



鋼廠動態

- | | |
|---------------------------------|----|
| 1. CBAM 推動亞洲五國碳定價機制與鋼鐵業減碳轉型 | 1 |
| 2. IEEFA：印度鋼廠脫碳承諾與實際行動存在落差 | 3 |
| 3. 日本政府擬增 200 萬噸高品位廢鋼產能 | 5 |
| 4. 神戶製鋼等三家公司開發 MOF 捕捉二氧化碳技術 | 5 |
| 5. 浦項採用蒂森克虜伯焦爐技術降低煉焦過程排碳 | 6 |
| 6. 浦項製鐵與 Electra 合作開發低碳煉鐵技術 | 6 |
| 7. 浦項雙軌脫碳轉型戰略仍面臨能源組合爭議 | 7 |
| 8. 現代-浦項合資在路易斯安那州建設直接還原廠 | 8 |
| 9. 安賽樂米塔爾將 2030 年減碳目標下調至 10% | 8 |
| 10. 塔塔鋼鐵與 SMS 集團將採用 EASyMelt 系統 | 9 |
| 11. 本鋼板材燒結機大煙道餘熱回收專案全面投運 | 10 |
| 12. 巴西 Gerdau 推出綠色鋼品系列 NewEco | 11 |

技術/生產資訊

- | | |
|----------------------------|----|
| 1. 寶鋼 HyRESP 鐵礦石氫還原電熔煉技術研究 | 12 |
| 2. 鞍鋼鮫魚圈綠電製氫冶金中試線全流程貫通 | 14 |
| 3. 氫氣加熱方式及數值模擬研究現狀 | 15 |
| 4. 氨煤混燃過程中煤粉顆粒燃燒特性研究 | 18 |

技術/生產資訊

5. 氫能利用現狀及其材料需求	19
6. 高碳排產業碳捕集技術應用現狀、挑戰與對策	21
7. 高爐富氫對高比例球結礦爐料軟熔滴落性能的影響	23
8. 低碳背景下盛銑桶烘烤補熱與加蓋保溫技術研究應用	24

技術專欄

※ArcelorMittal XCarb [®] 綠鋼技術布局與減碳解決方案分析	26
---	----

1. CBAM 推動亞洲五國碳定價機制與鋼鐵業減碳轉型

由環保組織 Carbon Market Watch 與 Sandbag 於 4 月發布的研究報告指出，在歐盟碳邊境調整機制 (CBAM) 壓力下，亞洲主要國家正加速建立碳定價體系。報告點名日本、韓國、越南、印尼與菲律賓五國，全面檢視碳市場發展現況，並強調真正風險不在 CBAM 本身，而在「未建立碳定價制度」所導致的資金外流，目前各國進展狀形如下：

- (1) **日本**以地方碳交易制度為基礎，2024 年啟動「綠色轉型 (GX)」全國 ETS(排放交易制度) 自願階段，預計 2026 年轉為強制體系，目前覆蓋約 60% 排放量。技術面上，日本主要鋼鐵業者正發展 Course50 計畫，嘗試在既有高爐流程中導入氫氣噴吹技術並結合碳捕捉與封存 (CCS) 設備。然而，考量到減碳潛力的限制，目前正加速將整合型高爐流程轉型為電爐 (EAF) 製程，近期預計將有 150 萬至 200 萬噸的產能轉向電爐。若鋼鐵產品改採直接還原鐵 (DRI) 與廢鋼混合投料的電爐製程，其排放強度可大幅降低，可在歐盟碳邊境調整機制 (CBAM) 下的每噸鋼鐵規費從 193 美元(約新台幣 6,086 元)驟降至更具競爭力的水準。
- (2) **韓國**擁有全球規模第三大的排放交易系統 (K-ETS)，覆蓋率高達 79%。該國減碳的技術亮點在於 POSCO 推動的 HyREX 氫氣還原煉鋼專案，該計畫預計於 2028 年進入試驗階段，並在 2035 年實現 250 萬噸的商業化產能。HyREX 技術利用氫氣生產直接還原鐵 (DRI)，預估噸鋼排放強度僅為 0.33。此外，南韓鋼鐵業正計畫提高的綠電供應比例，將使電爐製程的間接排放趨近於零。在技術轉型場景下，南韓鋼鐵出口至歐盟的總碳規費預計可從 6.19 億美元縮減至約 1.75 億美元(約新台幣 195.23 億縮減至 55.2 億元)，若配合國內碳定價達每噸 80 美元(約新台幣 2,522 元)，其淨規費負擔將進一步降至 5900 萬美元(約新台幣 15.6 億元)，展現極高的技術節能成效。

- (3) **越南**碳市場預計 2025 至 2028 年試行，2029 年正式運作，試點階段已涵蓋約一半 CO₂ 排放。越南鋼鐵協會正積極推動將長條類鋼材轉向廢鋼基電爐製程，其技術目標是將排放強度降至每噸鋼 0.09 噸二氧化碳。目前越南鋼鐵排放強度平均約為每噸 1.71 (平軋鋼) 至 0.96 (長條類)，透過導入電爐與綠電整合，預計 2034 年出口至歐盟的產品將能顯著降低碳足跡。
- (4) **印尼** ETS 於 2023 年啟動，目前僅涵蓋部分燃煤電廠，整體覆蓋約 18% 排放量。其鋼鐵產業包含不鏽鋼與鍊鐵生產，排放強度相對較高，分別達每噸 2.5 與 3.5 公噸二氧化碳。印尼目前的技術策略聚焦於提升現有設施的能源效率，目標達成 20% 的減排成效。
- (5) **菲律賓** 尚未建立完整 ETS，正評估「限額與投資」混合制度，結合碳稅與交易機制。由於菲律賓目前境內無高爐設施，鋼鐵生產高度仰賴廢鋼基電爐技術，具有先天的低排放優勢，其推動減碳方向在於透過電力採購協議 (PPA) 達成電力結構去碳化。

綜合各國技術實施情景，透過製程改良 (如高爐轉電爐、氫能應用) 與低碳料源 (如提高廢鋼比例、使用氫氣還原鐵)，亞洲鋼鐵工業能有效降低產品碳足跡。日本與南韓在低碳轉型情境下，碳費支出在其產品價格的占比均維持在極低比例 (2034 年 CBAM 終止免費配額時預計為 0.96% 及 1.74%)。這顯示積極進行製程研發與低碳設備投資，不僅能提升生產品質，更能在全球貿易體系中轉化為實質的競爭優勢。

亞洲鋼鐵技術轉型的核心在於「製程由煤轉電、還原劑由碳轉氫」的轉型路徑。技術實施預測成效顯示，電爐與綠電的結合是短期內最有效的減排方案，而氫能煉鋼則是達成中長期淨零目標的關鍵技術。整體而言，亞洲五國正處於碳市

場發展的不同階段，但方向已高度一致，也就是建立碳定價體系，對抗 CBAM 衝擊。未來幾年，碳市場發展速度將直接決定各國產業能否留住資金、守住出口、甚至重塑全球供應鏈地位。

