



鋼廠動態

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1. 安賽樂米塔爾因能源成本放棄 DRI-EAF 計劃 | 1 |
| 2. 山西建龍年產 5 萬噸二氧化碳捕集工程興建完成 | 1 |
| 3. SSAB 和 Polmotors 合作開發無化石燃料汽車件 | 2 |
| 4. Salzgitter 和 Volvo 合作建立鋼鐵回收閉環體系 | 3 |
| 5. 安賽樂米塔爾考慮終止根特 Steelanol 專案 | 3 |
| 6. 澳洲政府補助 NeoSmelt 低碳煉鐵專案 | 4 |
| 7. 奧鋼聯和 VERBUND 合作擴建 H2FUTURE 專案 | 4 |

技術/生產資訊

- | | |
|---|----|
| 1. 河鋼焦爐煤氣零重整氫冶金示範項目技術重點介紹 | 5 |
| 2. 鄂鋼高廢鋼比技術探究 | 6 |
| 3. 河鋼張宣科技「氫基豎爐-近零碳排電弧爐」 | 7 |
| 4. JFE 申請測定加熱爐未燃氫的方法專利 | 7 |
| 5. 2024 年全球 CCS 發展概況-歐洲地區、中東和非
洲地區 CCS 政策與項目進展 | 10 |
| 6. 高爐煤氣+蒸汽製取高純氫氣的示範研究 | 12 |
| 7. 「負碳煉鐵」：碳去除+蒸汽生物油重整煉鐵 | 15 |
| 8. 氫基豎爐氧化鐵直接還原模型研究進展 | 15 |

9. 鋼鐵生態產品對風力發電穩定運轉和 CO₂減排效果的定量評價 16

技術專欄

※低碳技術規模化影響因素調查 18

※國際鋼廠 DRI 策略發展動態 26

1. 安賽樂米塔爾因能源成本放棄 DRI-EAF 轉型計劃

安賽樂米塔爾表示德國能源成本過高，他們已放棄在德國北部布萊梅和東部艾森許滕施塔特工廠轉為 DRI-EAF 產線的計畫。這項拒絕德國政府 13 億歐元（約新台幣 446 億元）公共補貼的決定，對於德國工業部門來說是個新的打擊。該國在失去數十年來為其工廠提供動力的俄羅斯天然氣供應後，至今仍在掙扎。安賽樂米塔爾指出，首批電爐正在那些能夠提供有競爭力且可預測電力供應的國家建造，如法國。

德國已批准向符合其氣候目標的鋼鐵專案提供總計 69 億歐元（約新台幣 2366 億元）的補貼，包括已取消的安賽樂米塔爾專案款項。蒂森克虜伯和薩爾茨吉特(Salzgitter)都表示將堅持其綠鋼專案，並呼籲政府確保專案的綠鋼市場條件得到顯著改善。

安賽樂米塔爾歐洲區負責人吉爾特·范·波爾沃德 (Geert van Poelvoorde) 表示，歐洲鋼鐵產業面臨著前所未有的維持競爭力壓力，且還沒算上脫碳的額外成本。他敦促歐盟委員會採取行動，限制某些鋼鐵產品進入歐洲的進口，稱外國競爭是該產業面臨最緊迫的問題。

（摘自：安賽樂米塔爾官網 2025-06-19、路透社 2025-06-20）

2. 山西建龍年產 5 萬噸二氧化碳捕集工程興建完成

山西建龍公司近期完成年產 5 萬噸 CO₂捕集工程建設，該企業利用自有 2×100MW 鍋爐煙氣作為原料，採用改良型化學吸收法實現低濃度二氧化碳的高效捕集。相比傳統技術節能約 30%，所需蒸汽品質要求低，且化學試劑消耗更少，

有效解決能耗高與設備腐蝕等問題，本並提升系統穩定性。

工程捕集效率超過 90%，預計每年可減少約 5 萬噸二氧化碳排放。該配套建設的提純裝置能將氣態二氧化碳純度提升至 99.5%、液態產品純度達到 99.8%，捕集後的高純度二氧化碳可直接應用於煉鋼工序中，實現「捕集 - 提純 - 利用」的閉環應用路徑。該工程投運後，預計每年可創造超過台幣 3600 萬元的直接經濟效益。

(摘自：冶金信息網 2025-07-08)

3.SSAB 和 Polmotors 合作開發無化石燃料汽車件

SSAB 與 Polmotors 進行無化石汽車結構部件鋼材供應合作案，SSAB 已與一級供應商 Polmotors 達成協議，共同探索在要求嚴苛的汽車應用中使用無化石材料的可能性。

SSAB 正透過 SSAB Zero 革新鋼鐵生產，該產品基於回收鋼材和無化石能源。此外，SSAB 也已透過 HYBRIT 生產出全球首批無化石鋼材，該技術藉由 SSAB、LKAB 和 Vattenfall 之間的合作，旨在透過用無化石電力和氫氣取代焦煤，消除鋼鐵生產中的二氧化碳排放。

Polmotors 是一家為高端汽車 OEM 生產碰撞管理系統（如保險桿和拉力桿）的製造商。他們認為，作為無化石鋼材的早期採用者將具有競爭優勢，並期待與 SSAB 和 OEM 廠商展開聯合研發。

(摘自：SSAB 2025-06-26)

4. Salzgitter 和 Volvo 合作建立鋼鐵回收閉環體系

Salzgitter 和 Volvo 計畫擴大合作規模，共同建立一個封閉的鋼鐵回收體系，本專案也是 Salzgitter 的 SALCOS® 低碳鋼鐵生產轉型計畫的一部份。Salzgitter 計畫自 2026 年開始從瑞典 Volvo 汽車廠購買大量高品質廢鋼，並重新投入採用綠電的電爐生產。

在物流方面，雙方將利用高效的鐵路運送回收廢鋼及成品鋼材，消除空車運行並減少 700 公里路程的碳排放，有效提升資源效率並實現價值鏈的脫碳。

補充：SSAB 與 Volvo 之間也有類似合作計畫，SSAB 將於 2026 年開始接收高品質汽車廢鋼，並為 Volvo Cars 的量產車型供應 SSAB Zero™ 鋼材。

(摘自：MetalBulletin 2025-06-23)

5. 安賽樂米塔爾考慮終止根特 Steelanol 專案

安賽樂米塔爾比利時根特廠的 Steelanol 專案於 2017 年啟動，安賽樂米塔爾投資 1.4 億歐元 (約 47.8 億新台幣)，再加上比利時政府、弗拉芒政府和歐洲投資銀行資助，最終成本達 2.5 億歐元 (約 85.4 億新台幣)，旨在利用二氧化碳生產乙醇。根據該公司的計算，Steelanol 廠年產能可達 6 萬噸乙醇，二氧化碳排放量每年可減少 12 萬噸。

然而，歐盟委員會並未將此減排成果歸功於安賽樂米塔爾，因為乙醇再利用過程中仍會將先前高爐捕捉的二氧化碳再度釋放回大氣中，無助於整體供應鏈的減碳。在歐盟規範下，Steelanol 廠產製的乙醇既不被視為「先進生質燃料」，也不屬於「再生燃料」。其所減少的碳排放無法列入企業碳平衡，使 Steelanol 廠再也無利可圖，安賽樂米塔爾將在未來一年內評估是否停運。

(摘自：SNN 環宇鋼鐵網 2025-06-24、MetalBulletin 2025-06-25)

6. 澳洲政府補助 NeoSmelt 低碳煉鐵專案

NeoSmelt 是由 BlueScope、力拓 (Rio Tinto) 與必和必拓 (BHP) 共同成立的綠色鋼鐵聯盟，近期再獲 Woodside Energy 與三井物產加入，五家企業現共同持有其股權。該聯盟預定於西澳奎那那 (Kwinana) 工業區設置電弧熔煉試驗工廠，針對皮爾巴拉 (Pilbara) 鐵礦用於 DRI-EAF 製程之低碳鋼生產展開可行性研究。

專案初期投入資金達 4,880 萬澳幣 (約新台幣 9.3 億元)，其中 1,980 萬澳幣由澳洲可再生能源署 (ARENA) 提供資助。若試驗成果正面，NeoSmelt 將於 2026 年前完成投資決策，目標自 2028 年起每年生產 3—4 萬噸低碳直接還原鐵，並逐步由天然氣供能轉為綠氫。此外，該專案亦符合澳洲政府總額 140 億澳幣的綠氫補貼政策，自 2027 年起可申請每噸綠氫 2 澳幣的稅務抵減。

(摘自：SteelOrbis 2025-06-17、ArgusMedia 2025-06-17)

