

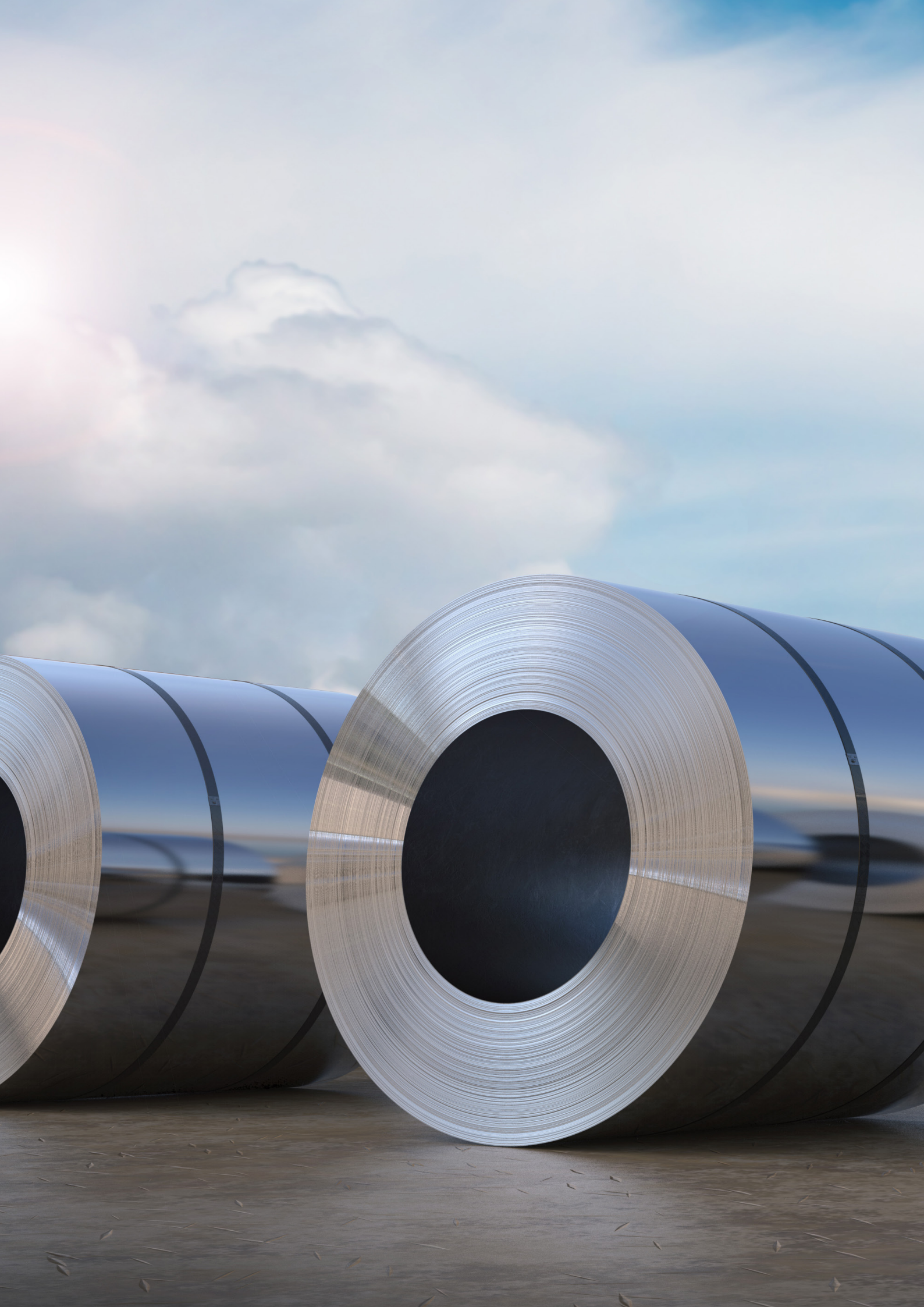
中國會在綠色鋼鐵競賽中領先嗎？

2030年前的氫氣直接還原鐵-電弧爐(H_2 -DRI-EAF)市場

與政策發展

2024年10月







目錄

氫基直接還原鐵-電弧爐 (H_2 -DRI-EAF)：概述	3
氫氣：邁向生產全球最便宜的綠色氫氣	4
直接還原鐵：“氫氣就緒”的還原鐵技術與高品位鐵礦石供應	7
電弧爐 (EAF)：中國的市場發展與政策目標	10
買家：中國汽車行業的強烈信號	10
政策和補貼背景：促進氫基直接還原鐵電弧爐技術的發展	12
建議	14