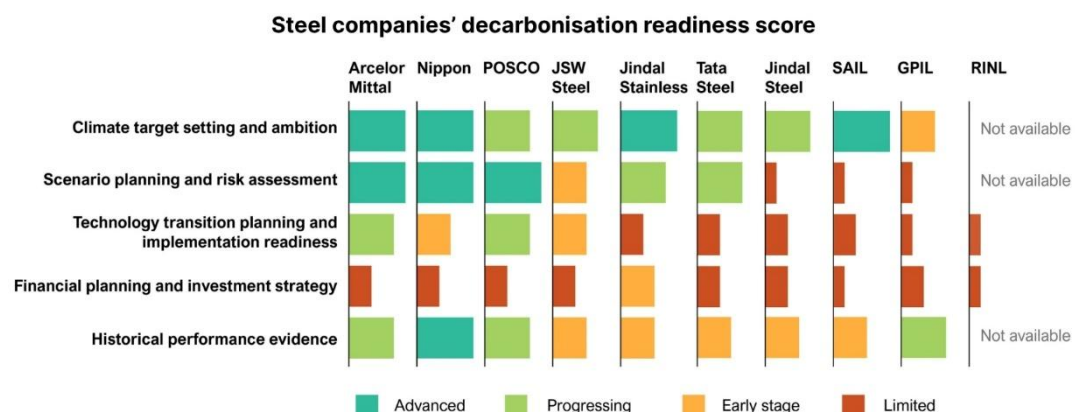
(摘自：Sandbag 環保組織 2026-04-13、環宇鋼鐵網 2026-04-24)

2. IEEFA：印度鋼廠脫碳承諾與實際行動存在落差

能源經濟與財務分析研究所(IEEFA)針對印度鋼鐵業的去碳化準備程度進行了深度技術評估，分析涵蓋七家印度主要鋼廠，並比對 ArcelorMittal、POSCO、日本製鐵三家全球標竿企業。評分項目包含「氣候目標設定與雄心」、「情境規劃與風險評估」、「技術轉型規劃與實行程度」、「財務規劃與投資策略」、「歷年績效證據」，揭露了企業氣候承諾與實際營運執行之間的差距。本次評分各家鋼廠脫碳準備程度如下圖一。

Decarbonisation readiness snapshot of steel companies

With plans in place, the next phase will depend on execution to translate intent into measurable outcomes.



Source: IEEFA analysis

IEEFA

圖一、各鋼廠脫碳準備時程圖

印度目前為全球第二大粗鋼生產國，2025 年產量達 1.52 億公噸，預計 2030 年產能將擴張至 3 億公噸。然而，印度鋼鐵業的碳排放強度平均為 2.54 tCO₂/tcs，較全球平均值 1.85 tCO₂/tcs 高出約 38%，主因為國內高爐-轉爐製程高度依賴高灰分的煉焦煤，且作為全球最大海綿鐵生產國，其 DRI 製程中有 81% 仍採用煤基技術。

在技術轉型規劃方面 JSW 與 Tata 在國內處於領先地位。JSW 在技術規劃獲得 60% 評價，接近全球領先鋼廠。其低碳試點產能約佔預計新增產能的 18%，且已量化原物料效率對減排目標的貢獻度約為 23%。Tata 則是唯一將範疇一、二、三排放全面納入減排範疇的企業，其低碳試驗計畫覆蓋率達產能 20%，其中約 4% 的新增產能已承諾採用具備完全減排潛力的技術（如氫能 DRI-EAF）。

相較之下，全球標竿鋼廠展現了更高程度的技術整合，其低碳前導計畫涵蓋約 26% 的預計產能，且針對各項轉型槓桿皆有明確的量化貢獻數據。然而，印度公營企業如印度鋼鐵管理局(SAIL)與 RINL 在技術規劃上進展極為有限，且缺乏資產除役時間表或低碳技術試點計畫的具體資訊。

報告亦指出嚴重的「碳鎖定」技術風險，印度高爐設備較新，約 72% 的運作產能是在過去 20 年內投入生產。預計到 2030 年前，將有 4,300 萬公噸的高爐產能需進行大修。若企業維持傳統製程而非切換至低碳技術，排放路徑將被鎖定至 2040 年代以後。

儘管多數私營企業設定了 2050 年淨零目標，但實施成效與預期存在顯著落差。在 2022-2025 財年期間，除 GPIL 排放強度下降 6.5%，其餘主要鋼廠的排放強度反而因產能擴張而惡化。此外，財務分配是全產業最薄弱的環節，顯示低碳資本支出尚未能與策略目標接軌。綠色鋼鐵相較傳統製程每公噸約有 210 美元（約新台幣 6,622 元）的溢價，在缺乏有效碳定價與大規模公共資金支持下，技術轉型仍面臨巨大商業障礙。

（摘自：IEEFA 2026-04-28）

3. 日本政府擬增 200 萬噸高品位廢鋼產能

日本政府近期批准一項全面的循環經濟行動計畫，企圖提升本土回收金屬的供應能力，降低對進口原材料的依賴。此項戰略計畫預計於 2030 年前投入約 1 兆日圓(約 1,977 億新台幣)的公私部門聯合資金，將資源回收確立為提升經濟安全與產業競爭力的核心支柱。

在鋼鐵產業方面，政府計畫擴大綠鋼生產所需的高品位廢鋼供應量。具體措施包括增加 200 萬噸高品位廢鋼的年處理產能，並同時強化針對工業廢棄物及製造邊角料的收集體系。政府將持續投資於回收基礎設施，包括引進先進的分選技術、擴充加工與冶煉產能，有效提升金屬材料的品質與回收效率。

(摘自：[SteelOrbis 2026-04-22](#))

4. 神戶製鋼等三家公司開發 MOF 捕捉二氧化碳技術

傳統的碳捕捉技術（如使用沸石吸附劑）在處理工廠廢氣時，極易受水分干擾，需增設龐大的預處理設備，導致能耗與佔地空間增加。本次神戶製鋼、Atomis 公司與長瀨株式會社合作開發的 MOF 吸附劑，其具備極高的分子設計自由度，能高度選擇性地吸附二氧化碳，大幅簡化預處理步驟。

MOF 由金屬離子和有機配體構成的多孔材料，前已知的結構模式超過 12 萬種，其分子設計的自由度極高其奈米級的精細孔隙，對其在分離和儲存特定物質等多種應用領域寄予厚望。此裝置不僅體積更小、更節能，且該裝置即使在二氧化碳濃度較低的氣體排放中也能使用，能直接捕捉企業自身 Scope 1 的排放。

目前三家公司已在神戶製鋼的高砂 GX 試驗場，成功完成每日 30 公斤的示範測試，驗證了其技術有效性。下一步計畫進階至噸級規模測試，這將是日本首

例將 MOF 碳捕捉進行噸級碳捕捉。該計畫不僅專注於碳捕捉，更考慮將捕獲的二氧化碳在地轉化為乾冰等資源，減少對海外進口二氧化碳的依賴，實現國內資源循環。

(摘自：KOBELCO 2026-04-16)

5. 浦項採用蒂森克虜伯焦爐技術降低煉焦過程排碳

浦項製鐵與蒂森克虜伯旗下的 thyssenkrupp Uhde 簽訂合約，將在浦項廠設計並供應一套新型低排放焦爐組，取代已服役逾 40 年的 3A 號焦爐組。合約範圍涵蓋技術供應、工程設計、設備採購、現場監督以及調試支援等全方位服務。

新焦爐組將採用 thyssenkrupp Uhde 專有的 EnviBAT®智慧單腔壓力調節系統，能持續監測並自動調節焦爐壓力水準，預防壓力峰值產生，最小化爐門與爐頂的排放。此外，透過採用柔性爐門系統與防水管蓋設計，更進一步強化排放控制並提升作業效率。

(摘自：SteelOrbis 2026-04-15)

6. 浦項製鐵與 Electra 合作開發低碳煉鐵技術

浦項製鐵宣布與美國低碳技術新創公司 Electra 簽署共同開發協議，將結合浦項自有的直接還原鐵(DRI)技術與 Electra 的低碳煉鐵系統，驗證其在商業生產中的技術與經濟可行性。同時，浦項投資(POSCO Investment)也與 Electra 簽署企業創投(CVC)協議，這是浦項首次針對海外脫碳鋼鐵領域的策略性投資。

Electra 成立於 2020 年，其核心技術能透過電化學反應去除鐵礦石雜質以生產固態鐵，目前正建設年產 500 噸的試驗工廠，預計於 2026 年內投入營運。