7. 奧鋼聯和 VERBUND 合作擴建 H2FUTURE 專案

奧鋼聯與奧地利電力公司 VERBUND 投資 1,640 萬歐元 (約 5.59 億新台幣)，合作擴建林茨廠的 H2FUTURE 氢能研究專案。該專案始於 2019 年，包含基於質子交換膜 (PEM) 電解技術產製綠氫，並將其淨化、壓縮、儲存和運輸的氢能基礎設施。新一階段的擴建，將安裝一套提純裝置、一套壓縮系統及五個儲氫罐，總儲氫能力為一噸。新設施於 2026 年初啟動調試工作，並於同年底產出首批研究成果，完整擴建專案計畫於 2029 年底完成。

奧鋼聯「綠色技術鋼鐵戰略」中提出將逐步轉向環保型鋼鐵生產，並在其內部多項研究計畫中使用綠氫。2027 年起，林茨和多納維茨廠將啟用電爐替代兩座高爐。

(摘自：鐵諾 2025-07-11)

1. 河鋼焦爐煤氣零重整氫冶金示範項目技術重點介紹

本論文聚焦河鋼集團全球首例焦爐煤氣零重整氫冶金示範計畫(DRI-EAF)，詳細介紹其技術創新與實際運作。HyMEX 項目首次成功將「焦爐煤氣零重整直接還原技術」工程化應用，突破國際上採用天然氣製備還原工藝氣體的常規手段，成為目前工業化生產中含氫比例最高的氣基豎爐直接還原工藝，其整體製程如下圖 1。

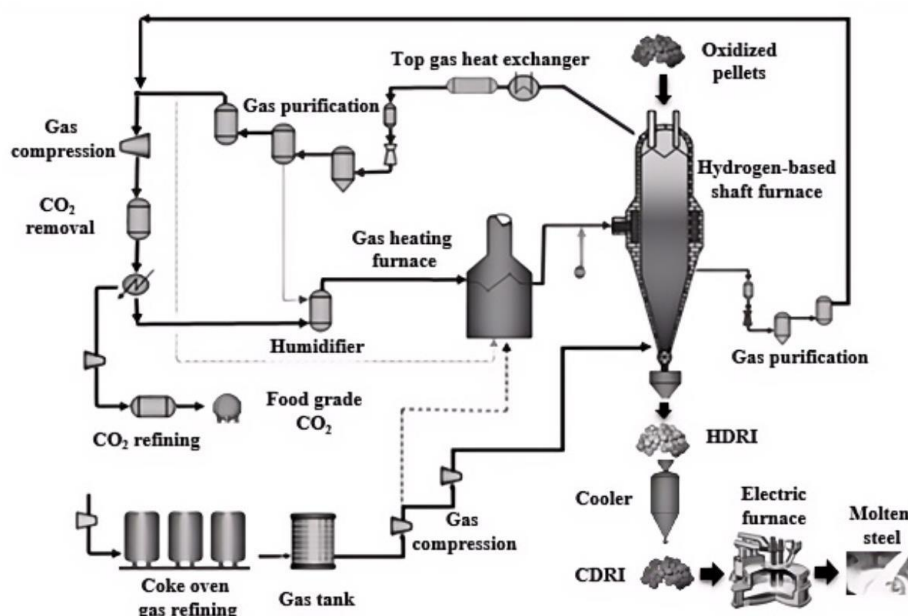


圖 1、張宣科技焦爐煤氣零重整氫冶金工藝流程

HyMEX 是以焦爐煤氣為氣源，主要工藝流程包括：焦爐煤氣補充→豎爐錐部改質與冷卻淨化後的爐頂煤氣混合→混合後的工藝氣脫水→加壓→脫除 CO_2 →加濕→加熱爐加熱→噴氧提溫→進入豎爐。

示範項目自 2023 年 5 月投產後，實現了穩定、連續、高效運行，DRI 金屬化率大於 94.0%，DRI 碳質量分數為 3.0%左右，煤氣能耗指標小於 9.4 GJ/t，比國外採用 HYL 工藝的天然氣直接還原工廠低約 0.4 GJ/t。相對於高爐工序， CO_2 減排比例超過 70%，同時 SO_2 、 NO_x 、煙粉塵排放分別減少 30%、70%和 80% 以上。

以 DRI 代替廢鋼進行電爐冶煉，鋼中 5 大有害元素 Pb、Sn、As、Sb、Bi 質量分數降低，鋼水終點氮質量分數明顯降低，經統計，每增加 10t DRI，鋼水終點氮質量分數降低 0.00015%-0.00025%，平均降低約 0.00020%。氫冶金示範項目並成功開發因瓦合金、哈氏合金、耐蝕合金等 60 多種綠色高階特種材料，廣泛應用於航空航太、核電、汽車、電力、石化等下游客戶產品。

(摘自：鋼鐵(CNKI) 2025-05-30)

2. 鄂鋼高廢鋼比技術探究

鄂鋼在高廢鋼比生產中，實現大廢鋼比條件下的熱量平衡與高效冶鍊。採用「一罐到底」和液壓懸臂式加蓋保溫系統，有效減少罐內鐵水熱損失，使鐵水入爐溫度提升約 98°C，其次利用高爐煤氣對廢鋼預烘烤至 900°C、對合金預熱至 400°C，顯著降低廢鋼和合金熔融吸熱，再建立鐵水罐加廢鋼、桶裝廢鋼料型優化、轉爐後和精煉爐加廢鋼等多管道加入體系，使入爐廢鋼量由 20t 增至約 40t (佔比超 33%)，廢鋼熔化率達 90%~95%，同時通過提高盛鋼桶在線蓄熱烘烤與加蓋保溫、加速連鑄拉速等措施，將轉爐出鋼溫度降低 5°C~15°C，減少每噸鋼綜合能耗。實績表明，鐵鋼比指標由 915kg/t 下降至 757kg/t，轉爐作業率提升 10%、煉鋼周期縮短 5min，日均增產約 2000t；年均可減少 CO₂ 排放 5~7 萬噸和生鐵產量 80 萬噸，碳消耗降低約 38 萬噸，顯著實現節能降碳和生產效率雙提升。

(摘自：鐵諾 2025-05-15)

3. 河鋼張宣科技「氫基豎爐-近零碳排電弧爐」

2022 年 12 月，張宣科技氫冶金示範工程一期投產，與高爐-轉爐相比，每年可減少碳排放 80 萬噸，同步創新應用 CCUS 技術，生產每噸 DRI 可捕集 CO₂ 約 125 千克。投產以來，氫冶金示範工程穩定安全運行，實現多項關鍵技術突破：每噸 DRI 的成本較生產初期降低 30% 以上，產品金屬化率穩定在 94.5% 左右，焦爐煤氣單耗較設計值降低 30% 以上，主要指標已處於世界領先水準。

2024 年 3 月，張宣科技聯合北京科技大學啟動實施全球首例「氫基豎爐-近零碳排電弧爐」新型短流程技術開發與應用項目，透過從冶煉過程、能量來源、原料生產三個「碳近零」，系統開展新型短流程關鍵技術研發和工程應用研究，首創 HyMEX® 新型氫冶金-電爐短流程，打造中國首條「氫基豎爐+電爐」近零碳產線。多項產品通過 TÜV SÜD 公司的碳足跡認證，成功出口歐洲市場。

2024 年 9 月，國際上首次實現「綠氫」氫冶金工業化生產，成功驗證「**綠電—綠氫—綠鋼**」生產的技術可行性，邁出探索全綠氫近零碳氫冶金技術的重要一步。全球首條氫冶金綠色汽車板連鑄生產線自 2024 年 12 月投產以來，以氫基 DRI 作為主原料，全流程近零碳冶煉板胚，完成氫冶金電爐生產汽車板的低碳技術路線。迄今已研發形成了低合金、高強、雙相鋼、深沖鋼等六大系列汽車板材料。

(摘自：中國鋼鐵新聞網 2025-07-14)

4. JFE 申請測定加熱爐未燃氨的方法專利

本專利係利用一氧化碳濃度推定加熱爐排氣中未燃氨濃度的方法，以及相應的加熱爐操作方法、燃燒設備操業方法與加熱爐控制裝置。該技術主要應用於以阿摩尼亞和含碳燃料混合氣體為燃料的加熱爐，旨在實現對排氣中未燃氨濃度的

