



國際減碳技術發展趨勢

- | | |
|---------------------|---|
| 1. 全球低碳煉鐵新工藝技術進展及展望 | 1 |
| 2. 低碳技術在全球鋼鐵業轉型中的應用 | 3 |
| 3. 俄羅斯鋼鐵行業脫碳勢在必行 | 5 |

鋼廠動態

- | | |
|---|---|
| 1. 日本製鐵與國內商社為國家碳捕集與封存專案進行工程設計工作 | 6 |
| 2. 瑞典 H2 Green Steel 更名為 Stegra 新建綠鋼廠 2026 投產 | 6 |
| 3. Midrex 與淡水河谷合作推動低碳還原鐵技術發展 | 7 |
| 4. TENOVA 完成寶鋼湛江 ENERGIRON 直接還原鐵廠性能測試 | 7 |
| 5. JFE 鋼鐵將投資澳洲黑水煤礦 | 8 |
| 6. 美國 IRG 公司利用廢塑膠生產焦炭替代品 幫助降低煉鋼碳排放 | 8 |
| 7. 現代製鐵和世亞鋼鐵合作開發低碳排鋼板和管材 | 9 |
| 8. 安賽樂米塔爾降低鋼品公路運輸碳排放量 | 9 |

技術/生產資訊

1. 寶鋼超高強鋼板及低碳技術研發進展	10
2. 中冶賽迪綠色電爐技術實踐及展望	11
3. 河鋼唐鋼 2922m ³ 高爐高球節礦比生產的操作制度	11
4. 印度鋼鐵管理局在高爐中使用生物炭	12
5. 寶鋼進行鐵礦石氫還原行為研究	12
6. SSAB 完成 HYBRIT 計畫試驗階段	13
7. 以銅奈米團簇做為觸媒之二氧化碳封閉循環使用	14
8. 蘇黎世聯邦理工學院開發新型季節性氫氣儲存技術	15

技術專欄

※汽車產業鋼鐵供應鏈綠色轉型趨勢與預測情報	16
-----------------------	----

1. 全球低碳煉鐵新工藝技術進展及展望

本論文分析了中國、韓國、日本、歐洲和美國等地最新低碳煉鐵技術成果，高爐在近中期仍將佔據鋼鐵生產的主導地位，但減碳潛力有限。DRI-EAF 技術雖然發展迅速，但也面臨著資源、技術和成本等方面的挑戰。電解煉鐵成為歐美國家的研究熱點，但距離規模化生產仍需較長時間。

以下為各地煉鐵技術發展趨勢

1. 中國

(1) 高爐製程目前佔中國粗鋼產量九成之多，故「富氫低碳高爐」成為當地鋼鐵業實現大規模低碳生產的主要路徑，寶武的富氫碳循環氧氣高爐(HyCROF) 技術透過從高爐頂氣中分離 CO₂ 並將回收的 CO 和綠氫注入高爐，並利用綠電替代化石燃料加熱，進一步減少化石能源的消耗，2022 年寶武開始運轉 400 m³ HyCROF 高爐，碳排放減少約 20%。

(2) 河鋼、寶武等廠已開始研究氫直接還原技術，2023 年 5 月，河鋼投產了全球首座「焦爐氣零重整豎爐直接還原」工廠，年產能為 60 萬噸 DRI。與傳統的高爐製程相比，HBIS 氫冶金示範產線有潛力每年減少超過 70% 的 CO₂ 排放、30% 的 SO₂ 排放、70% 的氮氧化物排放和 80% 以上的顆粒物排放。

(3) 邢台鋼鐵計畫建造 3 座年產能 55 萬 t 的 HIs melt 熔融還原爐，不需傳統的燒結、球結和煉焦製程，具有低成本、低能耗、低排放和高靈活性等優勢。

2. 韓國

POSCO 計畫在維持粗鋼產能的同時，於 2030 年將實現 10% 的減排目標，其發展重點為：(1) 智能製造；(2) 開發低碳高爐煉鐵技術，包括在高爐中增加金屬化爐料和富氫氣體的利用；(3) 計畫在光陽鋼鐵廠設置電爐；(4) 開發頂底吹氧轉爐，將煉鋼過程中的廢鋼用量提高到上限；(5) CCS、CCUS 技術。這些技術預計將在 2035 年前實現 30% 的 CO₂ 減排，並在 2040 年前實現 50% 的減排目標。在創新技術方面，POSCO 正利用 FINEX 流化床還原技術建設 HyREX 工廠。流化床反應可直接使用細粒鐵礦石或普通燒結用礦粉，故具有原料優勢。此外，為了研究 DRI 的熔化性能，POSCO 建造了 1 座每小時生產 1t 鋼液的試驗性電熔爐設施。

3. 日本

(1) 日本於 2008 年啟動 COURSE50 計畫，開發技術包括：(1) 利用氫氣進行鐵礦石還原的高爐氫還原技術；(2) 利用鋼鐵廠內未使用的廢熱進行 CO₂ 分離和回收技術。2013 年在 12 m³ 的試驗高爐上開展測試，達成 10% CO₂ 減排。並透過化學吸附法，利用鋼鐵廠內的餘熱，建立了低能耗的 CO₂ 分離和回收技術。基於此，COURSE50 開發出一種減少煉鋼製程約 30%CO₂ 排放的技術，並計畫在 2030 年前投入實際應用。

(2) 2020 年 10 月，日本鋼鐵、JFE 鋼鐵、神戶製鋼等單位組成了 GREINS (Green Innovation in Steelmaking) 聯盟，致力於鋼鐵製造的綠色創新，並決定開發：(1) 高爐氫還原技術，(2) 氫氣直接還原鐵礦石技術。2022 年 5 月，在日本製鐵君津廠進行了 Super COURSE50 技術的開發測試，其中注入加熱氫氣，確認了 22% 的 CO₂ 減排效果，最終目標是減排 30% 以上。此外，將 CO₂ 轉化為甲烷並吹入高爐的碳循環高爐計畫將於 2025 年 4 月在 JFE 千葉工廠的 150 m³ 高爐上開始測試。