(摘自：POSCO Newsroom 2026-04-28)

7. 浦項雙軌脫碳轉型戰略仍面臨能源組合爭議

浦項製鐵正實施「雙軌」脫碳轉型戰略，短期內將電爐視為過渡技術，光陽廠興建的年產 250 萬噸新電爐，已於 2026 年初投產。長期目標則是推動自主研發的 HyREX 氫能冶金技術商業化，利用氫氣作為還原劑取代煤炭。儘管技術路徑明確，但浦項的能源供應方案引起 ESG 專家關注，相關爭議包括：

- (1) **過渡能源風險**：目前規劃依賴液化天然氣(LNG)及小型模組化核電廠(SMR)發電，因 LNG 燃燒仍會排放二氧化碳，被市場視為「灰色能源」，非純粹的淨零方案。
- (2) **認證門檻限制**：全球供應鏈普遍要求 100%再生能源(RE100)。雖然 SMR 屬於無碳能源(CF100)，但目前尚未被納入 RE100 標準，這可能削弱其外銷產品的綠色競爭力。

在中國，寶武已透過國家主導的大型核電站供應電力生產「粉紅氫」，迅速克服再生能源的間歇性問題並降低成本，雖可能不符合 RE100 標準，但能有效突破 CBAM 監管障礙。相較之下，浦項仍受限於韓國整體的能源組合限制。若要維持全球競爭力，必須超越現有的過渡期策略，明確設定邁向 100%再生能源的透明時程表。

(摘自：慶北日報 2026-04-29)

8. 現代-浦項合資在路易斯安那州建設直接還原廠

現代汽車與 POSCO 的合資企業 HYUNDAI-POSCO Louisiana Steel 選擇 Danieli 作為技術合作夥伴，在美國路易斯安那州建設一座先進的綜合鋼鐵廠。該廠將採用電爐 (EAF) 製程，專門生產供應北美汽車市場的高品質、低碳熱軋扁鋼胚。該廠將引進由 Tenova 與 Danieli 共同開發的 ENERGIRON 直接還原廠 (DRP)，年產能達 250 萬噸。這項技術的關鍵在於其具備高度的環保前瞻性：不僅配備碳捕捉系統，DRP 的設計充分考慮了未來氫能的需求，可因應未來從天然氣轉向氫能的脫碳需求。

煉鋼廠內配置了兩座具備連續加料技術的電爐，採用 Zerobucket ECS[®]連續廢鋼加料系統，能靈活調整廢鋼與直接還原鐵 (DRI) 的比例。為了滿足汽車用鋼對純淨度的嚴苛要求，該廠設置了雙精煉爐與真空精煉-氧氣吹煉系統 (RH-OB)，並搭配 Danieli 最新的連鑄技術，確保扁鋼胚的表面品質與內部結構穩定。此外，廠內的步進樑式加熱爐已設計為可使用 100%天然氣-氫氣混合燃料，大幅降低燃料成本與排碳量。此專案代表了全球首批專門針對汽車產業、以電爐為核心的全流程整合鋼鐵廠，強化了現代汽車與 POSCO 在綠色供應鏈上的戰略佈局。

(摘自：SEAI SI 2026-05-05)

9. 安賽樂米塔爾將 2030 年減碳目標下調至 10%

安賽樂米塔爾於 2025 年永續發展報告中，正式修訂其長期脫碳策略。由於能源轉型的複雜程度遠超預期，其決定採取更務實的投資模式，將集團 2030 年範疇一、二的減量目標，從較 2018 年水準降低 25%下調為 10%。

安賽樂米塔爾指出，經濟、技術及地緣政治等因素已大幅改變最初脫碳計畫所依據的條件。因此，新目標僅鎖定已獲最終融資的專案，如法國敦克爾克廠預算 13 億歐元(約 480 億新台幣)的 200 萬噸電爐建設案。儘管中期目標趨於保守，安賽樂米塔爾仍維持 2050 年碳中和願景，計畫在 45 億至 50 億美元(約 1,424 億至 1,582 億新台幣)的年度資本支出預算內，分階段推動脫碳計畫。

能源轉型方面，安賽樂米塔爾持續擴大綠能布局，目標在 2028 年擁有 2.8GW 的再生能源產能。2025 年，該集團與能源轉型相關的活動已佔總營收的 13%。

(摘自：GMK Center 2026-04-28)

10. 塔塔鋼鐵與 SMS 集團將採用 EASyMelt 系統

塔塔鋼鐵公司已與 SMS 集團旗下的 Paul Wurth 公司簽署最終協議，採用全球首創的 EASyMelt 技術。這項技術使高爐能夠在極低焦炭用量下運作，EASyMelt 獨特之處在於它將合成氣整合到還原過程中，能顯著降低碳排放。合成氣作為還原劑，取代了焦炭在高爐中的作用。爐頂煤氣能循環利用，透過重整含烴氣體（例如焦爐煤氣）來生產合成氣，生成的合成氣隨後被注入爐膛和風口。能源來源方面具有靈活性，可使用天然氣、焦爐煤氣、氫氣、氨氣等。

EASyMelt 技術補充：

EASyMelt 利用回收的高爐頂煤氣作為二氧化碳來源，透過天然氣或焦爐煤氣(或兩者兼用)中甲烷和分子量較大的烴類的乾式重整反應生成還原氣。

此外，還可以在原料混合物中添加不含碳的富氫氣體，例如純氫或裂解氨，以進一步減少二氧化碳排放。合成氣乾重整器以循環方式運行，類似於傳統的熱爐，每個循環包括加熱階段和重整階段。在加熱階段，燃燒高爐頂煤氣以提高重整器的溫度；在重整階段，原料氣被加熱並轉化為合成氣。

重整器能夠達到約 1450°C 的氣體溫度，這對於在不使用催化劑的情況下確保高效的重整操作相當重要。所得合成氣隨後被注入爐膛和爐腰。由於合成氣重整器產生的氣體溫度過高，注入爐膛的氣體經由循環利用高爐煤氣 (BFG) 進行輕微冷卻至約 1000°C。相較之下，爐腰氣體則使用等離子炬加熱至 1700°C 至 2200°C。

這種煉鐵製程的部分電氣化顯著減少了爐膛內需要燃燒的焦炭量，因為大部分能量需求由加熱的合成氣滿足。另外，仍保留少量氧氣噴射，以幫助維持爐膛的良好形狀。EASyMelt 保留了傳統高爐在礦石使用方面的彈性，可以使用燒結礦、塊礦或球結礦，也可以選擇裝入 HBI。

(摘自：SMS Group 2026-04-21、Springer 2026-03-18)

11. 本鋼板材燒結機大煙道餘熱回收專案全面投運

本鋼板材與中冶長天合作之「燒結機大煙道餘熱回收改造專案」正式投用，該專案包含 4 套燒結機餘熱回收系統，採用穩定溫控內置式大煙道餘熱鍋爐技術，並創新增設供暖模組，建構「夏季供汽、冬季供暖」的汽熱聯產模式。在非供暖季集中供應工業蒸汽，穩定保障生產用能需求；供暖季則優先滿足廠區採暖，餘熱資源的梯級利用與多元協作。

專案投用後，預計可年產蒸汽 31.16 萬噸，折合節約標準煤約 3.23 萬噸，有效降低本鋼板材燒結製程單位能耗，實現降本增效與節能減碳的雙重目標。

(摘自：冶金信息網 2026-04-29)