簡易、連續推定與控制，以降低環境污染並促進脫碳。

本專利實施方式概述如下：

- (1) 圖 2 為加熱爐的橫斷面結構，重點說明被加熱鋼材 (S) 在爐內的空間分布、燃燒設備的配置，以及氣體流動路徑。被加熱材 (S) 位於爐體中央；燃燒器 1 (20a~20d) 及燃燒器 2 (30a~30f) 分布於鋼材上下兩側與搬送方向兩側，確保加熱均勻。燃燒器 1 為使用含氮燃料氣進行加熱的燃燒器，燃燒器 2 使用不含氮燃料氣進行加熱的燃燒器。燃燒產生的氣體經由煙道 (14) 排出，部分經排氣裝置 (15) 除去有害成分。CO 濃度計設於爐內進行多點線上監測。

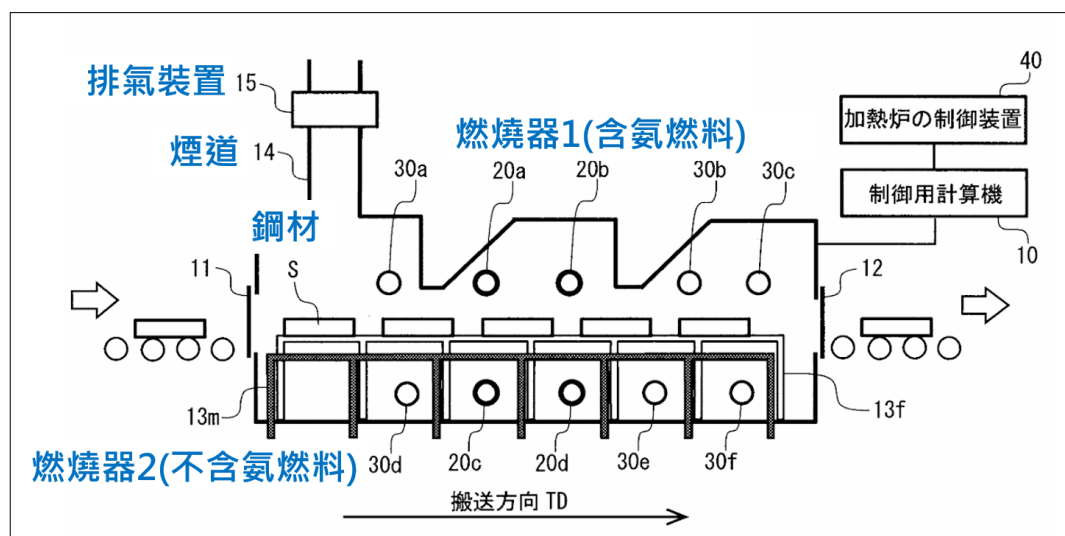


圖 2、加熱爐燃燒器配置

- (2) 圖 3 展示燃燒器 1 的側面圖與正面圖，體現燃料供應、混合、燃燒與空燃比控制流程。燃燒器噴嘴 (21)：將混合燃料氣體及燃燒空氣噴射至爐內，形成火焰，燃料包括氮燃料供應與含碳燃料供應，兩者於混合單元 (25) 混合後供應至噴嘴 (21)，燃燒用空氣供應系統 (26) 提供燃燒所需空氣，並設有流量計與流量調整閥；空燃比控制單元 (27) 會根據燃

料組成與流量，動態調整空氣與燃料比例，確保燃燒效率與排放達標，而各氣體管路均設有流量計(23m, 24m, 26m)與流量調整閥(23v · 24v · 26v)，可細緻調控混合比與燃燒條件。

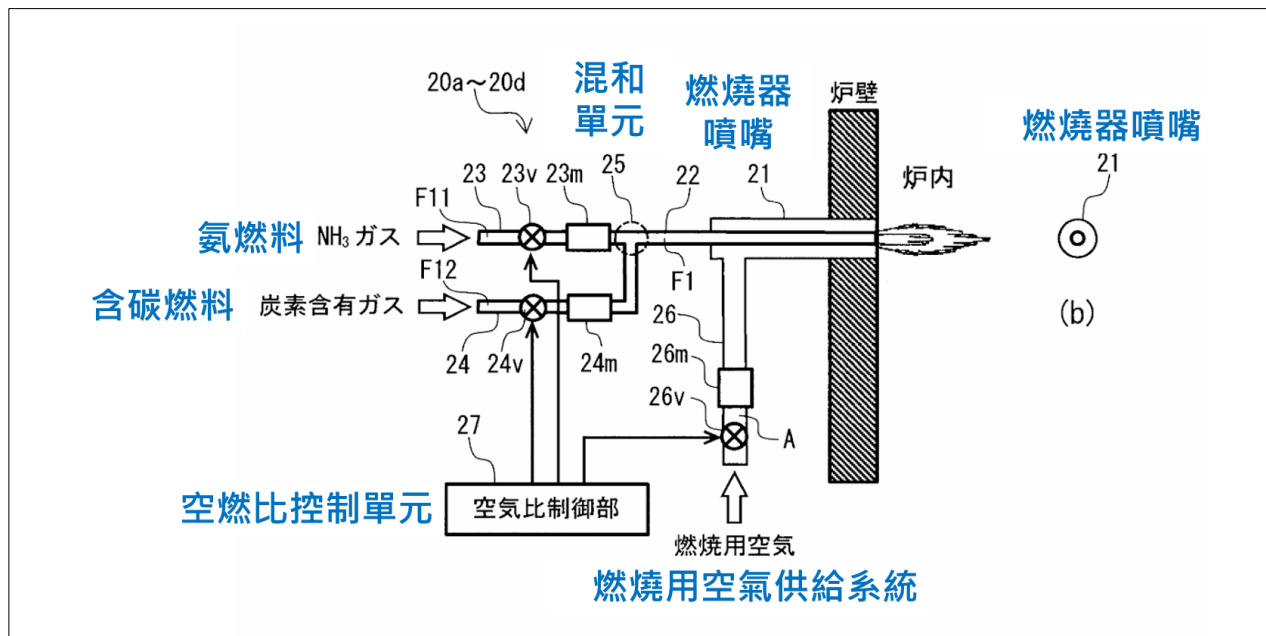


圖 3、燃燒器示意圖

本專利技術發現排氣中 CO 濃度與未燃氨之間存在顯著相關性，透過測量 CO 濃度可推定未燃氨濃度，即多點 CO 線上監測結合推定方法，誤差可控制在 $\pm 7\text{ppm}$ 內，當未燃氨的推定值超過預設值時，加熱爐之控制單元將自動調整加熱爐的操作條件，抑制未燃氨之排放。

(摘自：日本專利特許公報 JP7605283 2024-12-24)

5. 2024 年全球 CCS 發展概況-歐洲地區、中東和非洲地區 CCS 政策與項目進展

◆歐洲

(1)政策進展

2024 年，CCS 技術在歐盟氣候與工業政策中的重要性顯著提升。歐盟啟動多項新立法與資助政策，包括 40 億歐元預算、修訂版 CCS 指令、淨零工業法案(NZIA)，並計畫到 2030 年石油與天然氣企業需共同投資建設每年 5000 萬噸二氧化碳注入能力。多國(如奧地利、德國、法國、意大利)明顯放寬 CCS 政策限制，積極修法、制定國家戰略並加快跨國合作。

(2)項目發展

歐洲現有 5 個 CCS 項目運行、10 個在建，北海成為 CCS 發展重點區域，如荷蘭 Porthos、Aramis、Petrofac 項目以及丹麥 Norne 碳封存中心等的大型項目陸續啟動。英國 GIGA 計畫與 CCUS 市場藍圖、挪威 Arctic Light、冰島 Mammoth 全球最大直接空氣碳捕集(DAC)工廠開始運作。至 2024 年，歐洲 CCS 商業項目累計已增至 191 個，國際合作能力逐步提升。

◆中東與非洲地區

(1)政策進展

著眼於能源轉型與淨零承諾(如阿聯酋、沙烏地阿拉伯、阿曼、卡達)，該區域積極將 CCS 納入國家政策與氣候目標，發布長期發展戰略(如阿聯酋 LTS、SAF 政策)，建立碳市場(如阿聯酋 ACX、沙特碳信用機制)，並針對工業部門啟動大規模減碳路線圖。

(2)項目發展

阿聯酋、沙特、卡達佔區域 CCS 前沿。阿布扎比 Al Reyadah、Habshan、Ghasha、Ruwais 等項目增強碳捕集能力。沙特到 2035 年 CCS 目標為 4400

萬噸/年，推進多個工業、合成燃料、DAC 與碳信用合作。阿曼、巴林、埃及、肯亞、南非等也各自啟動 CCS、DAC、碳捕集礦化等先導計畫，區域企業層面跨國合作日趨活絡。

