



鋼廠動態

1. 全球鋼鐵減碳政策與鋼廠動態解析：日韓歐企業與政府加速轉型，台灣尚待政策引導 1
2. 歐盟推出多項舉措優化鋼鐵業發展 4
3. 國際合作幫助工業綠色轉型 5
4. 中國發布鋼鐵業碳權市場交易政策，推動綠色轉型 6
5. 日本鋼鐵界啟動氫氨 CO₂ 儲槽材料聯合研究計畫 7
6. AM/NS 印度公司為綠色鋼鐵做好充分準備 8
7. 安賽樂米塔爾投資 7 億美元年減印度廠 150 萬噸碳排 9
8. 紐柯等美國鋼廠投資 Electra 清潔鋼鐵生產技術 10
9. 浦項製鐵和 LG 化學參與韓國大型 CCU 專案 11

技術/生產資訊

1. 循環煤氣參數對氧氣高爐冶煉行為的影響 12
2. 工業化生物質水熱炭高爐混煤燃燒性能研究 13
3. 使用低品位 DRI 的熔爐-轉爐製程 14
4. 應用富氧燃燒技術幫助鋼廠減碳 16
5. Tenova 和 Coolbrook 合作零碳之金屬加熱製程 17

技術專欄

※主要鋼廠廢鋼應用技術與產品動態

18

1. 全球鋼鐵減碳政策與鋼廠動態解析：日韓歐企業與政府加速轉型，台灣尚待政策引導

自 2024 年底至 2025 年第 1 季，主要鋼鐵生產地區與國家均在低碳轉型上有重要的政策推進。與此同時，台灣製造部門亦在 2025 年初啟動討論減碳旗艦計畫，宣示將加速製造業的低碳轉型。如何在強化國際競爭力的同時，落實低碳永續承諾，將成為台灣鋼鐵產業不可迴避的重要課題。

(1) 日本加速邁向大型電爐生產高品質鋼品目標

近期日本製鐵與 JFE 透過申請日本綠色轉型(GX)促進法中的能源及製造工序轉型支援事業補助，以在低碳鋼鐵製程投資上進行更廣泛的布局。

日本製鐵預計將九州八幡地區高爐轉換為大型電弧爐，擴大瀨戶內工廠廣畑地區的電弧爐，並恢復山口工廠的電弧爐運行。日鐵的大型電爐計畫目標為可生產與傳統高爐製程相當產能與品質的鋼鐵，以實現在 2030-2050 年之間逐步淘汰所有既有高爐的目標。

JFE 則獲得 1,045 億日圓 (約新台幣 216.6 億元) 補助，預計在西日本工廠 (倉敷地區) 同樣建設大型電弧爐鋼廠，總投資金額 3,294 億日圓 (約新台幣 682.6 億元)，預計產能每年 200 萬噸，2029 年開始營運。JFE 的目標是設立世界上最大的電弧爐，並成為第一個由大型電弧爐生產電磁鋼板和高張力鋼板等高性能鋼產的公司。

今年初日本政府 GX 鋼鐵業小組針對鋼鐵 CFP(產品碳足跡)進行認定研究，參酌生產、需求兩端提出建立綠色鋼材的市場機制，包括制定價格機制、認證制度等，以促進綠色鋼材的普及與應用，亦針對綠色鋼材需求建立提出時間軸規劃，此舉可視為日本在國家層級已啟動針對綠鋼標準以及產業應用的實際討論。

(2)浦項 HBI、綠氫等低碳料源開發取得進展

浦項在中短期內計劃透過擴大使用低碳料源 (包含 HBI)，最終透過 HyREX 技術(H_2 -DRI)實現碳中和。浦項與澳洲黑德蘭港鐵礦聯合發起建造生產 HBI 項目將分為 6 個階段，每個階段生產 200 萬噸 HBI，最終預計每年生產 1,200 萬噸。目前計畫內容將以液化天然氣 (LNG) 用於 HBI 生產的還原過程，未來計劃過渡到綠氫。浦項同步部屬綠氫的來源的開發，2023 年與阿曼簽定為期 47 年的合約建造綠氫生產工廠，總投資規模為 70 億美元(約新台幣 2,267.7 億元)，預計將生產 5,000MW 的氫能。

近年韓國政府在低碳鋼發展亦在政策策略面與補助上執行許多措施，貿易、工業和能源部在 2023 年宣布了「鋼鐵業低碳煉鋼轉型發展策略」，並與浦項等七家主要鋼廠成立聯盟，啟動價值 1500 億韓元 (約新台幣 32.65 億元) 的低碳鋼鐵轉型基金。另外承諾在 2023 至 2025 年間投入 269 億韓元(新台幣 5.85 億元)，用於開發關鍵淨零技術，特別是氫基直接還原鐵(H_2 -DRI)技術。在浦項氫能煉鋼的研發計畫上，韓國政府已透過一系列的投資促進與稅務措施作為政策輔助。

(3)歐盟鋼鐵行動計畫全面強化產業競爭力

歐洲鋼鐵業近年面臨中國傾銷與美國關稅戰前後夾擊，加上俄烏戰爭導致的能源價格飆升，使得企業在低碳轉型面臨更大壓力。歐盟在年初所推出的「鋼鐵與金屬行動計畫」(Steel and Metal Action Plan) 則在這波亂流中提供一些指引，本案主要關注 6 大面向：

- a.確保金屬產業獲取潔淨且可負擔之能源；
- b.防止碳洩漏；
- c.促進及保護歐洲產業量能 (主要透過修訂貿易規則)；
- d.促進金屬循環回收；

- e.保護高品質之產業就業；
- f.透過市場創新與公共支持降低去碳化計畫的風險。

以第 6 點為例，自 2022 年起迄今歐盟已批准 10 個鋼鐵脫碳計畫，總額達近 90 億歐元(約新台幣 3,048.7 億元)資金補助，並且進一步簡化及加速鋼鐵研究的投資，在本年度也將啟動一項 10 億歐元的試點招標，支持工業電氣化。另外是基於市場端的低碳鋼品需求建構，行動計畫亦表明在將提議引入彈性和永續標準，這些標準可能會應用於歐盟預算、公共採購，並擴及鋼鐵與金屬下游產品。並將以碳排放交易系統 (ETS) 數據，並以碳邊境調整機制 (CBAM) 的方法論為基礎，制定工業產品碳強度的自願性標籤。