關鍵要點

1. 中國有望憑藉在可再生電力和綠色氫氣 (H_2) 生產方面的競爭優勢，於2030年前成為全球領先的綠色初級鋼鐵生產國。有關第十五個五年規劃的政策討論與模型設計需將此雄心編入其中，並正式確立補貼機制。
2. 近期幾乎所有主要鋼鐵企業都宣布了具備氫基直接還原鐵 (DRI) 技術的生產規劃，這表明中國應能實現到2030年每年生產1,500至2,000萬噸低碳初級鋼鐵的全球領先產量。因各地發展情況不同，一些地區可能會展現出得天獨厚的優勢。
3. 相比短期內的國際碳定價調整所帶來的影響，中國電動車製造商對綠色鋼鐵的強烈需求信號將成為推動中國市場的主要動力。這些影響將逐漸傳導至高品位鐵礦石供應商的上游供應鏈。
4. 現時的電弧爐 (EAF) 目標是到2025年達到15%的產能佔比，我們認為該目標需要再次提高，力爭2030年達到20%。鋼鐵產能置換機制的暫停，以及市場整合，都不會成為轉向電弧爐生產再生或初級綠鋼的障礙。

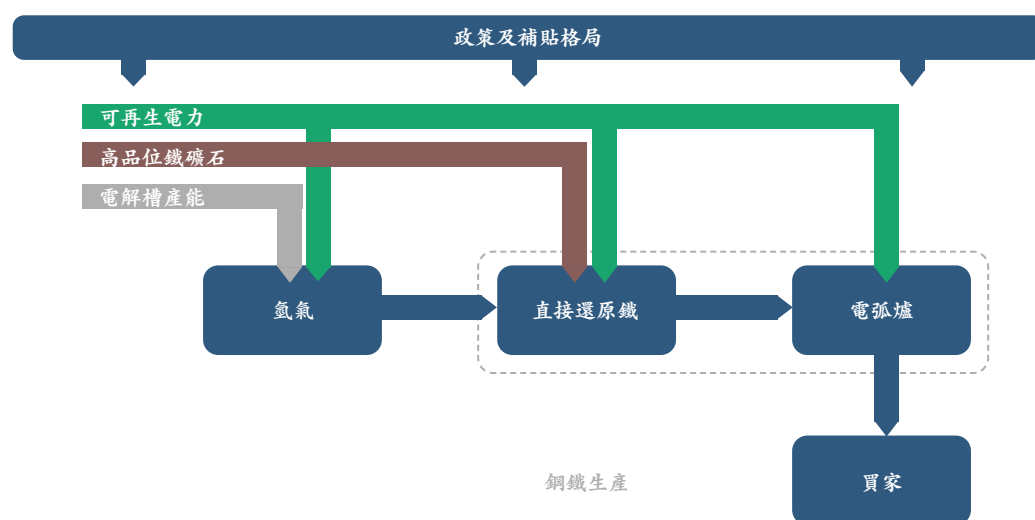


引言

2030年後，最成熟的低碳初級鋼鐵生產路徑是氫基直接還原鐵-電弧爐（H₂-DRI-EAF）技術。本報告概述了生產過程，及其各個組成部分。同時，報告探討中國憑藉其資源、技術和財力優勢，能夠保持在初級鋼鐵生產領域的領先地位。

我們將依次探討整個流程，然後深入了解綠色氫氣（H₂）、直接還原鐵（DRI）和電弧爐（EAF）的技術。最後，我們為中國的政策制定者提供了一系列建議，以幫助中國在該領域加速領先，隨著鋼鐵減碳補貼成為熱門議題，這些建議將更具參考性。