◆ 結論與未來展望

歐洲政策推力與企業合作並重，重點投資基礎設施與跨境碳運輸，陸續擴大 CCS 部署規模。中東非洲能源轉型動機與國際合作雙輪驅動，重點領域為工業減碳與碳市場建設，大型石油企業帶動新興 CCS 與 DAC 投資。

2024 年以來，歐洲、中東與非洲三大區域均將 CCS 提升至國家能源與氣候治理核心層級，國家政策與企業投資進展明顯加快。跨國技術合作、碳市場建設、DAC 項目實施等已成主流趨勢，預計 2025 年前後 CCS 規模和能力將繼續攀升，對產業與氣候目標實現產生重要影響。

項目/地區	歐洲	中東	非洲
政策推動	EC 多項法案（淨零工業法案、CCS 指令）、資金支持，成員國大幅放寬 CCS 政策限制	多國納入國家脫碳戰略，長期發展戰略（LTS）、碳信用政策、國際合作升溫	部分國家納入國家戰略、對碳市場逐步規範化
項目數量	5 個運行、10 個在建，191 個商業項目（含不同階段）；北海為發展重心	3 個運行、6 個在建，大型工業與能源企業主導，重點國家阿聯酋、沙特、卡達	肯亞、南非、埃及、巴林等正啟動多個先導試點
主要進展	基建擴張、跨境碳輸運管道建設、DAC 技術進步（如冰島 Mammoth 工廠）、國際合作漸趨緊密	石油與天然氣產業帶動，Al Reyadah、Habshan 等項目擴容，沙特 2035 年目標 4400 萬噸/年，積極發展碳市場與 DAC	著重於 CCS、DAC 及碳礦化，本地企業主導或跨國合作

項目/地區	歐洲	中東	非洲
技術導向	多元，包括傳統 CCS、設施擴容、DAC 與 CDR 技術新進	以工業碳封存、DAC 為主，結合合成燃料及增進碳市場流動	DAC 與 CCS 並舉，重點國家強化技術監管
國際合作	強調跨國基建、碳輸運、CCS 價值鏈協定，多國如挪威、冰島、英國及歐盟跨部門協作	國際協議頻繁，與歐盟、中國、韓國、日本等簽署合作，共同推動新 CCS 與低碳氫、碳市場建設	與歐洲、中東及全球碳理事會策略性結盟
未來挑戰與前景	必須提升最終投資決策效率、完善碳管理基礎設施，擴大跨境協作能量	須平衡產油利益與能源轉型，加速法規與市場體系成熟，提升本地技術能力	持續建立法規、技術導入，吸引外資合作

(摘自：世界金屬導報, N.2712, 2025-03-25)

6. 高爐煤氣+蒸汽製取高純氫氣的示範研究

◆前言

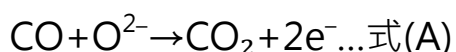
鋼鐵生產中碳的冶金特性與還原反應需求使得碳難以替代，其中又以高爐製程為最大排放源，佔全廠二氧化碳排放 70%~80%。氫氣作為非碳基還原劑具備脫碳潛力，卻因高成本而尚未廣泛應用。本文介紹 H₂Gen™ 示範工廠的成果與未來挑戰。該技術可將高爐煤氣(BFG)與蒸汽在無外加電留下轉化為高純度氫氣，為鋼廠脫碳提供新思路。

◆H₂Gen™ 技術原理 (如圖 4)

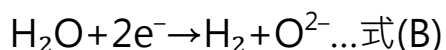
H₂Gen™ 運作類似固體氧化物電解槽 (SOEC)，最大特色是不需外加電力即可驅動反應。其核心機制說明如下：

(1)混合導電陶瓷膜與氣體電化學：以具選擇性與雙導電性的陶瓷膜將電池分為陽極與陰極兩側，陽極側導入高爐煤氣，陰極側則輸入蒸汽。兩側氣體間因成分不同產生過電位，進而驅動電化學反應。

(2)陽極：在 800–900°C 條件下，陽極側導入高爐煤氣，高爐煤氣中一氧化碳 (CO) 與由陰極遷移而來的氧離子(O^{2-})進行放熱反應，生成二氧化碳 (CO₂) 與兩個電子 ($2e^{-}$)，如式(A)。



(3)陰極：陰極側輸入蒸汽 (H₂O) 吸收上述反應熱能，生成氫氣 (H₂) 與 O^{2-} ，如式(B)。



(4)高濃度二氧化碳與高純度氫氣：陶瓷膜的選擇性設計確保進料氣體各自僅在陽極、陰極側流動且彼此完全分隔，避免相互接觸。氫氣僅於陰極側產出，具高純度且降低淨化成本；同時陽極側直接產生高濃度 CO₂，有助於後續碳捕捉與封存 (CCS) 成本降低。

(5)進料氣體適應性強：該技術對高爐煤氣和燃燒、石化等不同原料氣體都能穩定運作，不需要嚴格限定原料氣的純度或單一組成，顯著降低了進料氣預處理的複雜度與成本。

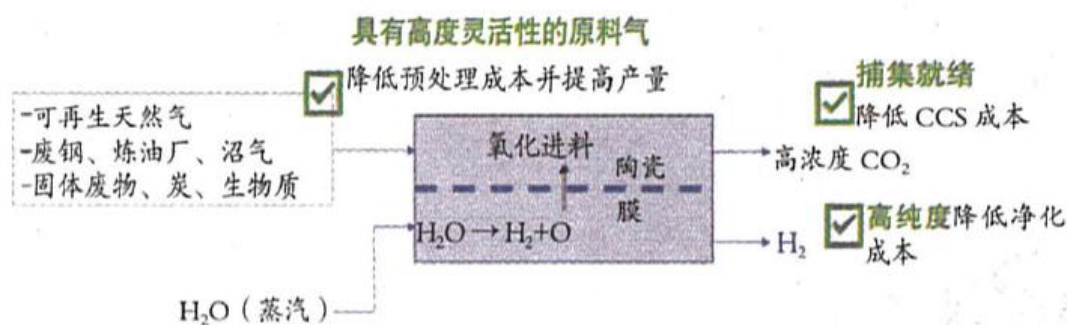


圖 4、H₂Gen™反應器原理

◆工廠驗證

- (1) 中型工廠實現超過 2,500 小時連續穩定運行，氫氣純度始終>99%。
- (2) 示範工廠在實際高爐煤氣條件下運行前 40 小時內產生 12.5 kg/d 氫氣，純度 97%，超出預期 10%–20%。

表 1、驗證條件與成果比較

成果/條件	中型試驗	示範工廠(FTF)
年分	2019~2022 年	2023 年
規模	1/100 目標規模	目標規模，僅加熱與冷卻設備為簡化版。
原料氣	重整天然氣	高爐煤氣
運行時長	2,500 小時	40 小時
正常運行時間	99.7% (不含電網停電)	-
氫氣純度	>99%	97%
恢復時間	停電後 1 小時內恢復 100%產能	-
氫氣日產量	-	12.5 kg/d

◆成果與未來展望

H₂Gen™ 示範工廠驗證該技術在真實高爐煤氣條件下的可行性與穩定性，無須利用分離製程將原料氣體中的惰性氣體移除，技術成熟度達 TRL 8 級。後續將與高爐鋼廠合作，展開工程設計與商業化成本評估，力求與電解氫及可再生天然氣 SMR 等技術競爭。

(摘自：世界金屬導報, N.2712, 2025-03-25)

7. 「負碳煉鐵」：碳去除+蒸汽生物油重整煉鐵

Charm Industrial 是一家二氧化碳去除公司，利用廢棄農業與林業殘餘物為原料，生產快速熱解生物油，可以被封存於地下，隨時間推移，生物油會聚合反應而固化，達到去除二氧化碳的效果。Charm 提出使用快速熱解生物油在煉鐵過程中作為還原劑和熱源，產生的二氧化碳還能被封存，作為去碳手段。

Charm 提出煉鐵技術稱為蒸氣生物油重整 (SBR)，將生物油轉為生物合成氣，功能類似 HYL 或 MIDREX。在範圍一的排放大部分來自煙囪氣體排放，對於 SBR，這些排放源自大氣中的二氧化碳，將生物質轉為生物油，再重新釋放到大氣中，沒有導致大氣的碳增加。範圍二的排放主要來自電網的電力，範圍三的來自進入 Charm 工廠的供應鏈排放。本文介紹以二氧化碳為主的溫室氣體清單，並將其他使用氫氣、天然氣的 DRI 進行比較，結果具有前景性，與 DRI 相比，是一種零碳排的有效方式。

(摘自：世界金屬導報, N.2713, 2025-04-01)