(4)台灣鋼鐵去碳化仍待上位政策引導

日本的綠鋼製造連結電動車補助、低碳鋼標準建立、公共低碳採購準則等都是低碳市場需求端訊號建立的措施。而台灣在需求端的市場相較於歐、日、韓缺少汽車產業，以金屬製造 (螺絲、扣件) 與營造為主，更須因應這些不同產業擬定低碳鋼需求建立的策略。

台灣在 2025 年 1 月國家氣候變遷對策委員會中，由 6 大部門提出減碳行動計畫，鋼鐵業由中鋼提出減碳旗艦計畫，當中已將「高爐使用低碳原料」、「高爐噴吹富氫氣體」納入減碳措施，然尚無各類技術具體發展時程規劃。

低碳煉鋼技術的發展並非一蹴可幾，目前仍未見以政府部門為主導的國家級鋼鐵業去碳化政策策略，除了難以連結例如氫能、碳捕捉與封存 (CCS) 等低碳鋼鐵技術之基礎設施的規劃，對於經濟工具引入與低碳市場建構也存在不足與延宕等問題。

期盼台灣政府未來能進一步提出整合性工業淨零轉型政策，尤應公開具體說

明石化、鋼鐵、半導體業的階段性減碳目標、轉型路徑、量化檢核指標、監督機制。相關部會應參酌國際研究與實務經驗，針對「生產端」及「需求端」設計可加速重工業深度減碳的各類政策工具，並強化綠色金融/轉型金融等政策，有效引導私部門資金挹注近零排放創新工業製程的開發。

(摘自：台灣氣候行動網絡研究中心 2025-05-28)

2. 歐盟推出多項舉措優化鋼鐵業發展

歐盟委員會於今年 2 月 26 日發布「清潔工業協議」，聚焦能源密集型產業與清潔技術領域，目標加速去碳化並確保製造業扎根歐洲。協議短期內將籌集逾 1000 億歐元(3.4 兆新台幣)支持歐盟本土清潔製造業，並規劃 2026 年通過《循環經濟法》，於 2030 年實現 24%材料循環利用。根據「工業脫碳加速器法案」，歐盟將自 2025 年推出自願性碳強度標籤，首階段適用鋼鐵業，後續擴及水泥業，標籤設計將整合排放交易系統(ETS)數據與碳邊境調節機制(CBAM)方法論，協助企業透過標籤差異化獲得激勵措施。

針對 CBAM 機制，歐委會同步提案調整碳定價證書銷售時程至 2027 年 2 月，並將豁免門檻提高至 50 噸以下，此舉免除約 182,000 家進口商(占總量 90%)義務，但仍涵蓋 99%排放量，旨在減輕行政負擔同時維持環境效益。此外，歐盟將建立鋼鐵戰略對話機制，制定「鋼鐵及金屬專項行動計劃」，預計於上半年啟動，重點解決能源成本、原材料供應與國際競爭壓力。

(摘自：世界金屬導報 N.2709 2025-03-04)

3. 國際合作幫助工業綠色轉型

碳中和發展成為現代產業趨勢，多數先進國家政府已透過政策規範或資金補助等方式推動工業綠色轉型。然而，若範圍擴大到全球，可發現整體工業脫碳投資水準仍明顯不足，到 2030 年至少需要在現基礎上增加三到五倍。因此，全球國際合作勢在必行，如推動跨境產品標準一致性、共同淨零目標及分享創新技術。

針對跨境合作，國際可再生能源機構(IRENA)提出幾項具體建議：

- (1)統一排放標準，並提升計算方法透明度；
- (2)結合氣候與貿易，創造低碳排產品需求；
- (3)協調研發投資夥伴關係，鼓勵知識與技術轉移；
- (4)國家帶頭降低投資風險與減少成本；
- (5)重視亞、非、南美等發展中國家工業需求的迅速增長。

隨著各國認知到為工業脫碳建立更有效的國際合作機制的重要性，目前已有初步合作跡象，資訊整理如下表 1。

表 1、脫碳國際合作聯盟與倡議資訊

類別	聯盟或倡議	成員	說明
標準、創造需求與知識共享的合作夥伴關係	工業深度脫碳倡議(IDDI)	由九個國家組成的聯盟	本聯盟隸屬聯合國工業發展組織(UNIDO)，致力於透過制定全球統一的標準來鼓勵低碳工業產品採購。
	先行者聯盟(First Moves Coalition)	匯集有影響力的大企業	每年採購數十億美元的低碳排產品，利用集體購買力幫助工業脫碳。
	工業轉型領導小組(LeadIT)	由瑞典和印度領導，匯集數個國家及公司	追蹤成員國之脫碳路線圖，並指導其他國家制定自己的路線圖。

類別	聯盟或倡議	成員	說明
技術和財務援助倡議	氣候俱樂部 (Climate)	由國際能源署 (IEA) 和經濟合作與發展組織 (OECD) 領導，涵蓋 42 個成員國	為成員國提供全球配對平台，以更好地獲得加速工業脫碳所需的技術和財務援助。
	公正能源夥伴關係 (JEPT)	亞、非等國家	本聯盟是提供資金、支持技術轉型和工人再培訓的財務方案。然而，因優惠和資金贈款不足及高行政負擔等因素，進展緩慢。
氣候導向的貿易協定	全球可持續鋼鋁協議 (GASSA)	由美、歐提出	這是一項增加兩個地區綠色鋼鋁貿易的提案，內容包含對高排放產品及生產過剩地區進口產品徵收聯合關稅。然而，因協議談判陷入僵局，短期內仍無法推行。
	碳邊境調節機制 (CBAM)	歐盟成員國及與歐盟貿易者	歐盟的碳邊境調節是全球唯一正在實施的，旨在對碳密集型進口產品隱含的碳排放徵稅，以避免碳洩漏。