4. 歐洲

(1) 2016 年，瑞典 SSAB、礦商 LKAB 及能源公司 Vattenfall 共同發起了 HYBRIT 計畫，合作開發從礦山到鋼鐵的無化石價值鏈。試點研究計畫涵蓋整個生產鏈，從球結礦生產、水電解製氫、氫氣儲存、氫還原豎爐到電爐熔煉。HYBRIT 試驗工廠於 2020 年夏季投入營運，並在 2021 年 6 月宣佈試驗成功。利用試點工廠生產的 HYBRIT 直接還原鐵，SSAB 於 2021 年 8 月生產出首批無化石鋼並交付給瑞典 Volvo 汽車，用於製造首輛自卸車。此後，SSAB 已與 50 多家戰略客戶達成合作協議，涵蓋了交通運輸、建築業以及一般製造業和其他客戶領域。

(2) 歐盟超低 CO₂ 排放鋼鐵製造技術 (ULCOS) 研發計畫在 2004 年啟動，其中包括電解還原鐵礦石技術，即 ULCOWIN (低溫電解) 和 ULCOLYSIS (高溫熔融電解)。實驗室規模的低溫電解鐵礦石技術可行性已得到驗證。2017 年，ArcelorMittal 啟動了 SIDERWIN 項目，建造了工業規模的電解池裝置，將鐵生產從幾公斤擴大到幾百公斤規模。基於以上成果，2023 年安米聯合其他 10 個組織進行 Volteron 低溫直接電解製鐵研究計畫，預計在 2027 年開始生產每年 4-8 萬噸鐵板。一旦該技術獲得驗證，工廠的產能將提升到每年 30-100 萬噸。

5. 美國

美國能源部 (DOE) 於 2024 年 4 月宣佈 13 個項目提供 2800 萬美元(約新台幣 9 億元)資金，在 ROSIE(Revolutionizing Ore to Steel to Impact Emissions) 計畫下推進零工藝排放煉鐵和超低生命週期排放煉鋼，目標是開發能夠以等於或低於現有工藝成本生產生鐵的技術。可以看出，電解、電漿技術等可以完全基於綠電的新技術是 ROSIE 計畫關注的重點。

其中，Limelight Steel 正在開發雷射爐，利用雷射提供清潔熱能，將鐵礦石加工成金屬鐵，顯著節省能源並實現零 CO₂ 排放。此外，Boston Metals 將熔融氧化物電解法 (MOE) 應用於鋼鐵製造，利用可再生電力將所有品位的鐵礦石轉化為高品質的液態金屬。

(摘自：[鋼鐵 2024-07-24](#))

2. 低碳技術在全球鋼鐵業轉型中的應用

本篇報告由德國知名工業去碳化研究團隊 Agora Industry、Wuppertal 氣候、環境與能源研究所及隆德大學合作提出，主要重點如下：

- (a). 改變全球鋼鐵產業的關鍵技術將在十年內商業化。到 2030 年，超過 70% 的現有高爐將需要重新投資，轉向以廢鋼和氫氣為基礎的煉鋼方式。提高廢鋼品質並使用可再生電力，將可以實現接近零碳排放的高品質鋼鐵生產。
- (b). 基於 DRI 的煉鋼法以及未來的電氣化技術可望解決技術瓶頸。DRI 技術現在就可導入應用，並可逐步增加氫氣的使用比例；此外，它還可將煉鐵和煉鋼製程分離。將 DRI 製程與現有的轉爐煉鋼法相結合，將能夠導入低品級鐵礦石的使用，未來的鐵礦石電解技術也可能實現這一點。
- (c). 碳捕捉與封存 (CCS) 技術不太可能拯救以煤炭為基礎的高爐-轉爐 (BF-BOF) 路線。為高爐-轉爐廠加裝 CCS 是一個風險較高的策略，因其將會導致高剩餘排放量 (residual emissions)，並需要大量二氧化碳運輸和

儲存基礎設施，還需要考慮到煤礦上游甲烷排放的影響，而且隨著氫氣成本下降和二氧化碳價格上升，這種策略將變得越來越缺乏商業吸引力。

- (d). 低碳煉鋼的高成本需要有政府支持和國際合作，以加速大規模部署低碳煉鋼技術。相關措施需要涵蓋整個煉鋼價值鏈，包括對技術選項的支持以及全球綠色產品市場的發展。

本篇報告並彙整了主要低碳煉鋼技術的減碳潛力及成本分析，詳如下表。

表 1、目前全球主要發展中低碳排煉鋼法之預估碳排量及生產成本

減碳路線	實行鋼廠或計畫	預計投用時間	2030減碳成本 (美元/噸CO ₂)	2050減碳成本 (美元/噸CO ₂)	碳排量 (噸CO ₂ /噸鋼)	生產成本 (美元/噸鋼)
H2-DRI-EAF	河鋼、 安米西班牙Gijón 瑞典HYBRIT	NG/H2混合：2025 純氫：2025-2030	137-192	99-154	0.01	727-857
H2-DRI-SMELT-BOF	蒂森tkH2Steel 澳洲ESF	2027-2030	139-203	104-168	0.04	725-871
NG-DRI-EAF-CCS	阿聯Al Reyadah 紐科Convent	2025-2030 (高CO ₂ 捕集率)	88-144	76-126	0.2	618-739
熔融氧化物電解 (MOE)	美國 波士頓金屬	2035-2040	-	56-146	0	582-766
低溫電解 (EL-EAF)	安米Volteron (法國)	2040-2045	-	72-195	0.01	611-855
BF-BOF-CCS	塔塔Carbon Clean (印度) 安米3D/MAX(法國)	2030-2035	96-163	83-133	0.51	599-721
Hlsarna-BOF-CCS	塔塔荷蘭 塔塔印度	2030-2035 (目前進展不明)	63-117	56-98	0.13	581-704
近零碳排廢鋼電爐 NZE-SCRAP-EAF	美國Evraz、 紐科Econiq、 義大利及羅馬尼亞 GreenEAF2	已完成	-	-	0.01	639-837