8. 氣基豎爐氧化鐵直接還原模型研究進展

本文綜述使用氣基豎爐進行氧化鐵直接還原 (DRI) 技術，涵蓋實驗研究與數學模型兩大領域，同時也探討高爐-鹼性氧氣爐、直接還原鐵-電弧爐等主要煉鋼法。直接還原法是透過固態還原氧化鐵來減少碳排放，並可用天然氣等其他還原劑取代焦炭。

氣基豎爐的研究可分為微觀和宏觀兩個層面：

微觀層面：研究單一鐵礦石顆粒的還原動力學。

宏觀層面：研究整個反應器的還原過程。

在實驗研究方面，主要有兩類工作：

冷模型試驗：了解豎爐中固體和流體的流動動力學；

實驗室規模的 DRI 爐模型：理解還原現象和操作特性。

在數學模型方面，研究者們採用多種方法，包括一維和二維反應器模擬，以及考慮水煤氣置換和甲烷裂解等副反應的模型。本文特別探討兩類主要模型：未反應收縮核模型(USCM)和多孔固體模型(如下表 2)。

表 2、未反應收縮核模型(USCM)和多孔固體模型比較

未反應收縮核模型(USCM)	多孔固體模型
USCM 適用於初始孔隙率低的緻密球結礦，假設還原反應發生在不斷縮小的核心表面。	多孔固體模型則更適合初始多孔的氧化鐵球結礦，認為還原氣體可以滲透到球團內部，使得反應在整個球團中發生。

許多研究者利用這些模型，探討了還原氣體成分(如 H₂/CO 比例)、溫度、壓力、流量等參數對豎爐性能和碳排放的影響，並將模型結果與實驗數據進行比對以驗證其準確性。總結來說，數學建模是理解和優化豎爐性能的重要工具，有助於設計更高效的生產系統。

(摘自：世界金屬導報, N.2714, 2025-04-08)

9. 鋼鐵生態產品對風力發電穩定運轉和 CO₂減排效果的定量評價

風力發電是可再生能源的主力，本篇以山陽特鋼生態產品--風力發電增速機用軸承鋼為例，探討風力發電穩定運行需要解決的問題，以及 CO₂減排效果的定量評價方法。

風力發電增速機軸承發生故障平均停機時間為 170 天，且停止發電期間需要

火力發電等其他備用發電方法替代，將致使期間碳排放增加，因此風力發電增速機用軸承鋼的長壽化對風力發電穩定運轉至關重要。為此，山陽特鋼透過特殊熱處理技術，開發出高性能軸承鋼產品，其滾動疲勞壽命為普通軸承鋼的 4 倍。

此外，本篇又提出一個 CO₂減排效果的定量評價方法，以評價風力發電增速機軸承壽命提升所獲得的 CO₂減排效果。參考公開數據，比較採用高性能軸承鋼與普通軸承鋼的計算結果後，發現採用高性能軸承鋼產品的風力發電機的減排效果約為 1.5 萬噸 CO₂ / 年。

(摘自：世界金屬導報, N.2715, 2025-04-15)

※低碳技術規模化影響因素調查

撰稿人 T41 余佳杭

一、前言

隨著全球氣候變遷加劇和國際間對碳中和目標的高度關注，鋼鐵產業正面臨巨大的減碳壓力，根據世界鋼鐵協會統計數據(表 3)，可發現全球鋼鐵行業在過去三年(2021~2023)中在 CO₂排放、能源強度並無顯著改善，顯示鋼鐵業在減排淨零上仍面臨挑戰。此外，根據國際能源署(IEA)的 2050 碳中和情境 (Net Zero Emissions by 2050 Scenario)，到 2050 年實現的低碳技術，約有 35%仍仰賴未商業化的技術，而重工業依賴非商業化技術的比例更達 50%。

表 3、世界鋼鐵協會統計之不同生產路淨 CO₂排放、能源強度之變化

	CO ₂ emissions intensity by production route			Energy intensity by production route		
	tonnes CO ₂ per tonne of crude steel cast			GJ per tonne of crude steel cast		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Global average	1.91	1.92	1.92	21.04	21.01	21.27
BF-BOF	2.33	2.33	2.32	24.13	23.98	24.20
Scrap-EAF	0.66	0.67	0.70	10.00	10.13	10.24
DRI-EAF*	1.40	1.36	1.43	22.58	22.25	23.13

綜合前述 CO₂排放無顯著改善及低碳技術商業化預測，有必要進一步蒐集鋼廠減碳技術的發展現況及所遭遇之各項挑戰，供公司決策參考。以下將以技術、成本、市場以及綠能產業等面向進行說明。

二、鋼廠減碳技術發展現狀

1. 技術推廣瓶頸與成本挑戰

(1) 氫基直接還原缺乏高純度的鐵礦石及綠氫

氫基直接還原(H₂-DRI)被認為是未來大幅減碳的關鍵技術，按現有理論推估其減碳潛力可達 98%。然而，該技術目前仍多處於試驗階段，成熟

度未達商業化應用要求，主因包含原料供應以及缺乏平價的高純度氫氣與綠色氫氣。

在原料供應方面，由於氫基直接還原技術需要高純度的鐵礦石(DR 級)，但目前全球僅有 3%-4% 的海運鐵礦石符合該標準。因此需要開發對鐵礦品級要求較低的技術，才能滿足原料供應的實際情況。

在綠色氫氣方面，雖電解產氫技術已達商業化程度，然綠色氫氣的生產技術尚待大規模驗證，另需提高製氫設備的效率與降低成本，例如：減少對關鍵材料的依賴、延長電池組壽命、改進製造流程與回收設計等，才能提供可負擔的綠色氫氣。由於現階段綠氫的生產成本仍視電價而定，且電解槽的製造能力仍無法滿足市場需求，**部署足夠的可再生電力供應電解槽將是達成綠氫戰略生產目標所面臨的主要挑戰。**

(2) 碳捕捉與封存的高成本及未知效益

碳捕捉與封存(CCUS)技術雖然可以減少高爐和轉爐的碳排放，但其基礎設施建設成本高昂，包括碳輸送管道和封存場地，這些設施的**建設週期長且投資巨大**，對鋼廠構成額外的經濟負擔；此外，**技術長期且大規模施作的實際減碳效益未定**，需要持續性的技術支持與政策保障。在成本與技術效益互相影響下，使鋼廠對規模化投資時更顯得猶豫。

(3) 既有設備更新成本高昂，鋼鐵業轉型不易

高額的前期投資造成鋼鐵產業不易改變生產系統，因更新實體設備與相應耗材需時長，改變投入原材料和供應鏈的成本高且困難。由於鋼鐵業具有高度的路徑依賴性，對於降低需求或採用新技術的調整速度較慢。對應到當前市場需求減少的背景下，可能導致企業降低鋼鐵價格或產能利用

率，進而增加收回投資所需的時間。根據國際能源署(IEA)估計，高排放煉鋼資產退出率若未較歷史水準提高，預期到 2050 年淘汰的資產數量將無法提供鋼鐵行業所需的減排量。

在高昂的成本限制下，鋼鐵生產路徑低碳轉型進展緩慢。雖然 2024 年中國未批准任何新的煤基鋼鐵項目，並新增 710 萬噸電爐(EAF)產能，且日、韓及歐盟等地區主流鋼廠，也都已選擇部分高爐關停，轉往新建電爐生產。不過現階段全球鋼廠仍主要依賴高碳排放的高爐-轉爐(BF-BOF)生產路徑，比如中國的高爐-轉爐佔鋼鐵產能的 90%，而電爐僅佔 10%，遠低於全球平均的 30%。此外，對於廢鋼回收率較低的國家（如：中國），其電爐策略亦存在原料供應穩定性的問題。

(4) 低碳製程運行成本相對較高

低碳技術的建設和運行成本遠高於傳統高爐技術，例如，H₂-DRI-EAF 路徑的建設成本比高爐-轉爐系統高出 30%，這對財務狀況本已緊張的鋼鐵業構成巨大挑戰。設備需求與建置成本雖因技術而異，而各國鋼廠也配合自身地理位置、天然資源等條件選擇使用技術，例如：歐洲鋼廠逐步採用氫基直接還原鐵(DRI)技術，美國則更偏向電爐技術。然而，共通的問題在於氫技術的高成本、供應不足、基礎設施升級、原料與高漲的能源價格等，已成為當前主要挑戰。

預期歐盟在 2026 年實施碳邊境調整機制(CBAM)後，綠色技術的投資壓力將進一步加劇，包含能源成本上升可能導致生產成本占比超過 40%、可再生能源成本居高不下等，將迫使鋼廠須採取更靈活的策略以應對價格壓力。

