在吸收、吸附、電解以及膜分離這四個類別，而吸收與吸附的總數超過整體數量的一半，故可推斷目前仍著重碳捕捉技術。吸收類別方面主要的申請人有東芝、三菱重工、西門子、石川島播磨重工業、氟石科技公司、韓國能源研究所；吸附類別方面主要申請人有川崎重工、奇異、全球溫控營運有限責任公司、日本電裝、日立、法商液態空氣，發現吸收與吸附兩者之間的申請人的重疊性低，可見這兩個類別的技術差異性極大，申請人很難兩者兼顧。
- 3、 從2015年開始，大多數的申請人都以吸收類別作為專利申請的標的。但是從2023年開始，專利申請人開始以吸附類別為主要申請標的，由此可知捕碳技術的發展重心，已經從吸收轉變為吸附為主，預期未來仍將是關注重點。
- 4、 吸收、吸附、電解以及膜分離等四項類別的專利，主要都以製程與設備為主要布局標的，以原料再輔以設備及製程為申請標的之專利較少，故建議可考量以吸收劑或吸附劑原料為主，再輔以設備及製程的方式申請專利。
- 5、 申請專利最多的前五大主要申請人方面，法商液態空氣著重在氣體分離效率，東芝聚焦在吸收、再生與熱能回收等製程及設備，奇異聚焦於二氧化碳捕集與煙氣處理技術，三菱重工則專精於吸收劑材料研究，而全球溫控營運有限責任公司集中在從大氣中移除二氧化碳的系統與方法。因此，前述公司可以做為相關技術發展之指標性企業。
- 6、 在技術功效圖分析方面，節省能耗、節省成本、提高吸收/吸附能力等功效係多數專利布局主要標的，競爭相對激烈；而高質傳速率、提高二氧化碳純度、模組化系統設計、轉換為減碳產品等則為較少布局的區塊，可作為專利布局參考，提高可專利性。
- 7、 歸納專利所提出之技術困難點包括：吸附法使用的吸附劑造價成本高，以及高濕度氣體會降低吸附效率；吸收法則是有吸收劑逸散及只能處理CO₂濃度較高的氣體；膜分離及電解製程則是目前仍未普遍；燃氣前處理則需額外的製程及能耗。因此，如何調和上述技術，使捕碳的效率及吸收能力提升，並節省能耗及成本，係未來發展的重點。

參考文獻

- [1] 王俊修、賴志敏, “中鋼在循環經濟的創新作為與未來展望－鋼化聯產,” *工程*, 2024.
- [2] 國立台灣科技大學製程淨零研究中心, “二氧化碳捕捉及再利用技術,” 國立台灣科技大學製程淨零研究中心, 2023. [線上]. Available: <https://processnetzero.ntust.edu.tw/p/404-1114-119432.php?Lang=zh-tw>.
- [3] 蕭偉翰, “以胺基酸鹽類混搭醇胺類配方開發長時間捕獲二氧化碳吸收劑,” *台灣博碩士論文知識加值系統*, p. 108, 2017.
- [4] Wikipedia, “Oxy-fuel combustion process,” Wikipedia, 04 2025. [線上]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Oxy-fuel_combustion_process.
- [5] G. Lili, “Boosting carbon capture potential at power stations,” 清華大學, 2024. [線上]. Available: <https://www.tsinghua.edu.cn/en/info/1418/11299.htm>.
- [6] 张文挺, 翟璇, 周嘉, 王松, 尹素真, 刘展, “二氧化碳捕集技术发展综述,” *南方能源建设*, 2025.
- [7] 国家能源投资集团有限责任公司, “二氧化碳捕集技术及适用场景分析,” 国家能源投资集团有限责任公司, 北京市 东城区 100011, 08 2023. [線上]. Available: <https://www.pgtjournal.com/article/2023/2096-4528/2096-4528-2023-44-4-502.shtml>.
- [8] アドバンスドテクノロジー株式会社, “固体酸化物形電解セル＝SOEC とは？技術的内容と各社の開発・商用化動向,” アドバンスドテクノロジー株式会社, 03 04 2025. [線上]. Available: <https://www.atx-research.co.jp/contents/soec>.
- [9] 王同宝, 韩光泰, 王子运, 王昱沆, “克服高温二氧化碳电解产生的碳沉积问题,” *催化学报*, 2022. [線上]. Available: [https://www.cjcatal.com/CN/10.1016/S1872-2067\(22\)64120-2](https://www.cjcatal.com/CN/10.1016/S1872-2067(22)64120-2).