圖1：氫基直接還原鐵-電弧爐（H₂-DRI-EAF）或綠色初級鋼鐵的組成部分



來源：Transition Asia

氫基直接還原鐵-電弧爐（H₂-DRI-EAF）：概述

H₂-DRI-EAF 過程並不是新技術，它正在鋼鐵生產工藝中逐漸成為領跑者，挑戰傳統的高爐-轉爐（BF-BOF）工藝。

直接還原鐵（DRI）過程使用（顆粒化）鐵礦石作為原料，與高爐通過煤炭加熱鐵礦石的方式類似，它去除礦石中的氧，將其轉化為金屬鐵。DRI 技術不會像高爐那樣熔化鐵礦石，而是進行“還原”。它可以使用多種氣體來實現這一過程。目前幾乎所有的 DRI 都來自於化石燃料產生的氣體，即氣體-直接還原鐵。

目前，使用氫氣作為還原劑，從鐵礦石中去除氧原子以生產（直接還原）鐵和水（作為副產品）的氫基直接還原鐵（H₂-DRI）技術正受到廣泛關注。

使用100%氫氣生產鋼鐵，相較於高爐工藝可實現顯著的減排。儘管全球超過99%的氫氣是從化石燃料或其副產品中生產的，但氫氣可以通過電解產生，如果使用可再生電力驅動，則氫氣可以實現零排放。¹

¹ <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ecdfc3bb-d212-4a4c-9ff7-6ce5b1e19cef/GlobalHydrogenReview2023.pdf>

透過 H_2 -DRI 過程，鐵可以在電弧爐中熔化以生產鋼鐵。許多當前市場分析還指出，直接還原鐵可以被壓縮為熱壓鐵（HBI）以便於運輸和儲存，帶來“離岸”HBI 的生產機會，即是將電弧爐的部分價值鏈與 H_2 -DRI 分開。當中的優點是，即使一些地區沒有生產 H_2 -DRI 的優勢，也有可能使用可再生電力運行的電弧爐，熔化由綠色氫氣製成的 DRI 或 HBI 來生產近零排放的鋼，不僅大大地去除價值鏈中對化石燃料的依賴，也增強了地域合作的靈活性。

與高爐-轉爐生產過程相比，基於 DRI-EAF 的鋼鐵生產有潛力將排放從每噸粗鋼 1.8 噸二氧化碳減少到天然氣基 DRI 的 0.65 噸二氧化碳，以及 H_2 -DRI 的 0.05 噸二氧化碳（取決於氫氣的生產方式）。² 這一過程應被視為該行業減碳的標準、政策和投資的基礎。

在接下來的部分，我們將 H_2 -DRI-EAF 製鐵過程在中國的背景下進行分析，包括：實現世界上最便宜的綠色氫氣；“氫氣就緒”的 DRI 技術和高品位鐵礦石供應；中國電弧爐市場發展及政策目標；強勁的需求端信號；以及 H_2 -DRI-EAF 增長的政策和補貼建議。

氫氣：邁向生產全球最便宜的綠色氫氣

電解槽產能

目前，中國有限的直接還原鐵鋼鐵項目中，大部分氫氣來自焦爐或天然氣，而來自可再生電力的綠色氫氣產量非常有限。因此中國所需的是將大幅增加綠色氫氣的產量，這是通過利用風能或太陽能等可再生電力進行水的電解，將水分解為氫氣和氧氣的過程。

中國的《[氫能產業發展中長期規劃（2021-2035年）](#)》是迄今為止中國最全面的氫氣策略。雖然該規劃並不專門針對綠色氫氣，但它為可再生氫氣的年產量設定了 2025 年達到 10 萬至 20 萬噸的目標，作為供應側舉措的一部分。³ 於 2024 年底，中國預計將安裝 2.5 GW 的電解槽產能，提前一年超過國家的年產綠色氫氣目標。這些措舉將年產 22 萬噸色氫氣成為可能，並在 2025 年前提前達成中國的目標。⁴