12. 巴西 Gerdau 推出綠色鋼品系列 NewEco

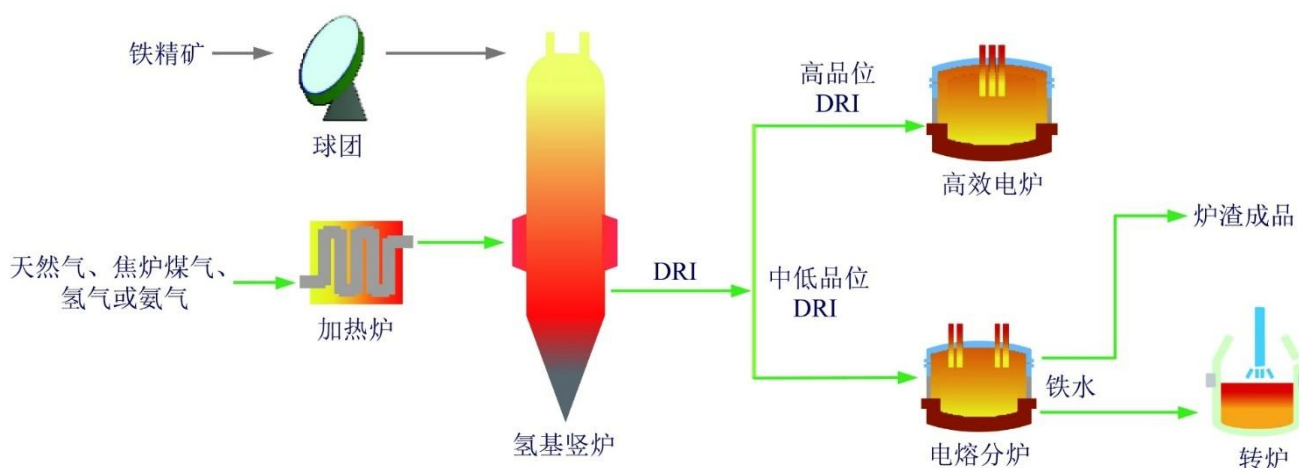
巴西最大鋼鐵製造商 Gerdau 宣布推出全新綠色鋼品系列 NewEco，透過第三方驗證排放數據，為目標轉型為低碳經濟與循環價值鏈的客戶提供具競爭力的解決方案。

新產品系列生產採用廢鋼回收和 100%可再生電力，而該公司每年回收 1000 萬噸廢鋼，目前已將碳排強度控制在每噸粗鋼僅產生 0.85 噸二氧化碳當量(CO₂e)，約為行業平均水準的一半，其設定目標是 2031 年將碳排強度進一步降低至噸鋼 0.82 噸 CO₂e。

(摘自：MetalBulletin 2026-04-16)

1. 寶鋼 HyRESP 鐵礦石氫還原電熔煉技術研究

為解決傳統氫冶金所需高品位鐵礦石資源緊缺問題，寶武於 2023 年提出資源適應性更廣的「氫還原電熔鍊製程」(Hydrogen Reduction and Electric Smelting Process, HyRESP)技術，如下圖二。



圖二、寶鋼「氫還原電熔鍊」製程圖

HyRESP 製程的核心設備包含氫基豎爐、高效電爐以及電熔分爐。根據鐵礦石品位的差異，該製程設計了兩條差異化的生產路徑：首先是針對高品位鐵礦石，經造塊與氫還原後產出的直接還原鐵（DRI）直接進入高效電爐煉鋼流程，生產高品質低碳鋼；其次則是針對資源量較大的中低品位鐵礦石，經氫還原後得到的中低品位 DRI 則送入電熔分爐進行熔化與化學成分調整，產出與高爐品質相當的高溫鐵水，再接續轉爐進行吹煉。

在氫還原行為的技術分析方面，研究團隊選用了五種不同類型的鐵礦石進行實驗，包括兩種塊礦（L1、L2）與三種球結礦（P1、P2、P3），如下表一。

表一、HyRESP 試驗鐵礦石成分表

種類	w(TFe)	w(SiO ₂)	w(CaO)	w(MgO)	w(Al ₂ O ₃)	w(FeO)	w(S)	w(P)
L1	61.410	10.310	0.180	0.050	0.930	0.200	0.008	0.070
L2	66.810	4.090	0.050	0.050	1.250	0.150	0.200	0.070
P1	63.490	6.250	1.200	0.410	1.060	0.500	0.004	0.040
P2	66.920	2.540	0.200	0.250	0.780	0.290	0.013	0.035
P3	66.360	2.650	0.210	0.290	0.760	0.550	0.009	0.034

實驗在 950°C、氫氣體積比為 55% 的富氫氣體條件下進行。數據顯示，三種球結礦的還原度指數 (RI) 約為 7.6，明顯優於塊礦的 5.7 至 5.8，雖然所有試樣皆達到氣基豎爐要求的 RI 大於 4.0 的門檻，但在其他冶金特性上卻有顯著差異。特別是低溫還原粉化指數(LTD)，僅有 P1 與 P3 能滿足 LTD_4.63 大於等於 80% 以及 LTD_3.2 小於等於 10% 的豎爐透氣性要求。

進入電熔分爐處理階段，本研究重點探討了爐渣鹼度對脫硫效果的影響，以及噴吹碳粉對鐵水滲碳的實施成效。實驗採用的 DRI 含鐵總量(TFe)為 87.00%，金屬化率約 94.7%，但含碳量僅為 2.90% 且含有 0.01% 的硫。在脫硫技術方面，電熔分爐的自然脫硫能力較為受限，其硫分配係數 (L_s) 僅位於 2.765 至 3.960 的低區間。透過添加生石灰將爐渣鹼度從 1.03 提升至 1.32，鐵水中的硫含量可從 0.026% 有效降低至 0.017%。研究指出，在自然鹼度下，DRI 中的硫幾乎全數進入鐵水，因此提高爐渣鹼度並配合精煉流程是維持鐵水品質的必要步驟。

針對氫基直接還原鐵 (H-DRI) 的碳不足問題，研究發現傳統將焦炭與 DRI 混合後加入爐內的做法成效不彰，主因在於焦炭易與電弧接觸燒損或漂浮於渣面

而難以溶解。為了精準控制鐵水成分，技術團隊改採碳粉噴吹系統，在熔池形成後直接將碳粉噴入鐵水層。實測結果顯示，噴吹後鐵水的碳含量由 1.92% 成功提升至 2.50%，碳元素的回收率高達 82.9%。噴吹過程產生的熔池攪動效應同時強化了渣鐵間的動力學反應，使鐵水硫含量進一步微幅下降。此噴吹滲碳技術幫助 HyRESP 製程中穩定鐵水成分、降低熔點並有利於轉爐後續精煉。

綜合研究成果，HyRESP 技術的實施成效與未來發展結論如下：

- (1) 目前僅 P3 球結礦能完全符合氫基豎爐 100% 使用的需求，高爐級塊礦與一般球結礦必須透過配礦改善或氣體成分調整方可使用。
- (2) 電熔分爐脫硫能力存在上限，強化渣鹼度控制是降低鐵水硫含量的關鍵流程，未來仍需配合轉爐精煉確保鐵水品質。
- (3) 碳粉噴吹技術是解決 H-DRI 碳不足問題的高效方案，回收率達 82.9% 且具備攪動熔池輔助脫硫的雙重效果。
- (4) HyRESP 工業化仍面臨綠氫規模化供應、反應器長壽化設計及高效氫加熱技術等瓶頸，後續研發將聚焦於客製化配礦與系統運行穩定性的提升。

(摘自：寶鋼技術(CNKI) 2026-03-19)

2. 鞍鋼鮫魚圈綠電製氫冶金中試線全流程貫通

鞍鋼宣布全球首套利用綠電製取綠氫的氫冶金中試線已在鮫魚圈生產基地實現全流程貫通，專案由鞍鋼聯合中國科學院及多所大學合作，成功實現「碳冶金」向「氫冶金」之重大轉型。