(摘自：世界金屬導報 N.2709 2025-03-04)

4. 中國發布鋼鐵業碳權市場交易政策，推動綠色轉型

2025 年 3 月，中國生態環境部發布「中國碳排放權交易市場覆蓋水泥、鋼鐵、電解鋁業工作計畫」，正式將鋼鐵業納入碳市場。對此，中國鋼鐵工業

協會向中國鋼鐵企業提出三項核心建議：

(1) 將參與碳市場視為企業生存與發展的必要戰略：碳市場正成為全球推動低碳轉型的重要政策工具，歐盟、美國、印度等多國正加快碳市場建設，中國鋼鐵企業高層必須提升相關戰略意識，積極參與政策轉型。

(2) 正確認識鋼鐵行業進入碳市場所面臨的挑戰：鋼鐵生產過程更為複雜，碳排放資料龐雜且統計難度高，目前多數鋼企碳數據統計、會計標準與器具管理仍不完善，與碳市場要求仍有明顯落差。為此，中國政府設計「過渡期+深化期」的兩階段政策，2024 至 2026 年為適應期，給予企業緩衝與提升空間。鋼鐵業應充分利用過渡期，加強碳資產管理人才培養、精準報告碳排放數據、積極參與市場交易，並加快節能減碳技術升級與設備更新，佈局低碳冶金工藝，為未來激烈的市場競爭奠定基礎。

(3) 善用中國鋼鐵工業協會推出的「鋼鐵低碳服務平臺」：透過平臺提供的數據對標、碳資產管理與資訊公示功能，加快全行業的對標學習與轉型升級。該平臺已吸引 110 多家企業註冊、70 多家上傳碳排放報告，並具備政策、資訊、核算與技術服務等功能模組，未來將擴展碳市場與標準服務。

(摘自：SNN 環宇新聞網 2025-04-15)

5. 日本鋼鐵界啟動氫氨 CO₂ 儲槽材料聯合研究計畫

日本東京大學攜手 16 個企業與機構，共同啟動聯合研究計畫「未來能源基礎設施支撐材料 (Materials for Future Energy Infrastructure Trust, MEIT)」，將研發支撐氫、氨及二氧化碳等新型能源系統所需的關鍵材料與標準。參與單位涵蓋日本製鐵、JFE、神戶製鋼、川崎重工、三菱重工等重工業龍頭，以及東京燃

氣、INPEX、ENEOS 等能源企業，展現出產學研跨領域的高度整合。

隨著能源基礎設施轉型，新系統如液氫罐、液氨罐、CO₂儲槽及高壓 CO₂管道日益普及，對材料的可靠性與長期安全性提出更高要求。MEIT 計畫核心在於制定材料選擇、省略焊後熱處理、斷裂防止等標準，不僅有助於降低建設成本，更期望藉由標準化推動技術國際化，增強日本在全球低碳基礎設施市場的競爭力。

本研究計畫聚焦四大主題如下：

- (1) 針對大型液化氨儲槽的斷裂評估技術與防止應力腐蝕開裂的標準建立；
- (2) 開發可省略焊後熱處理的大型液化 CO₂儲槽相關標準；
- (3) 針對 CCS 項目的高壓 CO₂管道建立快速斷裂防治標準；
- (4) 提升大型液態氫儲槽所需的不銹鋼與低鎳鋼等新材料的可靠性與評估技術。

計畫執行期間為 2025 年 5 月至 2030 年 4 月，由日本製鐵、神戶製鋼、JFE 鋼鐵及日本海事協會(ClassNK)主導，所有研究經費由參與機構共同分擔，實現產學間跨領域資源整合與技術合作。透過此計畫，研究人員得以跨越單一技術領域的限制，結合工程、材料科學及標準制定等多方專長，全面解決碳中和基礎設施發展所面臨的材料與技術挑戰。

(摘自：SNN 環宇鋼鐵網 2025-05-22、東京大學 2025-05-19)

6. AM/NS 印度公司為綠色鋼鐵做好充分準備

安賽米塔爾日本製鐵印度公司 (AM/NS India) 近年進行的永續行動，目的在於確保公司可交付相當大比例的綠色鋼鐵，以及符合印度新的綠色鋼鐵分類，該分類預計於 2026~2027 年推出，預期該公司將成為第一家獲得三星評級的鋼鐵公司。

印度鋼鐵部所制定的分類中，綠色鋼鐵是根據生產鋼鐵廠的排放強度進行分類，為了符合條件，二氧化碳當量 (CO₂e) 排放強度必須低於每噸成品鋼 (tfs) 2.2 噸二氧化碳當量。排放强度高於該設定值的鋼廠將沒有資格獲得綠色評級，而低於該設定值的鋼鐵將按照三級系統進行評級：三星 (2.0~2.2tCO₂e/tfs)、四星 (1.6~2.0tCO₂e/tfs) 或五星 (<1.6tCO₂e/tfs) 綠色鋼鐵。

AM/NS India 有信心在規定內，並在未來幾年於此基礎上進一步發展。該公司在 2023 財年二氧化碳排放強度為 2.17tCO₂/tcs，比全國平均低 14%，並計劃到 2030 年將碳排放強度降低至 1.8tCO₂/tcs。目前公司 65% 的鋼鐵產能來源為使用天然氣的直接還原鐵 (DRI)，中短期內公司將透過幾項次策略來進行更永續生產，包含 AM Green Energy 在 Kurnool 進行抽水儲能，為 AM/NS India 位於 Hazira 鋼廠發電；位於 Khopoli 的一座廢料處理廠已投入營運，加強再生材料的使用等。

(摘自：AM/NS India2025-04-16、Ministry of Steel, India2025-04-16)