註：BF-BOF 製程碳排量為 1.87 tCO₂/噸鋼，生產成本為 472-499 美元/噸鋼

(摘自：[Wuppertal Institut 2024-05-23](#))

3. 俄羅斯鋼鐵行業脫碳勢在必行

目前俄羅斯大部分鋼鐵公司仍然採用傳統高爐製程，並積極實施高爐大修，而並不是對低排放直接還原鐵（DRI）生產進行投資。當前俄羅斯 60.9% 的鋼鐵產能為傳統高爐製程，該國的 DRI 生產裝置主要使用化石燃料，但可以逐步採用氫基裝置替代。

目前俄羅斯在 DRI-EAF 裝置建設方面面臨諸多挑戰，由於 Midrex、達涅利和普銳特等鋼鐵冶煉技術供應商相繼退出俄國市場，導致其中一些計畫已被延遲。此外，該國尚未說明採取何種製氫方式，表示轉向氫基 DRI 時，目前無法確定二氧化碳減排情況。

俄羅斯國家層面脫碳計畫嚴重不足，碳關稅和企業氣候資訊披露帶來的國際壓力迫使該國的鋼鐵行業必須採取行動。最大的壓力就是歐盟碳邊境調節機制，為此俄羅斯鋼鐵業勢必對現有生產路線進行調整，否則受碳定價影響，俄羅斯對歐盟的出口預計將會變得更加困難。

為配合歐盟 CBAM 和日益嚴格的企業可持續發展報告要求，金屬投資公司（Metalloinvest）和新利佩茨克鋼鐵公司（NLMK）等俄羅斯大型鋼鐵企業面臨巨大的低碳轉型外部壓力。

2022 年，NLMK 出口的板胚佔到了歐盟從該國進口板胚量的 80%，該廠以煤基 BF-BOF 工藝為主。隨著板坯進口寬限期從 2024 年延長至 2028 年，NLMK 的產品將從 2026 年開始受到歐盟 CBAM 定價的約束，如果該公司不從 BF-BOF 生產轉型，成本將大幅增加。

其他受制裁影響的俄羅斯鋼廠似乎更關注國內需求、對獨聯體國家的出口以及亞洲和北非的新市場。儘管如此，在全球日益增長的鋼鐵脫碳趨勢下，耶弗拉茲、謝維爾等公司也相繼發佈了溫室氣體減排計畫。

隨著鋼鐵脫碳需求不斷增長，加上國內氫能生產目標的制定，為俄羅斯從排放密集型煉鋼轉向低碳生產技術創造了機會。從高爐煉鐵轉向低碳氫基 DRI 將創造國內對氫的需求，並助推該國鋼鐵行業加快脫碳，促使俄羅斯鋼鐵生產商符合 CBAM 和其他國際排放標準的要求。

（摘自：[世界金屬導報 2024-08-27](#)）

1. 日本製鐵與國內商社為國家碳捕集與封存專案進行工程設計工作

日本製鐵與其他六家公司宣布，將共同進行日本先進碳捕集與儲存(CCS)項目的工程設計工作。本項目由日本金屬與能源安全組織(JOGMEC)支持，目的是從日本製鐵九州工廠及太平洋水泥廠捕集並運輸二氧化碳至地下儲存區域，目標為 2030 年減排 46%並於 2050 年達成碳中和。工程設計將於近期展開，預計 2030 年開始運營。每家公司分工如下，將專注於不同環節，以推動該項目。

- (1) 日本製鐵：九州工廠捕集和液化 CO₂ 的工程設計。
- (2) 太平洋水泥：太平洋水泥川崎工廠捕集和液化 CO₂ 的工程設計。
- (3) 三菱重工業：負責液態 CO₂ 運輸船的研究及工程設計。
- (4) 伊藤忠商事：作為管理公司，負責項目協調與經濟評估。
- (5) 帝石(INPEX)：CO₂ 注入與海底管道設計。
- (6) 大成建設：注入及儲存設施的工程設計。
- (7) 伊藤忠石油開發(CIECO)：評估整體技術、成本及經濟性。

(摘自：[Nippon Steel Corporation 2024-09-04](#))

2. 瑞典 H2 Green Steel 更名為 Stegra 新建綠鋼廠 2026 投產

H2 Green Steel 將更名為 Stegra (瑞典文「提升」之意)，並將利用其合作的所有三個平臺來實現脫碳目標：綠色氫能、綠色鐵和綠色鋼鐵。

在獲得 65 億歐元 (約 2312 億元新台幣) 的資金後，該公司正在瑞典博登 (Boden) 建設世界上第一家大型綠色鋼廠，該廠將由一座容量為 690MW 的電解槽、一座直接還原廠、兩台電爐以及冷軋及精軋設施組成，新工廠的綠鋼年產能為 240 萬噸，預計將於 2026 年投產。

Stegra 正在構建的三個不同平臺如下：

- [1].綠色氫能：世界上最大的電解槽之一；
- [2].綠鐵：透過用綠色氫氣代替傳統煉鋼中的煤炭和焦炭來減少大部分排放；
- [3].綠鋼：利用全電氣化大規模設備生產近零排放鋼材。

(摘自：[SteelOrbis 2024-09-13](#))