與傳統高爐使用焦炭與煤粉作為還原劑不同，此裝置採電解水產生的綠氫還原鐵礦石，副產物為水蒸氣，從源頭解決鋼鐵業高碳排的問題。目前該中試線

已能穩定產出金屬化率達 95%的綠色直接還原鐵，展現極高的還原效率。其技術優勢包括：

- (1) **原料適應性廣**：普通品位鐵礦石經製粒後即可直接使用，降低對高品位礦石的依賴。
- (2) **解決黏結難題**：透過改良調控造粒技術，確保顆粒在加熱與還原過程中不黏結。
- (3) **反應迅速高效**：鐵礦石顆粒在 10 分鐘內即可完成還原反應。
- (4) **環境友善**：除二氧化碳近零排放外，亦大幅降低二氧化硫、氮氧化物與粉塵等污染物。

(摘自：中國產業發展促進會氫能分會 2026-04-14)

3. 氫氣加熱方式及數值模擬研究現狀

在鋼鐵工業追求零碳排的趨勢下，氫基直接還原鐵(H-DRI)技術已成為關鍵轉型方向。由於氫氣還原鐵氧化物屬強吸熱反應，將氫氣預熱至 1000°C 以上對提升反應動力學速率與降低能耗十分重要。目前的技術佈局涵蓋管式換熱、蓄熱式、電阻直接加熱及感應加熱四種，主要氫氣加熱對比如下表二。

表二、主要氫氣加熱技術對比

加熱方式	溫度範圍 / °C	熱效率 / %	投資成本	維運難度	適用規模
管式換熱	200~800	60~85	中等	低	中小規模
蓄熱式加熱	800~1200	85~95	高	中	大規模
電阻加熱	500~1400	90~98	中高	中	小中規模
感應加熱	400~1100	80~90	高	高	中小規模

- (1) **管式換熱**技術透過逆流佈置提升傳熱效率，雖具備成熟的控溫穩定性，但在極端高溫應用受限且需考慮抗氫脆材料成本；
- (2) **蓄熱式加熱**則利用陶瓷或耐火材料儲能，熱效率可達 85%至 95%，適合標準體積流量大於 1000 立方公尺/小時的大規模生產。
- (3) **電阻直接加熱**利用發熱體焦耳熱工作，控溫精度最高，熱效率達 90%至 98%，是高溫純氫預熱的首選；
- (4) **感應加熱**則憑藉電磁感應產生渦流發熱，響應速度最快且無氣體純度污染，適用於特殊積體化設備。

數值模擬技術已成為改良加熱裝置設計的核心，各加熱技術模擬特點如下表三。

表三、各加熱技術模擬特點

加熱方式	核心物理場耦合	主流模擬軟體	模擬核心優勢	當前場景適配不足/侷限性
管式換熱	流場-溫度場-應力場	ANSYS Fluent, ANSYS CFX, MATLAB	模型成熟，能精確預測溫度場和壓降，對工程最佳化指導性強	極端工況下材料性能描述和氫脆預測難；複雜耦合機制建模挑戰大
蓄熱式換熱	傳熱-流動-化學反應-傳質	COMSOL, ANSYS Fluent	能有效處理多孔介質內的複雜傳遞和反應過程，揭示瞬態特性	多孔介質內傳遞過程、反應動力學的精準描述難；大規模系統統計效率低
電阻加熱	電磁場-溫度場-流場	COMSOL, ANSYS Fluent, MATLAB/ Simulink	可實現快速、均勻的體加熱，系統級建模（如用 MATLAB）便於控制和最佳化	電磁場與熱場的強耦合、材料特性隨溫度非線性變化導致模擬複雜

加熱方式	核心物理場耦合	主流模擬軟體	模擬核心優勢	當前場景適配不足/侷限性
感應加熱	電磁場-溫度場	COMSOL, ANSYS, FEMM + MATLAB	加熱效率高、控制精確，可實現從線圈設計到系統控制的全流程模擬	“趨膚效應”導致加熱不均；電磁-熱強耦合及材料非線性行為模擬難度大

- (1) **管式換熱模擬**結合 Matlab 與 CFD 工具整合物性資料庫，可有效解決外管壁熱損失問題，將低溫 20.8K 工況下的預測誤差從 20%顯著降至 8%以內；
- (2) **繞管式換熱器**透過歐拉-拉格朗日方程式改善噴嘴結構，使氣流分佈均勻度提升 22%。在蓄熱式技術研究中，透過 COMSOL 多物理場耦合模型，成功揭示提高床層熱導率是提升性能的核心途徑，其三維單孔模型在特定工況下的溫度效率可達 95.15%。
- (3) **電阻加熱模擬**則著重於電磁場與熱場的強耦合，引入 PID 控制演算法使加熱系統啟動至穩定的時間由 300 秒縮短至 280 秒，並顯著減小超調量。
- (4) **感應加熱模擬**利用 ANSYS 進行電磁-熱耦合分析，透過改良受感器結構使出口溫差控制在 1K 以內，大幅平衡了效率與加熱均勻性，其整合電磁感應加熱的催化系統反應速率更可達傳統方法的 17.4 倍，並降低 41.2%的能耗。

針對純氫豎爐預熱裝置的工程化設計，需建立嚴謹的熱力計算體系。以噸還原鐵通氫量 2000 至 3000 立方公尺為基準，計算需熱量時必須採用斯蒂芬-玻爾茲曼定律與牛頓冷卻公式來量化輻射與對流耦合傳熱。等效綜合傳熱係數的推導是簡化計算的關鍵，實際需熱量應納入約 12%的熱損失係數，並確保電熱轉化效率達 95%以上。在材料選型上，高溫高壓氫環境面臨氫脆、蠕變變形及

熱應力疲勞等挑戰，設計上傾向選用高發射率的矽鉬棒作為發熱體，並採分段式管束或 U 型結構以改善空間利用率與熱機械可靠性。高保真數值建模應涵蓋電磁、溫度、流體及固體力學的強耦合，並透過跨尺度建模連結微觀反應機理與宏觀系統行為，以實現從反應器長度縮減到全工況功率精準匹配的目標。

綜上所述，氫氣加熱技術正由單一設備開發轉向系統化整合。數值模擬不僅在改善結構設計與預測疲勞壽命中發揮關鍵作用，更透過高保真耦合模型顯著降低研發試錯成本。未來技術發展將聚焦於提升多場耦合收斂性、適配綠電波動的動態模擬，並建構「高準確模擬-試驗校準-製程整合」的高效研發體系，進一步幫助鋼鐵業綠色轉型。

(摘自：中國冶金(CNKI) 2026-03-23)

4. 氨煤混燃過程中煤粉顆粒燃燒特性研究

本研究針對氨煤混燃在平焰燃燒器實驗平台的技術細節進行深入探討，目標在於釐清不同摻氨比 (0 到 0.6) 與氧氣濃度 (0.1、0.15、0.2) 對於煙煤顆粒燃燒特性與微觀演化之影響。實驗透過 K 型熱電偶測得平面火焰平均溫度約為 1465K，並發現氨氣摻入後，其對流傳熱效應顯著增強，使火焰整體溫度提升約 40 至 100°C。然而在高混氨比下，由於氨的反應活性低於揮發分且具稀釋作用，溫度升幅趨緩。

在顆粒微觀樣貌與元素演變方面，SEM-EDS 分析顯示摻氨比的增加強化了對煤粉的預熱作用，進而促進揮發分快速析出，使焦炭內部破碎應力加大且分佈更趨均勻，導致煤焦顆粒粒徑顯著減小，由單峰分佈轉向雙峰分佈。當氧氣濃度提升時，顆粒表面的孔隙度明顯增加，主因為氧氣競爭效應減弱使煤粉燃燒更趨完全，加速了揮發分的熱解流程。