7. 安賽樂米塔爾投資 7 億美元年減印度廠 150 萬噸碳排

安賽樂米塔爾位於印度安德拉邦的 1GW 太陽能和風能混合可再生能源專案，由其全資子公司 AM Green Energy 開發建造，總耗資 7 億美元 (約 211.9 億新台幣)。此專案結合太陽能與風力發電，並配合第三方水力抽蓄儲能系統 (預計 2025 年 6 月投運)，確保至少可提供 250MW 的全天候穩定電力。預計可滿足 ArcelorMittal 與日鐵合資的 AM/NS India 哈茲拉 (Hariza) 廠 20% 以上的能源需求，並減少 150 萬噸/年的二氧化碳排放量，協助 AM/NS India 達成 2030 年碳排強度降低 20% (以 2021 年基準) 的目標。

本專案建造的太陽能發電廠與風能發電廠分別占地 2,400 英畝與 700 英畝，

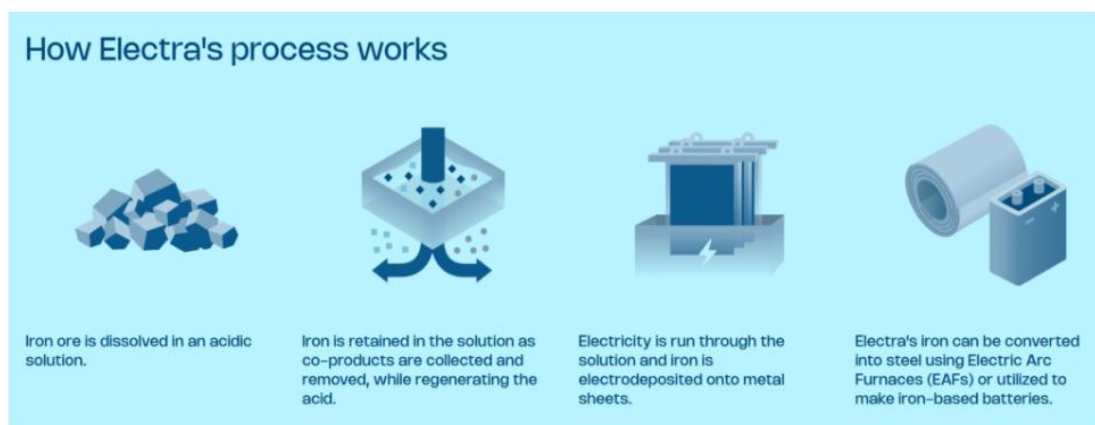
已全面開始運行，約 150 萬塊太陽能電池板和 91 台風力渦輪機，每年將產生 25 億 kWh 的電力。此為安賽樂米塔爾全球 2.3GW 可再生能源專案的一部分，該系列專案規劃在 2027 年底前全數建設完成。

(摘自：ArcelorMittal 2025-05-08)

8. 紐柯等美國鋼廠投資 Electra 清潔鋼鐵生產技術

為拓展低碳煉鐵技術，包括紐柯、Capricorn 和 Temasek 等眾多美國鋼廠或控股公司均參與 Electra 的集資案。Electra 是開發清潔鋼鐵技術的美國新創公司，其最新一輪集資案募得項款為 1.86 億美元(約 54.98 億新台幣)，使其募資的總金額增加到 2.14 億美元(約 63.24 億新台幣)，將計畫在 2029 年建造一個年產能為 500 噸的示範工廠，用於推廣其無碳煉鐵工藝。

Electra 在煉鐵過程中使用電力和可再生能源，而不是傳統煤炭煉鐵，流程更加環保。此外，Electra 專利技術不使用煤或高溫，而是將鐵礦石溶解、淨化，再用電力沉積出 99% 的純鐵。該技術可利用低品位礦石與再生能源，並能夠去除二氧化矽和氧化鋁等副產品，提升鐵的品質與資源利用效率，有效減少碳足跡，如圖 1。



Source: Electra

圖 1、Electra 煉鐵過程技術

(摘自：SteelOrbis2025-05-01、CarbonCredits.Com2025-05-01)

9. 浦項製鐵和 LG 化學參與韓國大型 CCU 專案

2025 年 5 月，浦項製鐵與 LG 化學兩家公司宣布將與韓國化學技術研究院及慶尚北道地方政府合作組成「鋼鐵行業 CCU 聯盟」，共同參與韓國科學技術信息通信部推進的「鋼鐵行業二氧化碳捕捉利用國家專案」。

該聯盟將從煉鋼過程產生的副產品氣體，捕捉二氧化碳並利用其生產含有一氧化碳和氫氣的合成氣，目標是 2025 年完成初步可行性研究，並在 2026 年啟動示範計畫。

浦項製鐵將提供場地和副產品氣體，並參與開發減少煉鋼製程碳排的技術；LG 化學則負責驗證將二氧化碳和甲烷轉化為一氧化碳和氫氣的「甲烷乾重整」技術。

(摘自：首爾新聞 2025-05-08)

1. 循環煤氣參數對氧氣高爐冶煉行為的影響

氧氣高爐工藝因其低碳耗、高生產率的特點受到廣泛關注。其技術的特點是風口處部分或全部使用常溫氧氣代替熱風，同時吹入大量煤粉。然而氧氣高爐也有理論燃燒溫度過高，爐缸煤氣量減少，爐身熱量不足等問題，歷年已有研究人員進行探討。歐盟的高爐頂部煤氣循環 (TGR-BF) 工業試驗，以及寶武近年擴大試驗規模的富氫碳循環氧氣高爐(HyCROF)均證明了氧氣高爐的可行性和優勢。

本論文深入探討循環煤氣參數對氧氣高爐冶煉行為的影響。目前大多數相關研究偏向純理論分析，較少結合工業數據。本文基於機器學習的預測數學模型，結合實際高爐生產數據和真空變壓吸附(VPSA)的工業試驗結果，對此進行了深入探討。本文考慮的氧氣高爐工藝流程特點如下：

- (1) 缸風口噴吹常溫氧氣和煤粉，氧氣體積分數為 98%；
- (2) 另設一排爐缸風口，爐頂煤氣經 VPSA 後從該風口噴入；
- (3) 爐缸循環煤氣溫度可調節。