3. Midrex 與淡水河谷合作推動低碳還原鐵技術發展

2024 年 9 月 Midrex 公司與鐵礦商淡水河谷簽署合作協議，將開發直接還原煉鐵廠中使用鐵礦石球節礦的技術。淡水河谷以專有的壓塊技術配合黏合劑，再透過低溫技術生產高品質的鐵礦石結塊，使最終產品具有較高的機械強度。淡水河谷的煤球生產流程是球節製程的替代方案，具有更低的生產成本，二氧化碳排放量減少約 80 %。

該技術在全球獲得廣泛應用，並已收到自蒂森克虜伯和 H2 Green Steel 等鋼廠的訂單，計劃分別於 2025 年和 2026 年開始生產。

(摘自：[kobelco 2024-09-05](#))

4. TENOVA 完成寶鋼湛江 ENERGIRON 直接還原鐵廠性能測試

寶鋼湛江氫基 ENERGIRON 直接還原(DR)工廠成功通過性能測試，於 168 小時內生產了 21,620 噸直接還原鐵(DRI)，金屬化率超過 94%。該廠使用 70% 的氫基還原氣體，通過其零重整器(ZR)可靈活使用各種還原氣體，如天然氣(NG)和焦爐煤氣(COG)，可以任何組合或比例使用，目前是中國最大的氫基 DRI 設施，另外該工廠還捕獲 CO₂ 並用於商業用途，進一步減少排放並創造額外收入。

(摘自：[TENOVA 2024-09-18](#))

5. JFE 鋼鐵將投資澳洲黑水煤礦

JFE 宣布與澳洲煉鋼焦煤供應商 Whitehaven Coal Limited(Whitehaven) 簽署協議，收購位於澳洲博文盆地的黑水煤礦(Blackwater)10%的股份。JFE 預估印度和東南亞高爐生產量趨增，使煉焦煤需求增增長，同時焦煤礦的開發與擴建愈來愈困難，希望能確保優質焦煤的穩定供應。Whitehaven 黑水煤礦生產優質煉焦煤，雜質含量較低，可減少溫室氣體排放。

JFE 減碳製程採用多策略進行，包含碳循環高爐、直接還原鐵煉鋼、新型電爐、CCUS。其中碳循環高爐將採用黑水煤礦的優質煉焦煤，高爐產生的高爐氣，將進行回收，進行甲烷化，並作為還原劑再利用。

(註：黑水煤礦持有股權比例為 Whitehaven 70%·JFE 子公司 JStAR 10%·Nippon Steel Australia Pty Ltd. 20%)

(摘自：[JFE Steel 2024-08-22](#))

6. 美國 IRG 公司利用廢塑膠生產焦炭替代品 幫助降低煉鋼碳排放

美國鋼鐵公司與 CarbonFree 公司簽署了為期二十年的合作協議，在其印第安納州加里廠新建一座採用 SkyCycle™技術的碳捕集利用工廠。

美國 IRG 公司 (International Recycling Group) 將在賓州興建一座能將塑膠廢料轉化為再生塑膠的工廠，計畫每年回收約 16 萬噸塑膠廢料，並轉化為 10 萬噸再生塑膠材料。此外，該廠還將年產約 2 萬噸焦煤替代品 CleanRed™，可幫助降低美國鋼鐵業進一步降低碳排放。

(摘自：[aist 2024-09-05](#))

7. 現代製鐵和世亞鋼鐵合作開發低碳排鋼板和管材

現代製鐵和韓國鋼管公司世亞鋼鐵 (SeAH Steel) 合作生產用於海上風力發電基礎設施的低碳排鋼板和管狀結構，以因應海上風電市場對低碳排產品不斷增長的需求。

現代製鐵以直接還原鐵和廢鋼為原料透過電爐-高爐複合工藝生產 355MPa 屈服強度的鋼板，世亞鋼鐵再將這些鋼板加工成鋼管。該製程與 2021 年相比可減少約 12% 的碳排放

(摘自：[SteelOrbis 2024-08-28](#))

8. 安賽樂米塔爾降低鋼品公路運輸碳排放量

2023 年，安賽樂米塔爾歐洲出貨量為 2750 萬噸，公路運輸約占產品總運輸量的 38%，亦為碳足跡最高的運輸方式，平均每噸鋼材每公里產生 65 克 CO₂，若改用使用氫生質柴油 (hydrobiodiesel) 卡車可減少 80-90% 的碳排放。2023 年以此氫生質柴油卡車運輸 19 萬噸鋼材，總距離 58 萬公里，與一般柴油卡車碳排放量相比減少 794 噸二氧化碳，約下降 82%。該公司並在波蘭、荷蘭、比利時、西班牙、法國和德國進行了各種電動卡車的測試。

(摘自：[GMK Center 2024-08-29](#))

1. 寶鋼超高強鋼板及低碳技術研發進展

在 9 月 4 日召開的第九屆亞洲鋼鐵大會上，寶武揭露其在超高強鋼板研發生產領域的成果。

(1). 輕量化解決方案，幫助新能源汽車發展

寶鋼股份推出超輕全鋼純電動白車身：BCB EV。與其它同類車型的白車身相比，BCB-EV 的重量約減少了 10%~20%。BCB EV 聚集新材料、新工藝、新結構技術，形成寶鋼汽車鋼在電動汽車車身材料選擇、工藝和結構方面的系列化技術解決方案。

為滿足現代汽車工業對材料的嚴格要求，寶鋼開發超高強鋼板，不僅強度高，還具備優異的成型性和耐腐蝕性能。在超高強鋼板的生產和應用過程中，也存在諸多技術挑戰，如容易出現表面缺陷、氫致延遲裂紋和鍍鋅點焊液態金屬脆化等問題。寶鋼透過技術創新，成功解決這些問題。例如，透過控制熱軋鋼帶的內氧化，改善表面品質；研究鍍鋅工藝對氫含量和延遲裂紋性能的影響，提高材料的可靠性。