針對元素含量的定量分析指出，C 元素含量隨摻氮比增加呈現先升後降的趨勢；在混氮比 0.2 時，由於氮燃燒大量耗氧對煤粉氧化產生抑制作用，C 含量略微增長，但隨混氮量進一步提升及供料量減少，C 含量最終轉為下降。至於 N 元素，在低氧(0.1)條件下隨摻氮比增加而累積，反映出含氮中間產物附著於固相；而在高氧 (0.15 與 0.2) 環境下，則因 N 元素轉化為 NO_x 之比例提升，使固相 N 含量呈現先增後減的動態變化。

實驗數據證實，氮煤混燃的煤焦 TG 曲線相較於純煤燃燒普遍向低溫區偏移，且隨摻氮比增加，偏移程度更為顯著。在摻氮比 0.6 的極端情形下，DTG 曲線的失重速率峰由單峰轉化為雙峰，顯示小粒徑顆粒先行反應使峰值提前且強度更高。當混氮比為 0.6 時，最大失重速率達到峰值，具備優異的反應活性。

針對可燃物反應溫度的分析發現，當混氮比設定為 0.4 且氧氣濃度提升至 0.2 時，顆粒反應溫度達到最低值 319.56℃，顯著低於純煤的 392.2 °C，代表該流程中揮發分的析出與燃燒最為迅速，整體燃燒活性與速率達到最佳化平衡。

(摘自：中國電機工程學報 2026-04-07)

5. 氫能利用現狀及其材料需求

本論文探討氫能利用相關技術現狀，並針對關鍵的材料氫脆與損害機理進行了剖析。在製氫技術方面，目前主流路徑包含化石能源重整、工業副產氫提純及電解水製氫，各類氫氣生產方式及碳排量如下表。

表四、不同類型氫的碳排放量對比

类型	氢源	生产方法	排放物	碳排放量/ (kgCO ₂ /kgH ₂)
黑氢	水+煤炭	蒸汽重整	CO ₂	19~29
棕氢	水+褐煤	蒸汽重整	CO ₂	19~29
灰氢	天然气	蒸汽重整	CO ₂	10~14
蓝氢	天然气	蒸汽重整 +CCUS	碳中和	5~9
蓝绿氢	甲烷	高温分解	固体碳	6~8
绿氢	水+可再生能源	电解	O ₂	0.6~2.5
红氢	水+核电	电解	O ₂ 、核废料	
黄氢	水+网电	电解	O ₂	22~40

其中，化石能源重整技術最為成熟且具規模化優勢，天然氣與煤製氫的成本結構中，原料成本分別佔 74%與 52%。電解水路徑則以鹼性電解槽 (AEC) 最為普及，其運行溫度介於 70°C 至 90°C，而固體氧化物電解槽 (SOEC) 雖具備最高能量轉換效率，但需在 700°C 至 1000°C 的高溫環境運作。目前全球氫能供應仍以天然氣製氫為主 (約 62%)，電解槽製氫佔比則低於 0.5%。

儲氫與輸氫技術是實現規模化應用的瓶頸，研究指出高壓氣態儲氫透過提升壓力可有效提升儲氫密度。壓力自 15MPa 提升至 70MPa 時，儲氫密度可從 1% 躍升至 5.7%。在儲氫容器選材上，塑膠內膽瓶搭配複合材料，具備輕量化與高安全性，適合乘用車使用；鋁合金內膽瓶具備較佳的環境適應力與密封性，適合重型卡車運輸。對於大規模長距離輸送，管路輸氫被認為是最經濟的路徑，其投資成本約為油氣管道的 2 倍。混氫天然氣管道在混氫比低於 20%時，現有設施多可直接沿用。

氫損傷定量評價與選材標準是確保系統完整性的核心。研究對比了多種氫損傷機理，包含氫致內壓、氫促進解理及氫促進局部塑性等，指出實際失效往往是多種機制複合作用的結果。在定量評價指標上，通常以斷面縮減率、疲勞裂紋擴

展速率及疲勞壽命損失百分比作為依據；當性能損失低於 10%時，可視為無顯著氫脆傾向。選材規則強調，在-73°C 至 25°C 的氫脆敏感溫度區間，應遵循「限制材料強度、降低應力使用」原則，避免使用高硬度與高強度材料。

臨氫材質的微觀組織對氫脆敏感性影響極大，氫脆敏感度由低至高依序為肥粒鐵、波來鐵、變韌鐵及麻田散鐵。碳含量過高時會導致鋼材在熱軋狀態下產生大量對氫脆敏感的麻田散鐵組織，中國儲氫容器用鋼中控制碳含量 $\leq 0.35\%$ ，歐洲工業氣體協會控制碳含量 $\leq 0.37\%$ 。選材規則方面，目前國際主流標準如 ASME B31.12 推薦使用 X52/L360 以下強度級別，最高許用鋼級不超過 X80，且長輸管道壓力限制在 21MPa 以內，工作應力不應高於材料最小降伏強度的 50%。對於銲接管材，建議去除銲縫餘高並進行整管熱處理，以降低殘餘應力集中的風險。

綜上所述，氫能技術的發展核心在於經濟效益與材料安全性。未來研發應聚焦於開發高耐氫性能之低成本金屬材料，並建立完善的氫脆材料資料庫。技術推廣上，初期應積極利用現有油氣基礎設施進行混氫輸送，並結合地下鹽穴或枯竭油氣藏進行大規模地質儲氫，以達成綠氫的高效應用與跨季節能量調節目標。

(摘自：鞍鋼技術(CNKI) 2026-04-12)

6. 高碳排產業碳捕集技術應用現狀、挑戰與對策

本論文針對電力、鋼鐵、水泥與石油化工等重點排放產業的碳捕捉技術進行了深入探討。在鋼鐵產業的應用場景中，其排放特徵具有顯著的多點源、高濃度且多雜質之特性。高爐煤氣作為鋼鐵業最主要的碳排放源，其 CO₂ 排放量佔企業總排放比率超過 70%，因此成為碳捕捉與減排的核心對象。

根據技術分析，鋼鐵業目前的技術開發路徑主要採取差異化策略：針對低濃度含碳氣源多使用化學吸收法，而針對高濃度氣源則建議採用固體吸附法。截至

2024 年，已實現全面商業化運行的指標性案例為阿聯酋鋼鐵公司 (Emirates Steel)，該專案利用化學吸收技術針對氣基豎爐爐頂煤氣進行捕集，吸收劑採用單乙醇胺 (MEA) 溶液。捕集後的氣體經加壓與脫水處理後，CO₂ 產品純度可超過 98%，並透過 43 公里的管線輸送至油田進行二氧化碳強化採油 (EOR)。該案於 2016 年實施，碳捕捉規模為 80×10⁴t/a，有效將減碳成本轉化為商業盈利。

目前鋼鐵產業在碳捕捉領域已取得初步實踐成果，如日本 COURSE 50 採用複合胺類吸收劑 (如 MEA、MDEA 等)，年捕集規模可達萬噸級且二氧化碳純度達 90%以上。而包鋼集團與河鋼集團等示範專案，則分別針對歐冶爐煤氣與豎爐煤氣展開化學吸收法應用，碳捕捉能耗與產品品質皆具備產業競爭力。目前海外鋼廠相關專案施行概況如下表。