2. 市場需求放緩，綠鋼接受度偏低

(1) 未來鋼材需求增加幅度緩降

根據國際能源署(IEA)數據，**預測鋼材需求從 2019 年到 2050 年僅會增長 10%**，增長率相比過往大幅降緩。主因為先進經濟體的鋼材需求下降與材料效率的大幅提升，同時新興經濟體也日益成熟，對基礎設施投資與建設的需求也將降低，種種因素抵消，降緩了全球鋼材需求的增長。其中能源基礎建設的鋼材需求預期將增加，而運輸和建築的需求則都將下降。

(2) 綠色鋼材溢價阻礙普及

綠色鋼材因產品低排放而具環保優勢，但高達 20-40%的溢價成為普及化的阻礙，走在最前頭的企業可能直面因成本帶來的競爭力下降，雖然有下游行業已開始採購低碳排鋼，但整體市場需求仍不足以支撐鋼廠對低碳技術的大規模投資。

以克里夫蘭-克里夫斯公司為例，儘管該公司已有能力生產碳排放量極低的鋼材，但卻無法說服客戶支付更高價格購買，以彌補其生產更環保鋼材所花的額外成本，種種阻礙也讓該公司考慮放棄或推遲其原先規劃的部份減碳專案。

3. 政策驅動力不足

(1) 各國氣候政策驅動力差異

中國提出到 2025 年將電爐產能比例提升至 15%，並計劃推動鋼廠的碳減排，但這一比例與全球平均 30%的水準仍有顯著差距，也**缺乏更具強制性的國內和國際政策**，考量中國鋼廠的總產量，將使其他鋼廠在技術投資和減碳行動中面臨更多不確定性。

(2) 碳洩漏問題難以克服

在全球碳排標準不一致的情況下，也可能在國際間造成「碳洩漏 (Carbon Leaking)」現象，指某國實施溫室氣體管制後，可能導致其產業外移至其他碳管制較為寬鬆國家，生產基地轉移至價格較低、標準較低的國家，反而增加另一國排碳量，無益於全球淨零目標。

為減緩國際間「碳洩漏」現象，預先防範已成為重要議題，以歐盟的碳邊境調整機制(CBAM)為例，透過對進口高碳排放產品徵稅，來平衡歐盟內外高碳產品的碳成本。然而，CBAM 雖然促進部分低碳排鋼材的需求，但其覆蓋範圍與執行力度仍顯不足，無法完全改變市場結構。

(3) 政府補貼仍不足以平衡成本

從各國推出的政策，可發現其立場均傾向推動減碳措施以呼應巴黎協定，例如美國提出的《通膨削減法案》(Inflation Reduction Act IRA)、日本的《綠色轉型促進法案》等，鼓勵再生能源與碳捕捉產業發展或給予企業減碳專案基金補貼，**不過仍有部分鋼廠因嚴峻的經濟壓力，寧可放棄補貼也要放棄或推遲其原先的減碳專案，例如克里夫蘭鋼廠、安賽樂米塔爾與蒂森克虜伯等。**

(4) 缺乏驅動下游採用綠鋼的機制

目前的低碳政策除了對鋼廠施加碳稅外，**並無強烈驅動下游採用綠鋼的機制**，導致市場對綠色溢價的接受度偏低，鋼廠亦難以推動，因此出現先進鋼廠雖積極發展低碳技術，卻遲遲不敢大規模實施的情況。為此，應呼籲政府協調上下游取得共識，從政策面驅動市場平衡，例如**歐美鋼廠與車廠聯名呼籲歐盟以行政措施推行綠鋼技術。**

4. 綠能產業發展面臨多重挑戰

(1) 新舊進入者的拉鋸戰

可再生能源的拉動效應為低收入國家提供了發展自身鋼鐵產業的機會，但也可能推動「舊」鋼鐵製造商與「新」鋼鐵製造商之間的摩擦，**擁有既有價值鏈的舊鋼鐵製造國將希望保留其產業，而新加入者則希望利用可再生能源擴大其生產**，這種動態有可能使得綠能產業規模化發展承壓。

(2) 天然資源與投資區域差異性

綠能產業因大多數技術仍未規模化或處於初期完成階段，在 IEA 的 Advancing Clean Energy Demonstration Projects 中提到主要的綠能產業包含浮動式海上風電、生物質能與 CCUS 以及小規模的潮汐能或太陽能技術等。其主要發展區域集中在資源較為豐富的歐洲與北美，特別是歐洲擁有豐沛的海上風力資源，且相關技術發展亦達一定成熟度，然而如何提高效能、降低成本以及大規模儲能技術成為核心議題。**受到資源限制，綠能產業發展區域受限，導致無法有效拓展**；此外，進入產業的投資門檻極高，在沒有政策的驅使下，難以取得穩定且長期的投資。

三、結語

鋼鐵行業目前市況低迷，鋼材需求和價格均處於歷史低位，市場對綠色溢價接受度不高，在生產成本回收不易的前提下，世界各大主流鋼廠陷入投資低碳技術導致的競爭力下降與全球低碳熱潮的博弈困境，並逐漸形成觀望他廠成果再決定後續作為的態勢，或是等待相關減碳技術或綠能產業成熟後再加入的想法。

目前主要鋼廠的低碳技術呈現「百花齊放，但未成大器」的狀態，各鋼廠甚至各區域均按其規劃或理論發展階段性技術，然受限於開發成本、市場需求、政策驅動力以及綠能產業等因素，尚未見規模化發展。總結說明與建議方案如下：

1. 技術推廣瓶頸與成本挑戰

當前氫能冶煉技術仍屬發展期，成熟度未達商業化要求，雖有 Midrex 等商業化還原技術，又衍生基礎建設、設施改造、技術運行及能源供應等成本問題，而碳捕捉與封存技術的長期效果未定，加上原料供應的穩定性，皆為鋼廠難以推動大型投資的障礙。

2. 市場需求放緩，綠鋼接受度偏低

由於先進經濟體鋼材需求下降及新興經濟體基礎建設投資減少，全球鋼材需求增幅趨緩，市場恐難產生大量需求，致使鋼廠競爭加劇。另下游對綠色溢價鋼材接受度不高，鋼廠不易推廣與發展綠鋼市場，亦為減碳技術難以規模化原因之一。

3. 政策驅動力不足：

全球在低碳轉型政策面上的驅動力現階段仍顯不足，除各國碳中和路徑不同外，產量居首的中國及產量持續增加的東南亞各國對碳中和之態度不明，加上碳洩漏的現象，若無政策輔助，將導致綠鋼去化不易，疊加成本大幅影響採取低碳技術鋼廠的競爭力。

4. 綠能產業發展面臨多重挑戰：

因天然資源與投資區域差異性，造成綠能產業發展過於集中，示範案轉移困難，成品如氫氣、再生能源又面臨運送困難等問題；而市場早/晚期進入者的拉鋸也造成新興綠能產業擴張不易、既有產業創新卡關的情況，使其無法有效規模化。

綜上所述，鋼廠減碳的規模化進程雖然面臨諸多挑戰，但透過多方層面的聯動，仍非常有機會實現鋼鐵產業向低碳轉型的目標。針對各項現況挑戰，綜合彙整建議方案如下表 4 所示。

表 4、鋼鐵業低碳發展現況挑戰與建議方案

	現況挑戰	綜合建議方案
技術瓶頸與 成本壓力	1. 減碳技術如氫基直接還原、CCUS 等，成熟度仍未達商業化要求，且面臨資源和基礎設施的限制。 2. 鋼鐵業生產系統更新實體設備與相應耗材需要很長的時間，改變投入原材料和供應鏈的投資成本高昂且困難。	1. 爭取同業或設備商之技術交流，多方合作進行，逐步導入低碳技術。 2. 鋼廠考量獲利情形，審視評估低碳轉型投資，並藉由官方補助或合作計畫等，逐步推動實體改造。
市場需求	全球鋼鐵需求降緩導致鋼鐵市場不景氣，其中溢價 20-40% 的綠色鋼材更加難以競爭。	推廣自身綠色鋼材品牌價值，並找尋同樣具備減碳目標之下游客戶(市場)，或配合其減碳目標需求，簽署綠鋼長期供應合作協議。
政策驅動	各國碳排標準與氣候政策驅動力差異，或將影響全球減碳推行力道，甚至可能在國際間造成「碳洩漏」現象。	透過各國對進口商品徵收碳稅，藉此使碳價格在不同市場之間趨於一致，比如歐盟的碳邊境調整機制(CBAM)。
綠能產業	低碳技術的運行成本高度依賴綠色電力，但可再生能源在許多地區的成本依然居高不下，也缺乏配套的基礎設施。	建議鋼廠布局全球，在資源豐富之地區進行技術投資或與當地供應商合作，以實現降低成本與穩定供應。