在兩種主要的電解技術中，鹼性電解法成本較低，並且由中國主導全球市場。質子交換膜（PEM）電解法則能效更高，並且更適合變化較大的電力生產，如太陽能光伏。PEM 電解法利用膜進行離子移動，電極浸泡在電解質溶液中。

儘管可再生氫氣的發展進展緩慢，特別是目前在鋼鐵生產中幾乎未見應用，但國有石油和天然氣巨頭中石化已成功啟動了 260 MW 的 PEM 項目，並正增建另一個 390 MW 的廠房，據傳還在考慮增建一個 1 GW 的設施。此外，一個國內財團正在投資 45 億美元，建設世界上最大的綠色氫能項目之一，該項目使用 PEM 電解槽。⁵⁶ 重要的是，該財團計劃使

² https://transitionasia.org/wp-content/uploads/2024/07/Green_Steel_Economics_240725.pdf

³ 綠色氫的定義是每公斤氫氣排放 ≤ 4.9 公斤二氧化碳。

⁴ <https://www.rystadenergy.com/news/china-hydrogen-targets>

⁵ 豐鎮市政府、國有中國電力建設集團（中國電建）昆明研究院及清華大學與榮科氫能公司建立了合作關係

⁶ <https://www.hydrogeninsight.com/production/worlds-largest-pem-green-hydrogen-project-announced-in-china-backed-by-4-5bn-of-investment/2-1-1479258>

用國內生產的PEM電解槽，突顯了中國對推進這一技術方面日益增長的興趣，儘管仍落後於全球競爭對手。⁷

信息框 1—中國技術交付超前於預期

中國在高科技發展方面有著追趕並佔據市場份額的良好往績，這也與其規模和實力相稱。電解槽的安裝容量似乎也不例外。國際能源署（IEA）的氫能評估闡述了這一點。「在2020年，中國專用氫氣生產的電解槽安裝容量佔全球的比例不到10%……到2022年，中國的安裝容量增長到超過200 MW，佔全球總容量的30%……到2023年底，中國的電解槽安裝容量預計將達到1.2 GW，佔全球容量的50%……[同時] 佔全球已達成最終投資決策的電解項目的40%以上。」⁸

來源：Transition Asia, IEA

降低電解槽的成本將是中國實現氫氣價格下降的關鍵，因為目前在中國尚未大規模生產綠色氫氣。中國在風能和太陽能發電領域，通過協調有力的產業策略，已成為市場領導者，而歐洲和日本歷來是這些行業的主要據點。建立和維護有利的政策環境，並利用國內投資者傳遞的積極早期信號，有助於擴大中國電解槽的製造能力，從而最終降低成本。

可再生電力供應

電解槽生產綠色氫氣和電弧爐冶煉鋼鐵均需要大量的可再生電力。過去，試圖通過使用可再生電力實現減碳的重工業往往會遷移到水電資源豐富的省份，但中國的歷史性乾旱和水文波動導致政府削減了依賴此類電力來源的行業。重工業在水電資源豐富地區尋求電氣化的做法已無法可持續地繼續下去。

取而代之的是，重工業應尋求利用更可靠的可再生電力來實現減碳。儘管鋼鐵生產大省（如河北、江蘇和山西）的鋼廠不在可再生電力資源最豐富的地區，它們仍受益於高水平的太陽輻射和優質風能，這與歐洲氫基直接還原鐵（H₂-DRI）項目所在地的西班牙北部和瑞典大部分地區相當，為這些省份的重工業提供了可再生電力部署的良好前景。

在中國北部地區，尤其是內蒙古，擁有大量被棄的可再生電力資源，這裡擁有中國最好的太陽能和風能條件之一。內蒙古正在利用這些豐富資源來實施其戰略氫氣規劃，其中2.2 GW的風能和太陽能基礎設施主要用於供應綠色氫氣電解槽。中國寶武鋼鐵也宣佈，未來將在該省建設1.5 GW的電解槽。