表五、國外鋼廠碳捕集計畫概覽

案例	应用对象	捕集技术	吸收剂/吸附剂	捕集规模/ (10 ⁴ t/a)	解吸能耗/ (GJ/t)	CO ₂ 纯 度/%	数据来源
日本新日铁住金公司	高炉煤气	化学吸收法	新型吸收剂RN	0.2	2.3		文献[35]
日本COURSE 50项目	高炉煤气	化学吸收法	MEA、MDEA、DEEA、IPAE	1	2.3	90	文献[35]
日本JFE公司	高炉烟气	固体吸附法	沸石ZEOLUMF-9HA	0.2		>99	文献[36]
韩国浦项公司	高炉烟气	化学吸收法	氨水		1.5~2.5	98	文献[37]
欧洲DMXTM项目	高炉烟气	化学吸收法	相变型吸收剂	0.44			文献[38]
塔塔钢铁	高炉烟气	化学吸收法	胺液	0.18			文献[39]
阿联酋钢铁公司CCUS全流程项目	竖炉煤气	化学吸收法	MEA	80	4~5	98	文献[40]
八一钢铁欧冶炉煤气碳捕集项目	欧冶炉煤气			2.5		95	文献[41]
河钢集团张宣科技竖炉煤气碳捕集项目	竖炉煤气	化学吸收法	MDEA				文献[41]
包钢集团CCUS示范项目		化学吸收法		20	2.4	90	文献[41]
旭阳集团焦炉烟气碳捕集示范项目	焦炉烟气			0.75			文献[41]

在製程改良與材料研發方面，鋼鐵業正朝向專用型吸收劑與能效提升技術發展。研究指出，為了應對鋼鐵廠內部燒結、煉鐵、煉鋼及軋鋼等多階段產生的不同濃度煙氣，開發具備高波動適應性的智能配胺技術十分重要。

針對鋼鐵行業的特殊製程，研究建議研發新型碳捕捉搭配餘熱回收利用技術，對富液預加熱、吸收塔極間冷卻和蒸氣壓縮熱泵 3 個製程進行整合。整合後透過模擬計算，得到碳捕捉耦合餘熱回收利用製程每噸 CO₂ 的再生能耗為 2.415 GJ，

比基礎碳捕捉製程的再生能耗減少了 43.0%；CO₂ 吸收率為 99.2%，比基礎碳捕捉製程提高了 11.2%。此外利用 AI、大數據等方法開發智能配胺技術，實現根據線上 CO₂ 濃度儀資料動態調整胺液配方，也是解決鋼鐵行業各流程 CO₂ 濃度差異顯著、捕集難度大的有效手段。

總結鋼鐵業碳捕捉技術的關鍵發展對策如下：

- (1) 應加速研發適用於多流程煙氣波動的專用高效吸收劑與智能配胺技術，以降低再生能耗並強化系統穩定性；
- (2) 開發高傳質效率與低壓降的塔內件設備，以改善百萬噸級工程的空間佈置與投資成本；
- (3) 推動捕集單元與生產流程的餘熱深度整合，實現能源利用最大化；
- (4) 建立跨行業的二氧化碳資源化利用產業鏈，將捕集的二氧化碳轉化為化工原料或用於強化採油，建構高附加價值的循環經濟體系。

(摘自：環境工程技術學報(CNKI) 2026-02-12)

7. 高爐富氫對高比例球結礦爐料軟熔滴落性能的影響

首鋼及北京科大合作，針對高爐富氫冶煉趨勢下的高比例球結礦爐料結構，進行了系統性的軟熔滴落性能分析。研究團隊利用高溫熔滴試驗裝置，模擬不同還原條件，對比了傳統爐料結構 (81%燒結礦+17%酸性球結礦+2%塊礦) 與高比例球結礦爐料結構(44%燒結礦+16%酸性球結礦+34%鹼性球結礦+6%塊礦) 在富氫環境下的反應特性。

試驗數據顯示，高比例球結礦爐料的軟化開始溫度較低且軟化溫度區間較寬，主因在於球結礦以 Fe₂O₃ 為主，還原過程產生的 FeO 與 SiO₂ 易形成低熔點相，與含較高熔點鐵酸鈣的燒結礦相比，其軟化行為更早發生。然而在熔融滴落階

段，高比例球結礦爐料展現出獨特的技術優勢，其壓差陡升溫度升高、滴落溫度降低，使整體熔融溫度區間變窄，有利於高爐軟熔帶厚度的縮減。

在富氫參數的量化影響方面，隨著 H_2 含量從 0% 提升至 15%，爐料的軟化溫度與熔化溫度均呈現升高趨勢，且軟熔溫度區間顯著收窄，顯示富氫環境能促進高爐熔融帶位置下移且厚度變薄，有效改善料層透氣性。

技術分析指出， H_2 具有優異的還原熱力學與動力學優勢，能顯著降低初渣中的 FeO 含量並減少初渣總量。在 H_2 流量的實驗中，隨著氣體流量增加，爐料的最大壓差與特徵值均顯著下降。這是因為增加 H_2 流量強化了金屬鐵的還原與滲碳流程，使金屬鐵提前熔化滴落並釋放料柱空間，進而降低煤氣流經阻力。

隨著 H_2 含量增加，爐料的最大壓差和特徵值均降低。噴吹煤氣中 H_2 含量的增加，一方面促進爐料中 FeO 還原，初渣量減少；另一方面有利於強化爐料的滲碳，促使大量的金屬鐵熔化並滴落，釋放大量的空間，料層透氣性得到有效改善。同時，由於 H_2 的原子半徑小，滲透性強，顯著降低了煤氣流經料柱的壓差，這也是富氫操作改善透氣性的關鍵因素之一。但需指出的是，隨著 H_2 含量增加， H_2 對爐料透氣性的改善效果逐漸減弱，且過高的 H_2 流量將降低煤氣利用率。

(摘自：冶金能源(CNKI) 2026-04-29)

8. 低碳背景下盛銑桶烘烤補熱與加蓋保溫技術研究應用

本論文探討在長流程鋼鐵生產中，針對盛銑桶在週轉過程中的熱量損失問題，提出「烘烤補熱」與「加蓋保溫」兩項關鍵方案，並於鞍鋼進行實證。在鐵水運輸的熱損失構成中，鐵水表面經由罐口的輻射與對流熱損失約佔 35% 以下，盛銑桶襯與鐵水的傳導熱損失約佔 45% 以上，而罐殼表面的熱損失則約佔 20%。研究指出，若盛銑桶由轉爐兌鐵後呈紅熱狀態（罐襯溫度 $1260^{\circ}C$ 以上），在無任何保溫措施的空罐期，罐襯溫度會快速下降至 $350^{\circ}C$ 以下，導致高爐出鐵時的高溫鐵水熱量被低溫罐襯大量吸收，進而引發鐵水溫降嚴重，部分溫降

甚至達到 180°C，易造成桶底結殼與殘鐵增加。

在烘烤補熱技術方面，其重點在於縮小桶襯與鐵水的溫差，並控制桶襯對熱量的吸收。研究建議補熱時機應選在高爐出鐵口前的等待區域，並利用高爐煤氣等副產燃料，透過蓄熱式燃燒技術回收煙氣餘熱。該技術利用噴嘴產生的高溫火焰進行高強度輻射與對流傳熱，僅需烘烤 30 分鐘即可使桶襯蓄熱量恢復至轉爐兌鐵後的水準。實測數據顯示，當桶襯烘烤至 1000-1200°C 時，可提升鐵水溫度 44-60°C，並降低每噸鐵水 1.85 kg 至 2.53 kg 的碳排放。在鞍鋼本部的實際應用中，烘烤後鐵水平均溫度提升 31.0°C，顯著改善了盛銑桶的製程狀態。

加蓋保溫技術則是控制桶口散熱最直接的方法。針對重盛銑桶與空桶期實施全流程加蓋，可同時解決鐵水表面散熱與紅熱罐襯的熱損失。實驗證明，在紅熱狀態下加蓋 1.5 小時後，罐內溫度可維持在 640°C，較不加蓋的 370°C 高出 270°C。保溫罐蓋採用高強度隔熱材料與剖分式結構，以確保密合度。模擬計算與實證結果顯示，全流程加蓋可降低鐵水溫降約 20%，使鐵水溫度提升 38.9°C，每噸鐵水減少碳排放 1.64 kg，且能有效控制煙塵排放並降低罐內殘鐵平均達 8.9 噸。