※國際鋼廠 DRI 策略發展動態

撰稿人 T41 鄭百傑、陳聖尹

一、前言

為滿足低碳趨勢，世界上許多主要鋼廠，已紛紛投入開發低碳轉型技術。研發重點的低碳製程，意在使高爐、電爐，或是其他小規模試驗流程，都盡可能減少使用含碳的還原劑，DRI 因其製程碳排放量極低（如配合綠氫將更低）成為鋼廠減碳的重要道路之一。其製程中的所有碳源，除了使用的還原劑，包含供給能源是否為綠能等，都是考量的重點。

二、鋼廠 DRI 發展現況

DRI 按照還原劑的種類不同，可分為氣基直接還原和煤基直接還原，目前全球以氣基直接還原為主流，產量比例約為 7:3，由 MIDREX 統計最新的數據，2023 年 DRI 製程以使用 MIDREX 佔大多數(圖 5)。氣基還原使用的氣體，可以是天然氣、氫氣、COG 等。當前實際生產作業中有近八成以天然氣為還原劑，煤基則因其碳排放量而相較弱勢。

2023 World DRI Production by Process

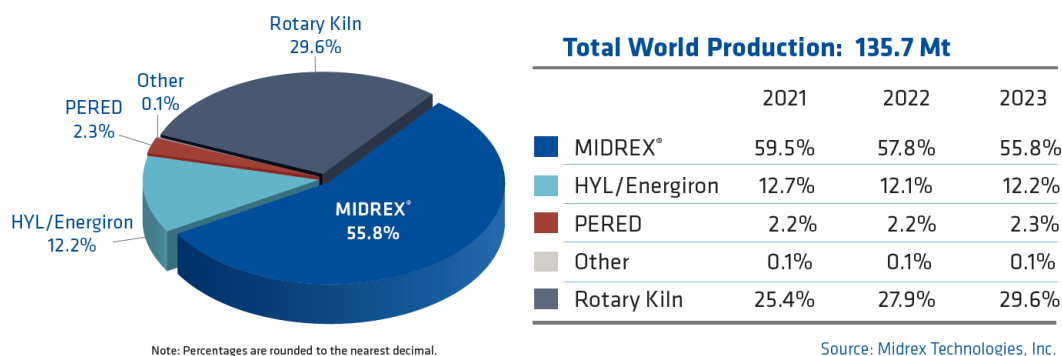


圖 5、2023 年全球 DRI 產量

本次彙整各國際鋼廠對於 DRI 發展的規劃，按其所在區域排列，介紹規劃重點，並綜整「產製技術」、「綠氫投資」、「鋼廠推進時程」趨勢如下。

1.產製技術：MIDREX 與 ENERGIRON 主導市場

由彙整資料可見，技術面上以 MIDREX、ENERGIRON 技術為主導，工廠規模主要落於 1~2.5 Mtpa (每年百萬噸)。而大部分鋼廠採用天然氣為主的還原氣體，並以 100%氫氣為目標，另有少數北歐新創公司(如 HYBRIT Development AB、Stegra)直接以 100%氫氣為研發重點。

2.還原氣體：目標以綠氫為主，歐洲偏好研發自有技術，亞洲仰賴政府居多

為有效降低碳排，綠色氫氣是各家鋼廠生產 DRI 的重點，然綠氫投資金額非鋼廠可獨立支撐，故多採合作模式進行。受限於自然環境，亞洲與歐洲鋼廠發展綠色的趨勢亦有不同，亞洲多仰賴政府主動，而歐洲則偏好各自建立自有的能源。例如日本新能源產業技術綜合開發機構(NEDO)提出數項綠能專案，包含降低離岸風力發電的成本、大規模氫供應鏈建立、再生能源電解製氫等。而歐盟資金與政策足以整體帶動各鋼廠朝著同一個方向聚集，卻因鋼鐵景氣影響導致鋼廠推動力度減緩，例如 ArcelorMittal、Cleveland-Cliffs 為了因應未來不確定的市場發展，部分 DRI 廠投資案將重新評估或暫緩。

此外，在綠色氫氣製程未達商業化之前，多數鋼廠均以天然氣作為過渡時期的還原氣體主力，雖然多數鋼廠均將氫氣作為最終的還原氣體，仍有如寶武、河鋼以及 Salzgitter 等廠因使用 ENERGIRON ZR 技術，而採用混合氣體（混合天然氣、氫氣與 COG 或混合氫氣與天然氣）作為還原氣體。

3.鋼廠推進時程：預計 2025 年末鋼廠本身 DRI 供給能力將往上提昇

綜整 25 家鋼廠的 DRI 開發計畫，其中包含 JFE, ArcelorMittal 以及日本製鐵等 5 廠均規劃於 2025 年完工，故預期在 2025 年末，鋼廠本身的 DRI 供給能力將向上提昇，而 2025 年也是多數鋼廠規劃完成的一年，如下圖 6 所示。

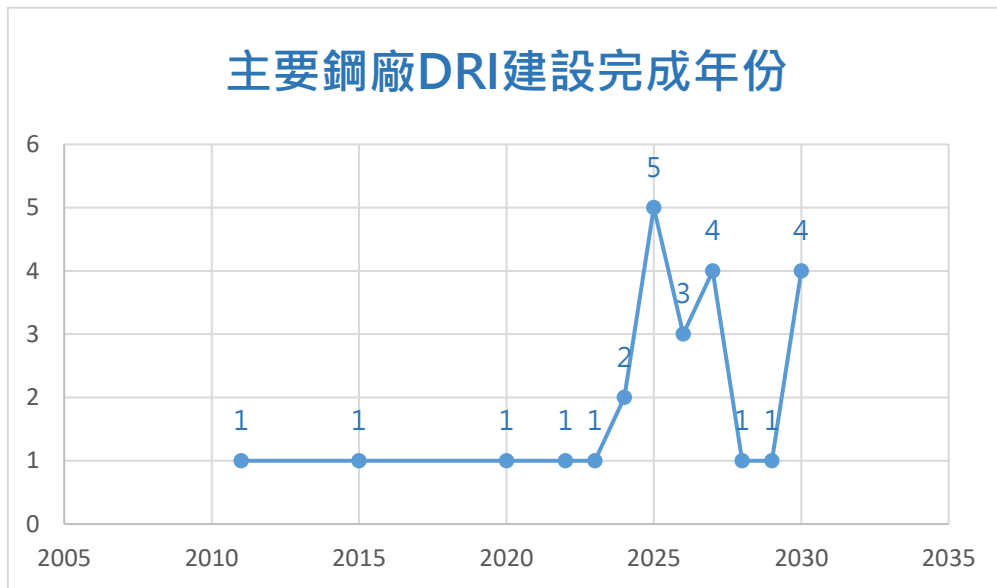


圖 6、主要鋼廠 DRI 建設完成年份

三、結論

綜觀全球鋼鐵業的低碳轉型路徑，直接還原鐵(DRI)製程無疑已成為各大鋼廠競逐的技術高地。從本文的彙整可見，儘管產製技術由 MIDREX 與 ENERGIRON 等成熟方案主導，但通往終極目標「綠氫煉鋼」的道路卻充滿挑戰。各區域在綠色能源的佈局策略上有所分歧，市場景氣的不確定性也為投資時程增添變數，使得多數鋼廠現階段仍需仰賴天然氣作為過渡期的主要燃料。

展望未來，2025 年末將是檢視這波轉型浪潮成果的關鍵節點。屆時，隨著多家指標性鋼廠的 DRI 產能陸續到位，全球的低碳鋼鐵供給能力勢將顯著提升。然而，這些新增的產能究竟是仰賴傳統的天然氣，還是能真正搭上綠氫供應的列車，不僅將決定此一輪減碳投資的實際成效，更將深刻影響下一階段全球鋼鐵產業的競爭格局。表 5 為各鋼廠之 DRI 計畫的內容與進程摘要。