利用中國的可再生電力資源來生產綠色鋼材將取決於該行業在中國複雜的監管環境中的應對能力。目前，中國仍是採購可再生電力最具挑戰性的國家之一。儘管歐洲和北美的企業電力購買協議（CPPAs）提供了價格確定性和去碳化的電力供應，但在中國被稱為“雙邊合約”的CPPAs在市場和監管不確定性中仍處於初期階段。

⁷ TA分析，<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/hydrogen-production-projects-interactive-map>

⁸ <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023/executive-summary>

CPPAs的監管框架仍在發展中，中央和地方政府將如何制定和執行相關法規仍存在不確定性。某些地區的電網接入挑戰和合理的削減風險仍然影響CPPAs的可行性。電力市場的設計機制，以及與長期承諾相關的潛在金融和信用風險，也增添了複雜性。

值得高興的是，可再生能源的蓬勃發展帶來了樂觀的理由。中國2021年《十四五規劃》再次重申了到2030年實現風能和太陽能總裝機容量達到1,200 GW的目標。然而，隨著“電動車戰爭”和中國目標設置的保守性，該目標已於2023年7月提前實現。預計到2024年底，新增裝機容量將使中國的太陽能和風能裝機總量達到1,310 GW。⁹

中國目標到2030年實現氫氣成本降至每公斤2.4美元

以上因素使中國在電解槽產能和可再生電力生產方面成為領先者。前者具備競爭力的資本支出（CAPEX），後者則具有較低的電力平準化成本，兩者應能推動全球氫氣價格達到具競爭力的水平。

許多分析師（如彭博）指出，每公斤2美元¹⁰是綠色氫氣與化石氫氣競爭的標準。實際上，在“逐步上升的歐洲碳稅”的環境下，ArcelorMittal在其位於西班牙北部的低碳鋼試點項目中，將2美元/公斤作為經濟生產的指標。

正如我們早前發布的技術經濟分析中所展示的（見延伸閱讀），在沒有碳定價的情況下，中國的綠色氫基直接還原鐵-電弧爐（H₂-DRI-EAF）鋼鐵生產方式成本高於高爐-轉爐（BF-BOF）和天然氣基直接還原鐵-電弧爐（NG-DRI-EAF）方法。要使其與NG-DRI-EAF方法成本持平，氫氣價格需要達到約每公斤2美元，而要與BF-BOF達到成本平衡，在無補貼的情景下則需要約1.4美元/公斤。

同樣的討論也引發了“空間減碳”（指的是將直接還原鐵的生產轉移到低氫氣生產成本的地區，然後將這些鐵以熱壓塊鐵（HBI）的形式運輸至電弧爐，這被認為是較儲存和運輸氫氣至DRI設施更低成本的路徑）。¹¹簡單地說，就是將HBI的生產外包至像澳洲或巴西等國家。

空間減碳對不適合低成本氫氣生產的國家（例如日本）或企業（如日本製鐵）具有價值。然而，儘管在中國內部可能出現氫氣生產與DRI生產在地理位置上的脫鉤（因各省競爭新的綠色氫氣市場），但這並不會對整體的中國H₂-DRI-EAF價值鏈構成威脅。

更重要的是，中國氫能聯盟（CHA）預計到2025年，包括資本支出在內的綠色氫氣生產成本將降至每公斤25元人民幣（約4美元），並在2030年降至每公斤2.4美元。如前所述，從電解槽和可再生能源裝機容量的最新增長來看，我們認為這一數字可能過於保守，氫氣價格在這十年間還有進一步下行空間。

9 <https://www.scmp.com/business/china-business/article/3268707/china-meet-its-2030-renewable-energy-target-end-year-state-owned-researcher>

10 <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-Hydrogen-Economy-Outlook-Key-Messages-30-Mar-2020.pdf>

11 <https://www.hydrogeninsight.com/industrial/green-hydrogen-is-too-expensive-to-use-in-our-eu-steel-mills-even-though-weve-secured-billions-in-subsidies/2-1-1601199>