模型控制方程包括物質平衡方程、能量平衡方程和間接還原度方程。高爐煤氣中約含有體積分數 20%的 CO_2 壓力高達 200~300kPa，使用 VPSA 對煤氣中的 CO_2 進行捕集是一種有效的方法。本研究將經 VPSA 處理後的高濃度還原氣從爐缸風口噴入高爐，以彌補氧氣高爐爐身熱量不足。捕集到的 CO_2 含量較高的氣體可用於製備甲醇等化工產品。模型假設 VPSA 環節中 CO_2 脫除效率設定為 12%， H_2 脫除效率設定為 89%。

最終本研究得到結論如下：

- (1) 隨著循環煤氣溫度提高，碳素消耗和爐腹煤氣量降低，理論燃燒溫度和 CO 利用率提高，爐腹煤氣各組分體積分數變化較小。當循環煤氣溫度為 1200°C 時，碳素消耗降低 22.56 kg/t，CO 利用率提高 1%。

- (2) 未經預熱的煤氣噴入高爐會導致能耗升高。從熱量收支、高爐能耗及能量利用率來看，循環煤氣需要加熱到 900°C 以上。
- (3) 當循環煤氣溫度為 1200°C 時，提高循環煤氣量會使碳素消耗和理論燃燒溫度降低，CO 利用率先增加後減小。當循環煤氣量增加到 500 m³/t 時，碳素消耗降低 47.4 kg/t，理論燃燒溫度降低 230°C。
- (4) 當循環煤氣溫度和循環煤氣量一定時，降低 CO₂ 脫除效率會導致碳素消耗增加，理論燃燒溫度降低。當循環煤氣溫度為 1200°C、循環煤氣量大於 300 m³/t 且 CO₂ 脫除效率大於 80% 時，碳素消耗相比基準期降低。

(摘自：鋼鐵研究學報(CNKI)2025-04-15)

2. 工業化生物質水熱炭高爐混煤燃燒性能研究

生物質能是唯一的可再生碳源，中國將豐富的生物質資源應用於高爐冶煉視為實現鋼鐵工業減碳戰略目標的重要技術。與煤炭相比，生物質燃料具有灰分低、低硫和反應性能高的特點。生物質原料水分和揮發成分含量較高，一般需要透過提質才能夠作為煉鐵燃料使用。目前對生物質炭應用於高爐噴吹的研究大多集中於生物質熱解炭的製備以及熱解炭與煤粉混合搭配的使用，而對生物質水熱炭應用於高爐噴吹領域的研究較少。本文以工業化生產的 3 種生物質水熱炭為原料，從成分組成和高爐噴吹工藝性能系統探討了其應用於高爐噴吹的可行性，為高爐安全高效利用生物質能提供理論參考。

本文得到結論如下：

- (1) 生物質水熱炭化過程能夠有效脫除水溶性礦物元素，3 種工業化生產的生物質水熱炭都具有較低的鹼金屬含量，造紙污泥原料灰分含量高且主要為水溶性差的礦物元素種類，不適宜用於高爐噴吹。生物質水熱炭具

有較高的揮發分含量和較低的發熱值，可以作為煙煤的替代物用於高爐噴煤生產。

(2)生物質水熱炭均具有較低的著火點和強爆炸性，透過與無煙煤混合搭配使用可以有效提升生物質水熱炭應用於高爐噴吹的安全性，生物質水熱炭的配加比例低於 20%時，混煤樣品的著火點大於 319°C，無爆炸性，可滿足高爐噴吹燃料的安全性要求。

(3)生物質水熱炭的燃燒曲線相比無煙煤更靠近低溫區，顯示其燃燒性能優於無煙煤。透過混煤樣品燃燒曲線實驗值和理論值的對比發現，水熱炭的加入可以改善無煙煤的著火和燃盡性能。綜合來看，水熱炭化技術解決了生物質原料鹼金屬含量高難以應用於高爐冶煉的難題，透過生物質水熱炭與煤粉混合搭配使用可實現生物質低碳燃料在高爐冶煉的安全、高效應用。

(摘自：鋼鐵研究學報(CNKI) 2025-03-15)

3. 使用低品位 DRI 的熔爐-轉爐製程

本文介紹了投用低品位 DRI 的 DRI-熔爐-轉爐製程試驗，其與傳統高爐-轉爐技術路線比較如圖 2。目前直接還原 (DRI) 主要採用球結礦豎爐工藝，對於高品位鐵礦石，電爐是理想的熔煉設備。但對於脈石含量較高、品位較低的鐵礦石，則需要採用熔爐 (Smelter) 與轉爐 (BOF) 相結合之工藝。熔爐是一種電熔爐 (ESF)，主要透過電阻加熱和電刷電弧提供能量，其封閉式設計能維持還原性氣氛，避免熱直接還原鐵 (HDRI) 的再氧化，並產生富含一氧化碳的廢氣供生產過程使用。熔爐生產的金屬類似於高爐鐵水，而爐渣則類似於高爐渣，可應用於水泥工業。面對高品位鐵礦石供應有限且需求不斷增長的情況，熔爐可