表 5、各鋼廠 DRI 規劃與進程

鋼廠	DRI Mtpa	還原氣體	預計 年份	備註
KOBE Steel & Mitsui&Co. (Oman)	5	NG→H ₂	2027	工廠位於 Oman，使用 MIDREX 技術
JFE, Emirates Steel Arkan, ITOCHU	2.5	NG→H ₂	2025	生產 DRI 用於倉敷電爐
Nippon Steel	小型豎 爐(10 噸規模)	NG→H ₂	2024	於 Hasaki 研究中心進行試驗
POSCO	0.3	(25→100%)H ₂	2027	發展 HyREX 技術
寶鋼湛江鋼鐵	1	Mixed NG, H ₂ , COG	2022	ENERGIRON ZR 技術
河鋼集團	0.6	Mixed NG, H ₂ , COG	2023	ENERGIRON ZR 技術
ArcelorMittal Canada (Dofasco)	2.5	NG→H ₂	2028	ENERGIRON ZR 技術
Germany (Bremen & Eisenhuttenstadt)	3.5	NG→H ₂	2030	該項目暫停，因能源轉型慢於預期，且綠氫尚未成為可行性燃料
ArcelorMittal Germany (Hamburg)	0.1	NG→H ₂	2025	MIDREX 技術

鋼廠	DRI Mtpa	還原氣體	預計 年份	備註
ArcelorMittal France (Dunkirk)	2.5	NG→H ₂	2027	2024 年 11 月宣布 暫緩 DRI 廠投資計 畫
ArcelorMittal Belgium (Gent)	2.5	NG→H ₂	2026	該計畫採保留態 度
ArcelorMittal Spain (Gijon)	2.3	H ₂	2025	由於政治、市場及 能源市場發展不 利，以及綠色氫能 發展緩慢，宣布暫 緩該投資案
Thyssenkrupp	2.5	NG→H ₂	2026	對於 DRI 項目進 行根本性審查， 並評估成本
Stegra	2.5	H ₂	2025	MIDREX 技術，由 Thyssenkrupp nucera 供 應 700MW 電解槽生 產綠氫
SSAB	1.35	H ₂	2025	ENERGIRON 技 術，SSAB、LKAB、 Vattenfall 共同合 作HYBRIT 計畫
Salzgitter	2	Mixed NG, H ₂	2026	ENERGIRON ZR 技 術 ， 由 ANDRITZ 供 應 100MW 電解槽 生產綠氫

鋼廠	DRI Mtpa	還原氣體	預計 年份	備註
Liberty Steel Australia (Whyalla)	1.8	NG→H ₂	2027	南澳 Whyalla 250MW 氫能發 電廠計畫，可能 取消
Liberty Steel France (Dunkirk)	2	NG→H ₂	-	同時開發一座 1GW 電解製氫廠
Liberty Steel Romania (Galati)	4	NG→H ₂	2030	
Jindal Steel Oman (Sohar)	1.5	NG	2011	MIDREX 技術
Jindal Steel India (Angul)	1.8	NG	2015	MIDREX 技術
Jindal Steel Oman (Vulcan Green Steel)	2.5	NG→H ₂	2026	ENERGIRON ZR 技術
Tata Steel Netherlands	2.5	NG→H ₂	2030	ENERGIRON ZR 技術
Cleveland-Cliffs America (Toledo)	1.6	NG	2020	MIDREX 技術
Cleveland-Cliffs America (Middletown)	2.5	NG→H ₂	2029	2024 年 9 月考 慮放棄美國能源 部(DOE)補助之 5 億美元，並暫 緩此計畫
OMK	2.5	NG	2024	ENERGIRON 技 術

四、參考資料：

- 1.鋼鐵產業低碳製程技術發展趨勢，徐銘鏜，呂春福，李文錦，工業材料雜誌 446 期，p.37~49，2024/02

KOBELCO

- 2.<https://www.fastmarkets.com/insights/mitsui-kobe-steel-joint-venture/>

JFE

- 3.https://www.jfe-steel.co.jp/en/company/pdf/en_carbon-neutral-strategy_231108_1.pdf

Nippon steel

- 4.<https://www.nipponsteel.com/en/csr/env/warming/future.html>

POSCO

- 5.<https://newsroom.posco.com/en/posco-takes-a-significant-step-towards-realizing-the-dream-of-hydrogen-reduction-steelmaking-with-the-inauguration-of-its-development-center/>

寶鋼

- 6.<https://www.danielichina.cn/news/latest-news/new/117.html>

河鋼

- 7.<https://www.danielichina.cn/news/latest-news/new/84.html>

ArcelorMittal Dofasco

- 8.https://www.danieli.com/en/news-media/news/arcelormittal-relies-energiron-dri-technology_37_776.htm
- 9.<https://corporate.arcelormittal.com/media/press-releases/arcelormittal-breaks-ground-on-first-transformational-low-carbon-emissions-steelmaking-project>
- 10.<https://corporate.arcelormittal.com/media/press-releases/arcelormittal-decarbonisation-project-in-hamilton-canada-confirmed-with-the-announcement-of-a-cad-500m-investment-by-the-government-of-ontario#>

ArcelorMittal Bremen Eisenhüttenstadt

- 11.<https://corporate.arcelormittal.com/media/news-articles/arcelormittal-plans-major-investment-in-german-sites-to-accelerate-co2-emissions-reduction-strategy-and-leverage-the-hydrogen-grid>

12. <https://corporate.arcelormittal.com/media/news-articles/arcelormittal-europe-urges-faster-implementation-of-steel-and-metals-action-plan>

ArcelorMittal Hamburg

13. <https://corporate.arcelormittal.com/climate-action/decarbonisation-technologies/hamburg-h2-working-towards-the-production-of-zero-carbon-emissions-steel-with-hydrogen#>

ArcelorMittal Dunkirk

14. <https://corporate.arcelormittal.com/media/press-releases/arcelormittal-accelerates-its-decarbonisation-with-a-1-7-billion-investment-programme-in-france-supported-by-the-french-government#>

15. <https://gmkn.center/en/news/arcelormittal-confirms-suspension-of-plans-for-dri-plant-in-dunkirk/>

ArcelorMittal Gent

16. <https://corporate.arcelormittal.com/climate-action/decarbonisation-investment-plans/belgium-showcasing-the-full-spectrum-of-our-decarbonisation-technologies#>

17. <https://www.waterstofnet.eu/nl/nieuws/arcelormittal-delays-1-billion-investment-in-green-steel-in-ghent>

18. <https://www.belganewsagency.eu/arcelormittal-postpones-green-steel-project-in-dunkirk-ghent-investment-also-in-doubt>

ArcelorMittal Gijón

19. <https://eurometal.net/arcelormittal-to-construct-new-electric-arc-furnace-at-gijon-steel-plant/>

20. <https://eurometal.net/arcelormittal-suspends-final-investment-decision-on-spanish-dri/>

Thyssenkrupp

21. <https://www.midrex.com/press-release/thyssenkrupp-steel-selects-midrex-flex-for-immediate-co2-emissions-reduction/>

22. <https://www.euronews.com/business/2024/10/07/german-steel-company-thyssenkrupp-may-rethink-plans-for-green-steel>

Stegra

- 23.<https://gmkn.center/en/posts/h2-green-steel-a-startup-shaping-the-future-of-green-steel-industry/>
- 24.<https://stegra.com/news-and-stories/thyssenkrupp-nucera-and-h2-green-steel-partner-for-one-of-the-largest-electrolysis-plants-globally->

SSAB

- 25.<https://gmkn.center/en/news/lkab-selects-energiron-technology-for-dri-plant-in-sweden/>

Salzgitter

- 26. <https://www.andritz.com/newsroom-de/envrionmental-solutions/2025-02-20-salzgitter-group>

Liberty Steel Whyalla

- 27.<https://libertysteelgroup.com/liberty-successfully-completes-magnetite-testing-for-hydrogen-dri-eaf-production-in-whyalla/>

Liberty Steel Dunkirk

- 28.<https://libertysteelgroup.com/liberty-develop-hydrogen-steel-making-plant/>

Liberty Steel Galati

- 29.<https://libertysteelgroup.com/sustainability/liberty-galati-greensteel-transformation-plan/>

Jindal Steel Sohar & Angul, Cleveland-Cliffs Toledo

- 30. <https://www.midrex.com/about-midrex/midrex-plants-map/>

Vulcan Green Steel, Tata Steel Netherlands

- 31.https://www.energiron.com/sites/default/files/documents/ENERGIRON_Complete_referencelist%20%281%29%20%281%29.pdf

Cleveland-Cliffs Middletown

- 32.<https://www.clevelandcliffs.com/news/news-releases/detail/652/cleveland-cliffs-reaffirms-commitment-to-middletown-works>
- 33.<https://www.canarymedia.com/articles/green-steel/big-green-steel-project-in-ohio-is-on-again-after-ceo-waffles>

OMK

- 34.<https://www.spglobal.com/commodity-insights/en/news-research/latest-news/metals/090220-omk-to-build-complex-to-make-steel-in-dri-pellet-fed-electric-arc-furnace>