(2). 綠色製造，實現可持續發展

在低碳冶金技術方面，寶鋼致力透過廢鋼-電爐技術、高廢鋼比轉爐技術、氫還原-電爐技術和富氫碳循環高爐技術等低碳冶金技術，減少製程碳排放。

在推廣低碳排放產品的過程中，寶鋼也面臨著諸多挑戰。首先，添加大量重複使用的材料導致的殘留元素含量過高，對產品特性和可製造性有不同的影響。寶鋼正致力於研究具有高殘餘元素的汽車鋼的高清潔度煉鋼技術和產品設計技術，以應對這一挑戰。其次，任何低碳技術都不可避免地會導致成本增加。因此，寶鋼正努力發展高效、高品質、低成本的低碳鋼生產技術，以確保其產品的市場競爭力。

(摘自：[中國鋼鐵新聞網 2024-09-09](#))

2. 中冶賽迪綠色電爐技術實踐及展望

在本論文中，中冶賽迪揭露其在電爐工藝理論、核心設備、智能控制等進行一系列研究，開發出多項高能效、低碳之電爐煉鋼技術，目前主要技術進展如下：

- (1) 高效廢鋼輸送技術，提高廢鋼輸送速度 30-40%。
- (2) 階梯翻滾廢鋼預熱技術，使廢鋼均勻預設，溫度可達到 300 °C 以上。
- (3) 1.3 IGBT 柔性直流供電技術，快速調節電壓電流輸出
- (4) 短網設計最佳化系統，保障電弧爐高效穩定運行
- (5) 電極調節技術，實現電極的精準化控制
- (6) 高低溫煙氣分流調節技術，高效脫除戴奧辛
- (7) 高效餘熱回收系統，進一步降低生產成本

展望未來，該公司將添加低品位 DRI、生產高品質鋼種、智能化作為重要電爐技術發展方向。

(摘自：[鋼鐵 2024-07-23](#))

3. 河鋼唐鋼 2922m³高爐高球節礦比生產的操作制度

唐鋼新區 2922m³高爐提高球結礦比例至 40% 以上，成功改善生產效能，降低燃料消耗，並促進節能減排，其操作經驗表明，應根據爐況逐步提升球結礦比例，調整裝料制度以穩定氣流，並強化邊沿氣流處理結厚問題。當中心氣流減弱或爐缸狀態不佳時，縮小風口面積並提高鼓風動能，保證風速達到 255m/s 以上，並使鐵水成分矽控制在 0.3% ~ 0.4% 和爐渣鹼度控制 1.15 ~ 1.20 的關鍵指標，確保爐況穩定。

(摘自：[中國知網 \(CNKI \) 2024-04-01](#))

4. 印度鋼鐵管理局在高爐中使用生物炭

印度鋼鐵管理局 (SAIL) 與鋼鐵研發中心 (RDCIS) 合作，已成功在魯爾克拉 (Rourkela) 鋼廠的一座高爐中使用生物炭，藉由熱解過程從生物質中提取的穩定形式的碳，部分替代高爐中的傳統煤粉噴吹 (PCI)。

RDCIS 試驗發現尼祿相思樹 (babool) 和竹基生物炭可做為 PCI 煤的合適替代品，這些材料來源於樹木和植物，在印度的各個地區產量都很豐富。

(摘自：[鐵諾信息網 2024-08-30](#))

5. 寶鋼進行鐵礦石氫還原行為研究

2023 年寶武提出了資源適應性更廣的氫還原電熔煉工藝 (HyRESP : Hydrogen Reduction and Electric Smelting Process)，製程如圖 1，其中氫基豎爐是核心工藝之一。寶武在本研究中對比了高爐和直接還原用塊礦、球結礦在富氫氣體下還原速度、低溫還原粉化率等差異，結果顯示球結礦的還原速度和低溫還原粉化指標均優於塊礦，但不同品位球結礦指標差異較大。

本論文透過不同品位鐵礦石氫還原行為研究，分析了富氫及全氫對鐵礦石還原的影響，發現與高爐對比，氫冶金對鐵礦石的冶金性能要求更嚴苛。而透過配礦結構的最佳化、礦石品種的篩選、球結礦焙燒製度及豎爐操作方式的調整，基本上可以得到滿足豎爐要求的鐵礦石，研究結果為湛江百萬噸級氫基豎爐投產提供了數據參考。

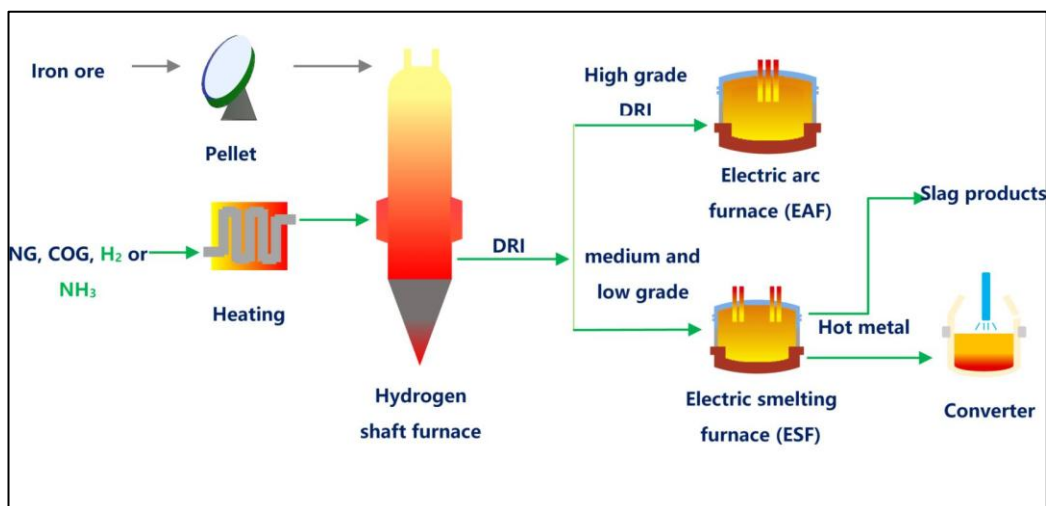


圖 1、寶武 HyRESP (氫還原電熔煉工藝) 製程圖

(摘自：[鋼鐵 2024-07-22](#))