處理更廣泛品位鐵礦石的能力，具有高生產率優勢，將顯著提升其商業潛力。

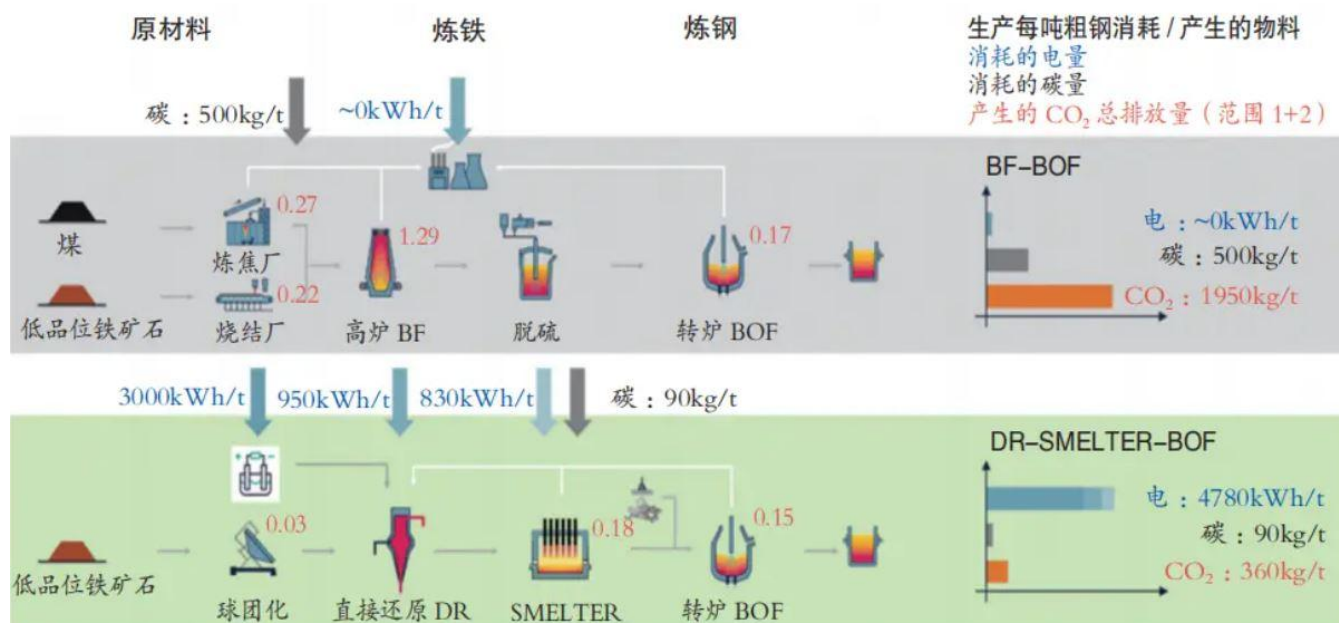


圖 2、傳統高爐-轉爐與 H2DRI-熔爐-轉爐技術路線比較

熔爐在設計上可分為圓形 (三電極) 和矩形 (六電極) 兩種，其產能受爐膛功率密度、最大電流密度和電極消耗率等因素限制。圓形熔爐的最大產能約為 60MW (年產 80 萬噸 DRI)，矩形熔爐約為 120MW (年產 160 萬噸 DRI)。矩形熔爐由於容量較大，更符合典型綜合鋼鐵廠的需求。為確保熔爐的穩定運作和長壽命，溫度曲線、熱通量、夾緊系統和耐火材料的性能十分重要。特別是沖刷區的耐火材料保護，需透過爐渣凍結層的形成來實現。

未來隨著技術的成熟，將會出現更多樣化的直接還原技術，例如普銳特公司 (Primetals Technologies) 正在開發的使用燒結礦的流化床 HyREX 和用於處理超細粉礦的流化床 HYFOR。這些技術將與電弧爐 (EAF) 或熔爐 (ESF) 結合，以適應不同品位鐵礦石的處理需求。普銳特與奧鋼聯和澳洲礦商福蒂斯庫 (FMG) 合作，評估建設結合 HYFOR 直接還原與熔爐的工業規模試驗工廠，並與浦項合作開發 HyREX 工藝下一代熔爐。最終目標是在 2027 年底前實現年產能 125 萬噸或更高的全工業熔爐的商業營運，以推動鋼鐵生產邁向永續發展。

(摘自：世界金屬導報 N.2706 2025-02-11)

4. 應用富氧燃燒技術幫助鋼廠減碳

鋼廠中許多工廠操作都使用空氣來燃燒燃料，而空氣中有 79% 是惰性氣體（幾乎全是氮氣）。這些氮氣在爐內被加熱，並隨煙道氣排放，造成能源浪費、燃料消耗以及 CO₂ 排放增加。此外，它還阻礙了燃燒產物的輻射傳熱。利用氧氣代替空氣（富氧燃燒）消除了氮氣，可帶來以下成果：

- (1) 減少 60% 的燃料消耗和 CO₂ 排放；
- (2) 煙氣量減少 75%；
- (3) 減排高達 90% 的 NO_x；
- (4) 提升產能增加；
- (5) 可在加熱操作中利用低熱量氣體；
- (6) 產生的煙氣量小且 CO₂ 濃度高，利於應用 CCUS 技術。

無焰富氧燃燒是富氧燃燒的進一步發展，其特色為：

- (1) 無火焰可見：燃燒過程在視覺上沒有明顯的火焰，或者肉眼難以察覺。
- (2) 體積燃燒：燃燒在時間和空間上得到延展，以較大的體積擴散開來。
- (3) 溫度均勻：燃燒區的溫度均勻且較低，與空氣-燃料燃燒的溫度接近，但能量密度與傳統富氧燃燒相同。
- (4) 降低 NO_x 排放：當煙氣混合到燃燒區時，在稀釋的氧氣濃度下進行燃燒，減緩了反應並降低了火焰溫度，使其低於熱 NO_x 的生成溫度。
- (5) 均勻加熱：將煙氣混合到火焰中，能將能量分散到整個容器或爐子中，達成更快、更均勻的加熱。
- (6) 助於 CCUS 應用：燃料消耗較低且燃燒過程中不含氮氣，可使煙氣量減少 75%-80%，有利於 CCUS 技術的應用。

林德公司自 2003 年起就開始應用無焰富氧燃燒技術，成功案例遍布

鋼鐵廠的加熱爐、退火爐、鋁和銅熔煉爐等。使用這項技術已證明可節省高達 65% 的能源，並使燃料和 CO₂ 排放減少 20%-50%。富氧燃燒技術是實現即時脫碳的解決方案，而且還能讓鋼鐵廠在氫燃料可行時順利過渡到使用氫燃料。鋼廠可改用富氧燃燒，以實現 20%-50% 的 CO₂ 減排，並準備在未來可以實現完全脫碳時開始使用綠色氫氣，實現進一步減碳。