(摘自：鞍鋼技術(CNKI) 2026-04-13)

ArcelorMittal XCarb[®] 綠鋼技術布局與減碳解決方案分析

撰稿人 T41 范乃妍

一、前言

在全球應對氣候變遷的宏觀進程中，鋼鐵工業作為碳排放最密集的重工業領域，正處於從高碳強度冶金向淨零技術範式轉型的關鍵臨界點。隨著聯合國 2050 淨零排放目標 (Net Zero 2050) 的確立，以及歐盟碳邊境調整機制(CBAM)的正式施行，鋼鐵企業的脫碳能力直接轉化為市場生存的綠色門檻與核心競爭力。

ArcelorMittal 作為全球鋼鐵龍頭，其推出的 XCarb[®] 品牌同時是商業行銷標籤，以及實現技術轉型的整合戰略框架。專利資料顯示技術從傳統高轉爐(BF-BOF)長流程的減碳改良，到電爐(EAF)再生能源路徑的確立，再到生物碳捕捉與氫能冶金的尖端投資，XCarb[®] 展示了多層次的脫碳技術路徑。

ArcelorMittal 的戰略邏輯可推測為，結合製程技術控制，與整體商務活動結合，不僅能降低客戶的 Scope 3 減排壓力，更在同業中形塑技術區隔，確立了 XCarb[®] 在低碳轉型賽道的獨特定位。

二、XCarb[®] 品牌核心架構與三大脫碳路徑解析

XCarb[®] 的核心價值在於其高度的靈活性，能夠針對供應鏈不同的客戶，提供差異化的減碳解決方案。其架構主要由以下三大支柱構成：

1. 綠色鋼鐵憑證 (Green Steel Certificates)

該路徑主要針對仍依賴高爐製程的產線。ArcelorMittal 透過在現有高爐中投入節能技術 (如熱風回收、廢熱發電) 或注入生物能源，所產生的二氧化碳減排量經過獨立審核，轉化為憑證。

• **商務邏輯：** 客戶購買鋼材時，可加購對應數量的 XCarb[®] 憑證，將

僅供內部參考，請勿影印分送。

ArcelorMittal 特定減排專案的 CO₂減排量轉移給自己，用於 Scope 3 報告。

2. 回收與再生生產 (Recycled and Renewably Produced)

XCarb[®] 產品體系中技術邏輯在於製程與能源的整合

- **製程架構**：採用電爐路徑，以 100%廢鋼為主要原料。
- **能源供給**：100%使用經第三方認證的可再生能源如風能或太陽能，實現近乎零排放的電力輸入。
- **產品覆蓋**：根據來源資料，該方案已完整覆蓋扁平材 (Flat products) 與長材 (Long products)，顯示其在汽車薄板、家電用鋼及建築結構件等領域，均具備商業化供應能力。

3. 創新基金 (Innovation Fund)

此為面向未來的技術孵化平台，ArcelorMittal 每年投資大額資金於突破性技術。

- **投資重點**：包括氫能還原鐵 (Hydrogen DRI)、CCUS、以及生物技術冶金等，以達成 2050 淨零目標。

三、近期 XCarb[®] 相關專利技術解析

ArcelorMittal 近 1 年來的專利申請顯示，與 XCarb 有關之專利可分為 6 大類，分別為：(1)利用再生能源為設備供電、(2)提高廢鋼比例、(3)加熱設備電氣化、(4)直接還原鐵製程、(5)CCUS (包含生質能、PSA、鋼化聯產) 與(6)銲接技術減少廢料，專利說明如表 1。

表 1、與 XCarb[®]關聯之專利技術整理

技術分類	專利技術彙總說明
1. 利用再生能源還原鐵礦石	為透過電解反應還原鐵礦石來生產鐵的設備，設備由再生能源供電，符合 XCarb[®]推動低碳煉鐵與使用 100%再生能源的脫碳核心目標。 專利：WO2024/110771
2. 熱軋產品大廢鋼比	熱軋產品系列專利，係使用含銅廢鋼生產，為 XCarb[®]品牌下「回收與再生生產」領域，大幅提高廢鋼比例的減碳策略，專利技術包含： (1)有效防止液態銅相滲入晶界。 (2)優化矽含量，防止熱軋引起表面裂紋。 (3)使用廢鋼生產中最佳矽/銻/錫含量的方法 專利：WO2025/056946, WO2025/056947 WO2025/056948, WO2025/057069, WO 2025/057070 WO 2025/057071
3. 感應加熱技術之電氣化布局	一種利用感應加熱技術（可應用於高爐、直接還原豎爐等需要熱風爐之製程），能將鋼鐵製程氣體高效加熱至最高 2300°C 之設備與方法，旨在減少傳統燃燒加熱帶來的碳排放，屬於電氣化脫碳布局。 專利：WO 2026/003563, WO 2026/003775， WO 2026/003777
4. 監控直接還原廠運作	與本技術為監控直接還原廠運作的方法，屬 XCarb[®]綠色煉鋼與減碳解決方案的製程改進技術。 專利：WO 2026/018055

技術分類	專利技術彙總說明
5.捕捉鋼廠氣進行CCUS	本專利群支持 XCarb®的 CCUS 概念： 1.透過生物技術處理鋼廠廢氣產生生物質，並將其轉化為沼氣回饋至生產製程，實現節能減碳。 2.透過文氏系統回收殘餘氣體能量以提升 PSA 吸附效率。 3.透過捕捉高爐煤氣進行生物發酵產出酒精，並將副產物生物質回充煉焦爐，實現資源全循環。 專利：WO2026/022502, WO2026/022503, WO2026/022504, WO2026/022505, WO2026/022506, WO2026/022687
6. 簡化鋁接流程	此專利群發展之鋁接技術可減少材料廢料、簡化整體製造流程與車輛輕量化，鞏固 XCarb®強調之永續供應鏈與綠色鋼材效益。 專利：WO2026/022518, WO 2026/022662

四、結論

ArcelorMittal 除銷售綠鋼，並構建多維度的技術框架。XCarb®透過三大支柱（綠色鋼鐵憑證、回收與再生生產、創新基金），成功對接了從「現有高爐優化」到「未來氫能冶金」的過渡路徑，確保公司在不同轉型階段都能提供對應的商業化方案。

在專利佈局上，ArcelorMittal 透過電氣化設備與 100%再生能源供電消除製程碳足跡。同時優化廢鋼處理技術，解決晶界滲入與表面裂紋等難題，極大化提升循環材料比例。此外，更結合 CCUS 與生物技術，將廢氣轉化為沼氣與酒精，使環境負擔翻轉為高價值的能源資產，打造綠色技術基礎。

僅供內部參考，請勿影印分送。

五、引用資料

序號	引用資料
1	ArcelorMittal launches XCarb™ green steel certificates for customers https://autorecyclingworld.com/arcelormittal-launches-xcarb-green-steel-certificates-for-customers/
2	Lowest Embodied Carbon Steel Sections Available on the Planet https://ami.arcelormittal.com/structural-shapes/sustainability/
3	XCarb® Innovation Fund Accelerator Programme https://poland.arcelormittal.com/en/steel-production/xcarbr/xcarbr-innovation-fund
4	XCarb® Green steel certification https://projects.arcelormittal.com/media/i1xm0zsk/xcarb-green-steel-certificates-2110.pdf
5	XCarb® Recycled and Renewably Produced https://europe.arcelormittal.com/sustainability/xcarb/RRP/recycled_and_renewably_produced