6. SSAB 完成 HYBRIT 計畫試驗階段

HYBRIT 是世界上第一個證明從鐵礦石到鋼鐵，無化石製程在半工業規模上運作的計畫。目前為止，HYBRIT 位於 Luleå 的試驗工廠已生產了超過 5,000 噸氫還原鐵，Volvo 集團、Epiroc、Peab 已在車輛、重型機械、建築上使用無化石鋼材。

六年以來，研究試驗的成果包含：

- (1) 開發一種新的氫基技術，每噸鋼的二氧化碳排放量為 0 (範疇 1、2)。
- (2) 開發新的海綿鐵，其性能明顯優於用天然氣等化石氣體還原的鐵。
- (3) 氫氣還原的二氧化碳評估：用氫氣直接還原並在電爐中熔化，每噸直接還原鐵會產生 42 公斤生物二氧化碳。
- (4) 開發新的無化石技術，對 175 種製程模式進行了測試，以確定用氫生產鐵的最有利方法
- (5) 製氫和儲存的鹼性電解槽成功長期運作。
- (6) 與 Swerim 研究所合作，開發了一種在電爐熔煉高效製程

下一階段，SSAB 將完善 Gällivare 示範工廠，在 Luleå 儲存無化石氫氣的試驗計畫將持續到 2026 年。

(摘自：[SSAB 2024-08-27](#))

7. 以銅奈米團簇做為觸媒之二氧化碳封閉循環使用

加拿大麥基爾大學 (McGill University) 設計了一種利用微小的銅奈米團簇做為電解觸媒，將二氧化碳 (CO_2) 高效率轉換為潔淨能源-甲烷 (CH_4) 之方法。此外，研究團隊也提出了將生成的 CH_4 做為燃料時所產生的 CO_2 予以回收再轉換為 CH_4 之「碳封閉循環」提案，可望做為抑制氣候變遷的有效對策。研究結果發表在 2024 年 9 月號的《Applied Catalysis B: Environment and Energy》期刊。

為削減氣候變遷的主因-大氣中的 CO_2 ，全球持續進行各種努力措施。其中透過與氫氣進行熱化學反應，將 CO_2 轉換為天然氣的主要成分 CH_4 之技術研究亦持續推進。麥基爾大學積極投入透過 CO_2 的電化學還原反應製造 CH_4 的研究，但在還原反應過程中，除了 CH_4 之外，同時也生成乙烯 (C_2H_4)、乙烷 (C_2H_6) 等多碳烴，因此選擇性且高率效地生成 CH_4 仍有其困難。

麥基爾大學利用國家同步加速器光源設施「Canadian Light Source」的 X 射線吸收光譜技術，結合量子力學模擬計算，詳細研究了銅奈米團簇的表面晶體結構，並觀察其尺寸與構造對於用於電解反應產生的影響。透過研究由 19 個原子組成的小型銅奈米團簇，乃至於以 1,000 個原子組成的大型銅奈米團簇觸媒後，研究團隊發現尺寸極小的銅奈米團簇對於選擇性生成 CH_4 方面非常有效。透過控制銅奈米團簇的尺寸，在電解還原反應中實現了法拉第效率 85% 與 1.5 A/cm^2 的電流密度，並且實現 10 小時以上的穩定性。

麥基爾大學表示：「新開發的高效率 CH_4 生成技術不僅能將大氣中的 CO_2 轉換為 CH_4 ，另可將可再生能源電力以 CH_4 做為化學物質儲存。」此外，當 CH_4 做為能源燃燒時，其所釋放的 CO_2 可以再次被捕捉並轉換為甲烷，從而建構一個 CO_2 完全不釋出至大氣的新「碳封閉循環」。研究團隊除了計畫進一步提升銅奈米團簇觸媒的效率之外，並開始探討大規模工業化的可能性，期開創出一條真正潔淨且永續的無限能源之路。

(摘自：[材料世界網 2024-09-05](#)、[Science Direct 2024-09-05](#))

8. 蘇黎世聯邦理工學院開發新型季節性氫氣儲存技術

瑞士蘇黎世聯邦理工學院 (ETH Zurich) 的研究人員開發了一種利用氫氣和氧化鐵反應的季節性氫氣儲存技術。夏季過剩的太陽能可用於分解水生成氫氣，氫氣與氧化鐵反應生成鐵和水，以鐵的形式儲存能量。當冬季需要時，該過程可逆轉生成氫氣，供應燃氣渦輪機或燃料電池使用。該技術成本低，易於擴展，比現有儲氫方法便宜十倍，其缺點在氫氣的生產和轉化效率較低，能量損失可達 60%，且這種技術只適合應用於風能和太陽能過剩的情況下使用。

(摘自：[hydrogen tech world 2024-09-02](https://hydrogen.tech/world/2024-09-02))

汽車產業鋼鐵供應鏈綠色轉型趨勢與預測情報

撰稿人 T41 范乃妍工程師

一、前言

隨環保意識提升與永續經營追求，在減碳深水區「範疇 3」中，綠鋼已然在汽車的供應鏈減碳行動中扮演重要角色，依據今年發布之「The use of Green Steel in the Automotive Industry」^[1]，該報告預測歐盟 27 國的汽車用鋼的生產路徑中，氫直接還原鐵、電爐製程之綠色汽車用鋼將於 2035~2040 年間用量超越傳統高爐-轉爐所生產的汽車用鋼。