(摘自：世界金屬導報 N.2708 2025-02-25)

5. Tenova 和 Coolbrook 合作零碳之金屬加熱製程

Tenova 與芬蘭公司 Coolbrook 合作，推動 Coolbrook 獨創的 RotoDynamic Heater™ (RDH™) 技術，聚焦於使用無二氧化碳的電力，取代鋼鐵與金屬產業的高溫製程中基於化石燃料的加熱。

RDH 技術結合火箭科學、渦輪機械與化學工程的原理，基於一個快速旋轉的軸，該軸連接到一系列的葉片上，類似燃氣渦輪機中使用的葉片。但它不是利用熱氣體推動渦輪機發電，而是反向運轉，利用電動馬達推動葉片產生熱氣體。隨著葉片旋轉，反應器中的氣體(可以是空氣、氮氣、二氧化碳、氫氣或其他氣體) 被混合併加速到非常高的速度，然後在擴散器中減速。氣體加熱透過兩種方式產生；透過強烈湍流產生的摩擦，以及透過氣體快速加速到超音速，然後減速到亞音速的衝擊波。

加熱後的氣體在外部使用，以取代加熱製程中化石燃料的燃燒。RDH 能夠產生超過 1000°C，甚至高達 1700°C 的溫度，為一些能源密集型工業操作的脫碳提供了獨特的解決方案。最初，合作專案將運用於 Tenova 再生酸系統中，並計畫擴展到更廣泛的工業領域，例如熱裂解高價值烯烴等。

(摘自：Tenova 2025-04-16、The Chemical Engineer 2023-10-02)

主要鋼廠廢鋼應用技術與產品動態

撰稿人 T41 余佳杭

為實現 2050 年碳中和目標，全球鋼鐵產業正積極推動各項減碳措施，以生產更環保的低排碳鋼材。其中，在原材料方面增加廢鋼之投用，是非常直接又有效的方案，受到世界主要鋼廠之重視。本次蒐集曾提及使用廢鋼熔煉技術之國際鋼廠，綜整其採用技術、相關產品與未來投資計畫，以利掌握當前國際動態。

從本次蒐集之 11 間鋼廠所採用的技術進行分類，發現共有 8 家鋼廠採電爐生產，僅首鋼、河鋼採轉爐投用廢鋼技術，且其轉爐廢鋼比均超過 50%，顯見電爐廢鋼製程係當前發展主流。特別是歐洲鋼廠因地理位置之故，多採再生能源電力，進一步降低整體碳排，如：SSAB、ArcelorMittal 與奧鋼聯；至於其他鋼廠則未說明電力能源的碳排如何處理。

電爐雖更適合實施大比例廢鋼投入作業，然就國際上仍以高爐-轉爐製程為主的情況下，轉爐投入廢鋼的作法更受到傳統長流程製程鋼廠的關注。以本次蒐集的河鋼與首鋼為例，在提高轉爐廢鋼比的操作過程中，兩間鋼廠均聚焦於爐內熱平衡與廢鋼熔融議題。爐內熱平衡多藉由調整鐵水與廢鋼量比例達成，而在完全熔融廢鋼部份，兩者作法稍有差異，其中河鋼設計專用吹氧槍噴頭並優化供氧機制，而首鋼則著眼於廢鋼尺寸控制，以下簡介兩家鋼廠之技術：

一、河鋼唐鋼：

透過分析廢鋼特性，在保持熱平衡的基礎上，調整轉爐廢鋼用量和加入時機。同時，為保障冶煉過程中廢鋼完全熔入鋼液，設計高廢鋼比專用吹氧槍噴頭，同時優化轉爐供氧制度，進而延長轉爐吹煉時間、提高轉爐底吹強度、延長熔池攪拌時間，最終實現廢鋼比達到 54.7%。

二、 首鋼京唐：

透過鐵鋼介面動態調整過程鐵量，佈局鐵水、廢鋼等資源配置，保障高廢鋼比冶煉中轉爐的熱量平衡和正常供鋼週期。積極研究轉爐工序的廢鋼加入途徑，開發小塊廢鋼試驗，以提高資源利用率和降低成本。面對廢鋼比提升帶來的入爐熱量虧損，採細化管理措施，精準調控各環節工藝參數，保障轉爐的穩定運行，已先後完成轉爐 40%、50%及 55%高廢鋼比生產。

綜上，在國際主要鋼廠應用廢鋼技術的發展動態，可見投資電爐是國際重要趨勢，然對於缺乏地利之便的亞洲鋼廠，電爐所需的電力與其相應的成本、碳排與穩定性等，將成為是否投資電爐的重要因素，未來將持續觀察投資電爐的鋼廠，其能源計畫發展動態。另按照本次蒐集資訊，發現國際鋼廠目前推動的廢鋼技術部份有以下三大趨勢：

- 一、 發展電爐+廢鋼技術是主流趨勢：電爐相比轉爐，更適合大比例投入廢鋼，世界大部分主要鋼廠如安賽樂米塔爾、浦項製鐵等，皆有新建電爐之計畫。
- 二、 配合再生能源進一步降低碳排：部分歐美鋼廠如 SSAB、紐柯，已採用「電爐+全廢鋼+再生能源」等生產方案，最大極限的降低碳排放，並推出零碳鋼產品。
- 三、 中國鋼廠已完成高廢鋼比的轉爐投用廢鋼技術：中國鋼廠正積極研究轉爐高廢鋼比生產工藝，如河鋼唐鋼與首鋼京唐，皆已具備 50%以上高廢鋼比批量生產之能力。