而同樣於今年發布之「The Race to Cleaner Automotive Supply Chain」^[2]報告中，則指出整體汽車產業雖仍有很大的脫碳空間，然部分車廠已開始披露範疇 3 之排放數據，若以地域區分，歐美車廠(Mercedes-Benz、FORD、TESLA 等)普遍優於亞洲車廠(BYD、TOYOTA、HYUNDAI 等)。

以下將重點摘錄前述分析報告，並以「歐盟 27 國未來汽車用鋼預測」與「汽車產業鏈之低碳、無石化競賽」為題分別闡述之。

二、歐盟 27 國未來汽車用鋼預測 (The use of Green Steel in the Automotive Industry) ^[1]

依據 Transport & Environment 委託 Recardo 所調查之「The use of Green Steel in the Automotive Industry」中，首先定義產品製造路徑如下：

- [1].Blue BF-BOF(藍色高爐-氧氣轉爐法)——為傳統鋼鐵生產方法，以焦炭作為還原劑，使用高爐和轉爐作為生產路徑，可搭配 CCS 技術，減少鋼鐵生產的碳排放。
- [2].Blue H-DR (藍色氫氣直接還原) ——係使用藍氫作為能源，前述藍氫是通過天然氣並配合 CCS 所製造，目前尚未大規模商業化。
- [3].Green H-DR grid(綠色氫氣直接還原-電網)——使用氫氣直接還原技術生產鋼鐵，其中氫氣來自於可再生能源生成的電力，並且透過電網供應。該技術

能顯著減少碳排放，是鋼鐵生產去碳化的主要潛力技術之一。

[4].Green H-DR renewable(綠色氫氣直接還原-可再生能源)——同樣使用氫氣直接還原，但氫氣完全來自於可再生能源，例如風能或太陽能，進一步降低碳足跡。

[5].Additional Secondary EAF (新增的二次電弧爐)——係使用回收廢鋼二次生產，透過電爐生產新鋼品。由於使用回收材料，這種路徑相對具有較低的碳排放。

[6].Existing EAF (2021) (至 2021 年之電爐技術)——截至 2021 年已存在的電爐技術，可視為是一種較為成熟的低碳生產技術。

針對歐盟 27 國未來汽車用鋼對應製程種類比例預測如圖 2，由黑色曲線代表之傳統高爐-轉爐生產之汽車用鋼，現階段雖仍是主流，但預估將於 2030 年後開始明顯下降，同時低碳排生產之綠色汽車用鋼之產量將逐漸走揚，直至 2050 年，將大幅度為綠鋼所替代。

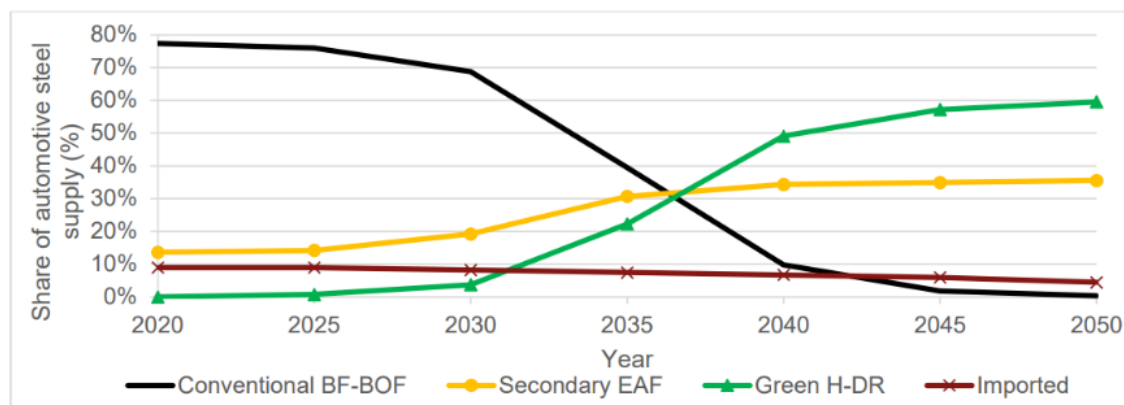


圖 2、歐盟 27 國各項製程路徑依時間對汽車用鋼之佔比^[1]

轉向綠鋼生產需要大量投資於新技術和基礎設施，許多創新的生產方法需要全新的基礎設施網絡以維持有效運作，包含上游設施如氫氣和電力供應，下游設施如收集和運輸二氧化碳到適當的儲存地點等，由於快速切換不同設備很可能中斷當前生產營運，故實務操作面上並不容易達成。此外，鋼鐵行業仍存在被傳統技術「鎖定」的風險，意即一旦企業大規模投資於傳統鋼材生產方法，考量資產損失或折舊，就很難轉向新技術。

報告引用 2023 年的「彭博新能源財經」(BloombergNEF) 資料，目前的綠鋼平均生產成本較傳統路徑高出約 40%，這些成本預計將因二氧化碳與能源價格的影響而持續縮減，並在 2050 年大幅下降，進而有製造「綠色鋼鐵」的可能性；配合碳稅等制度，綠色鋼鐵的成本效益甚至可能比化石路線更高。以乘用車 (passenger cars) 的基準情境 (baseline senario) 為例，2025~2030 年間，傳統路徑生產之鋼材成本略有增加，到 2025 年達到每輛車 443 歐元的峰值鋼材成本，到 2050 年每輛車的總鋼材成本下降到 165 歐元左右。

在消費者是否願意支付「綠色溢價」(green premium) 部分，經相關調研機構計算，綠色鋼部件將提升乘用車最終價格達 1%，由於缺乏關於生產排放對車輛整個生命週期影響的理解，消費者對乘用車使用綠色鋼材的支付意願，可能低於提高燃油經濟性和電動汽車。