本次蒐集主要鋼廠近期廢鋼技術產品與投資計畫整理如表 2。

表 2、主要鋼廠近期之廢鋼技術產品與投資計畫

鋼廠	技術與產品資訊	近期投資計畫
SSAB	SSAB 零碳鋼產品以回收鋼為基礎，在以無化石電力和其他無化石燃料為動力的電爐中熔煉。	1. 於 Oxelösund 廠新建一座 190 噸電爐，能夠處理無化石直接還原鐵(DRI)或熱壓塊鐵(HBI)和廢鋼等原材料。 2. 將投資 45 億歐元(約 1,563 億新台幣)於 Luleå 廠建造年產 250 萬噸的無化石燃料小型鋼廠，計劃於 2028 年底投產。該廠將由兩座電爐以取代其舊的高爐生產系統，使用無化石直接還原鐵(DRI)和回收廢鋼生產。
安賽樂米 塔爾	與維斯塔斯合作開發一種採用 100%廢鋼生產的低排碳鋼，在比利時 Industeel Charleroi 廠的 100%風能電爐中熔化，排放強度可降低 66%。	1. 於西班牙希洪工廠投資 2.13 億歐元 (約 72.43 億新台幣) 建造新電爐，將以直接還原鐵(DRI)和廢鋼為原料，年產 110 萬噸低排碳鋼。 2. 於法國濱海福斯 (Fos-sur-Mer) 廠新建盛鋼桶精煉爐 (LF 爐)，投資額為 7,600 萬歐元(約 25.84 億新台幣)。該設施可做為加熱站，使廢鋼使用比例提升為先前的 5 倍，為該廠在 2025 年前減少 10%的鐵礦石使用量。

鋼廠	技術與產品資訊	近期投資計畫
奧鋼聯	在多納維茨廠生產高品質綠色線材，利用氫還原純鐵和廢鋼進行生產，並透過線材軋機進一步加工成滾動軸承鋼，具有特殊的硬度和耐磨性。	推動林茨和多納維茨兩座由綠電供應電爐的建造計畫，預期 2027 年將 CO2 排放量減少 30%。
塔塔鋼鐵	塔塔鋼鐵荷蘭公司推出新品牌「Zeremis® Recycled」，該產品生產原料中廢鋼占比達 30%，可同時滿足汽車、包裝和建築行業對低碳排放鋼鐵產品的需求。	
紐柯鋼鐵	生產採用「電爐+廢鋼」，實現極低的碳排放。	於西維吉尼亞州建設新板材廠，該廠包含 2 台 190 噸電爐，採用全廢鋼冶煉，預計耗資約 27 億美元（約 810 億新台幣），設計年產能為 300 萬噸。
浦項製鐵	採用全廢鋼電爐冶煉方式或廢鋼與高爐鐵水混合的冶煉方式生產鋼液，並利用電爐運行過程中產生的廢氣預熱廢鋼。	光陽廠正在建造一座年產 250 萬噸鋼的電爐，總投資預計為 6000 億韓元（約 130.8 億新台幣）。預計將於 2025 年年底完成建設，並於 2026 年投產。
現代鋼鐵	1. 推出品牌「HyECOsteel」，採用「Hy-Cube」技術，將廢鋼、鐵水和直接還原鐵，投入電爐生產，減碳量達 40%。	

鋼廠	技術與產品資訊	近期投資計畫
	2. 與現代工程與建築公司 (Hyundai E&C) 合作開發低排碳鋼筋和型鋼，這些鋼材由電爐以廢鋼為原料製成。	
寶鋼	推出品牌「BeyondECO」，採用多工位柔性廢鋼添加技術，實行高廢鋼比產品生產試驗。	寶鋼湛江新建鋼板廠，總投資約 45 億人民幣(約 203 億新台幣)，主要設備包括 1 座 220 噸電爐及相關配套設施。計畫於 2025 年底建成，預計年產量約 180 萬噸鋼板。該廠將以「氫基豎爐直接還原鐵」與「廢鋼」為主要原料，搭配綠電生產近零排碳扁鋼胚。
河鋼	1. 河鋼唐鋼開發高廢鋼比產品，長流程生產工藝廢鋼比達到 54.7%。 2. 河鋼邯鋼開發耐腐蝕冷軋高強鋼，採用「全板邊廢鋼+轉爐雙渣+雙脫硫+連鑄輕壓下」等工藝措施，確保成分滿足性能要求。	
首鋼	首鋼京唐先後順利完成轉爐 40%、50%與 55%高廢鋼比連澆生產，產品包含汽車板、鍍錫板、家電板、酸洗板、熱軋板等。	

鋼廠	技術與產品資訊	近期投資計畫
鞍鋼	推出品牌「Angreen」，包含汽車用連續退火冷軋鋼、冷軋熱鍍鋅鋼板及汽車用熱鍍鋅鋼板等產品，透過使用廢鋼結合電爐的冶煉方法，減少 30-61%的製程碳排放。	

四、參考資料

- [1] 西馬克集團為 SSAB 公司建造新電弧爐，實現無化石燃料鋼鐵生產
- [2] 瑞典 SSAB 將在 Luleå 以小型電爐工廠取代高爐
- [3] Vestas and ArcelorMittal collaborate on low-emission steel offering for wind turbines
- [4] ArcelorMittal Spain plans to start low-carbon steel production within two years
- [5] 安賽樂米塔爾法國濱海福斯廠啟用 LF 爐
- [6] greentec steel: landmark melting at voestalpine site Donawitz
- [7] 塔塔鋼鐵荷蘭公司生產原料中廢鋼占比達 30%的鋼鐵產品
- [8] 紐柯鋼鐵公司全廢鋼冶煉板材廠開建
- [9] 浦項鋼鐵公司開始在光陽廠建設電弧爐
- [10] 現代鋼鐵計畫減少建築材料排放的碳排放
- [11] 國內首個！寶鋼股份湛江鋼鐵零碳高等級薄鋼板工廠專案開工建設
- [12] 邯鋼研發出千兆級耐腐蝕冷軋高強鋼
- [13] 54.7%！全國領先 唐鋼高廢鋼比冶煉技術實現新突破
- [14] 首鋼京唐大廢鋼比煉鋼實現新突破
- [15] 首鋼京唐轉爐單工序大廢鋼比冶煉再次取得新突破
- [16] 鞍鋼集團正式發佈鞍鋼綠色低碳主品牌和《鞍鋼低碳排放鋼工藝路線圖》