三、汽車產業鏈之低碳、無石化競賽 (The Race to Cleaner Automotive Supply Chain) ^[2]

在 Lead the Chrage 的「The Race to Cleaner Automotive Supply Chain」報告中，將全球先進的 18 個車廠依據

- (1) 建立無石化且環境可持續的供應鏈。
- (2) 供應鏈中的人權議題與負責任採購等指標進行排行，以 2024 年為例 (圖 3)，歐美車廠之排名顯著優異，而日韓車廠分數平均僅 10%，而中國大陸車系得分普遍更低。由報告內容可預期未來車廠在打造綠色供應鏈積極度將持續提升，並與永續倡議掛勾。

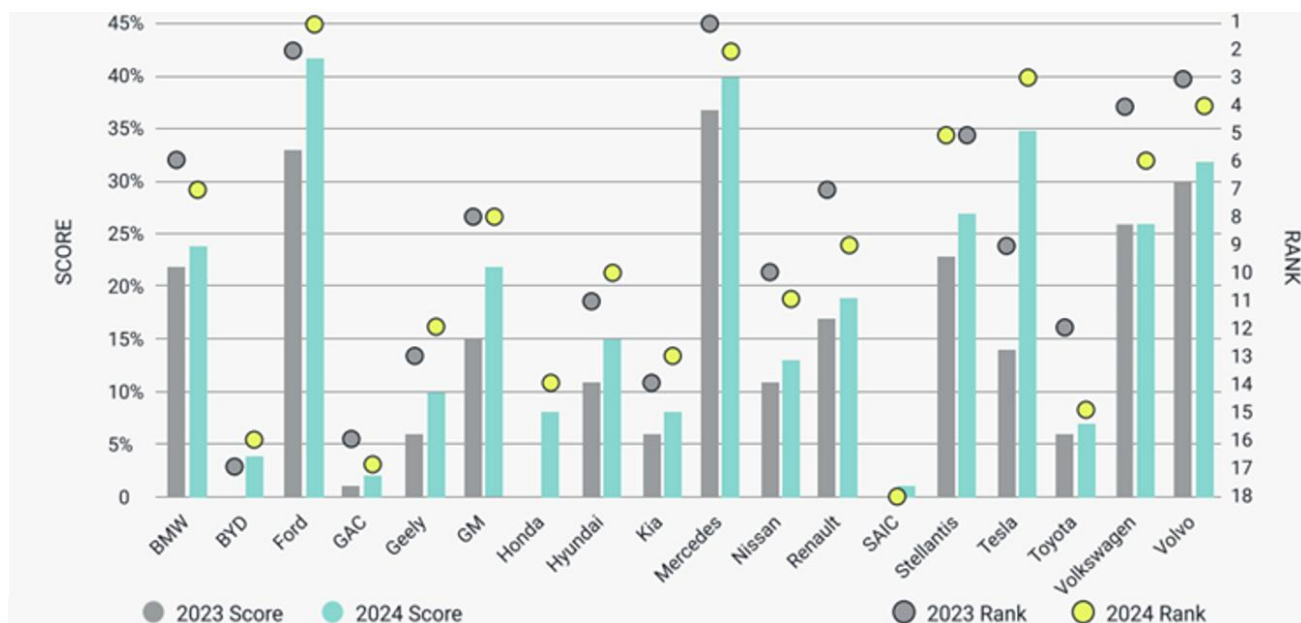


圖 3、各大車廠 2023~2024 年分數與排名^[2]

依本報告 2024 年排名前 3 名之車廠，具體特色介紹如下：

- [1]. 第一名為 Ford——在**供應鏈人權與負責任採購**的努力上表現優異，尤其是在過渡礦物負責任採購方面領先業界，另在鋼材和鋁材減碳方面也取得了顯著進展，並且設立了明確的可持續供應鏈承諾。
- [2]. 第二名為 Mercedes-Benz——在**無化石燃料與環境可持續供應鏈**的建設中，Benz 表現持續穩定，尤其在鋼鐵和鋁材減碳領域排名靠前，同時也積極參與全球減碳倡議，今（2024）年更與 NUCOR 簽署零碳鋼產品 Econiq™-RE 供應協議^[3]。
- [3]. 第三名為 Tesla——是今年進步最大的一家公司，為第一個在鋼，鋁和電池供應鏈提供範籌 3 排放的汽車製造商。Tesla 亦在電池供應鏈和負責任採購方面也表現突出，並全面改進其供應鏈中的可持續發展措施。

四、結論

綠色鋼材正逐漸成為汽車供應鏈中減碳行動的核心部分，尤其是在歐盟 27 國的汽車用鋼製程中，已預估低碳排製程路線的綠鋼將超越傳統高爐-轉爐鋼材。然而，轉向綠鋼的過程仍面臨成本較高、新技術投資需求及傳統技術鎖定的挑戰。雖然未來生產成本可能下降，消費者對「綠色溢價」的接受度仍不明朗。

整體而言，歐美車廠在打造無石化、環境可持續供應鏈的表現顯著優於亞洲車廠，未來汽車產業鏈的低碳化應仍為主流，T41 將持續追蹤相關趨勢。

五、參考文獻

The use of Green Steel in the Automotive Industry

- [1] https://www.transportenvironment.org/uploads/files/ED18758-TE-Final-report_To-PUBLISH.pdf

The Race to Cleaner Automotive Supply Chain

- [2] <https://leadthecharge.org/wp-content/uploads/2024/02/LeadtheCharge-2024-Leaderboarden.pdf>

Nucor Signs Agreement with Mercedes-Benz To Supply Econiq™-RE

- [3] <https://investors.nucor.com/news/news-details/2024/Nucor-Signs-Agreement-with-Mercedes-Benz-To-Supply-Econiq-RE/default.aspx>