直接還原鐵：“氫氣就緒”的還原鐵技術與高品位鐵礦石供應

“氫氣就緒”項目

歐洲率先推進了H₂-DRI-EAF技術，而中國的鋼鐵行業正努力追趕。在過去的12個月裡，隨著一些重要的H₂-DRI項目的公佈、建設及投入運營，該領域的雄心和建設力度顯著提升。儘管目前在這方面的頂層政策不多，且大部分都在“氫冶金”的名義下進行，但一些企業已開始積極行動。

表1：中國具有重要意義的H₂-DRI項目

項目地圖	公司	項目名稱	產能（噸/年）
廣東湛江	寶鋼	寶鋼湛江鋼鐵直接還原鐵擴建項目	100萬
河北張家口	河鋼	河鋼集團氫冶金示範項目	120萬
內蒙古烏海	建龍鋼鐵	建龍內蒙古賽斯普公司氫冶金項目	30萬
山東日照	日照鋼鐵	日照鋼鐵氫氣合成氣體直接還原鐵項目	50萬
河北邢台	邢台鋼鐵	低碳高氫煉鐵技術轉型項目	165萬
晉中山西	中晉冶金科技	氫基直接還原煉鐵項目	30萬
內蒙古包頭	明拓集團	氣基豎爐直接還原煉鐵項目	110萬
遼寧鞍山	鞍鋼集團	綠氫零碳項目	1萬

來源：Transition Asia

以上圖表引用了多個來源，概述了寶鋼在廣東湛江的大型鋼鐵廠、河鋼集團在河北張家口的氫基直接還原鐵項目、以及建龍鋼鐵在內蒙古烏海的项目等重要項目的關鍵細節。¹²此外，山東日照的日照鋼鐵、河北邢台的邢台鋼鐵和山西晉中的中晉太行礦業公司也在中國不斷發展的鋼鐵生產格局中貢獻力量。該表格提供了這些H₂-DRI項目的概覽及其年度產能。

中國大部份的直接還原鐵項目位於北部省份，環繞北京的地區。這些省份是中國的鋼鐵生產核心地帶，其中河北、江蘇、山東、河南和安徽五省佔中國粗鋼產量的60%以上。值得注意的是，內蒙古自治區也是兩個氫基直接還原鐵項目工廠的所在地。近年來，這個傳統上以煤炭為主的地區，由於風能和太陽能的高潛力，已成為可再生電力項目的熱點。

¹² Transition Asia將具有生產大量直接還原鐵（DRI）能力的氫氣直接還原鐵（H₂-DRI）項目分類為重要項目，這些項目使用了已建立的直接還原鐵技術或利用電解產生的氫氣。研究與開發項目則未被視為「重要」項目。

表2：項目及其氫源

氫基直接還原鐵	氫氣來源
寶鋼湛江鋼鐵直接還原鐵擴建項目	天然氣、焦爐煤氣 ¹³
河鋼集團氫冶金示範項目	焦爐煤氣 ¹⁴
建龍內蒙古賽斯普公司氫冶金項目	焦爐煤氣 ¹⁵
日照鋼鐵氫基合成氣體直接還原鐵項目	醋酸乙烯 ¹⁶
邢台鋼鐵低碳高氫煉鐵技術轉型項目	冶煉爐廢氣 ¹⁷
中晉太行礦業氫基直接還原煉鐵項目	煤炭 ¹⁸
明拓集團氫基堅爐直接還原煉鐵項目	煤炭 ¹⁹
鞍鋼集團綠氫零碳項目	綠氫 ²⁰

來源：Transition Asia

這些項目中的大多數是“氫氣就緒”的，但目前使用的是由天然氣或焦爐氣生產的化石氫。競爭性綠氫的價格、供應、運輸和儲存是促進從化石氫轉向綠氫的關鍵。也就是說，目前的生產能力已經超前於綠氫供應鏈，而市場發展應該針對這個瓶頸進行調整。^{21 22}

值得注意的是，鞍鋼的可再生能源氫基還原鐵（RE-H₂-DRI）項目是全球首個在“零碳流化床”中使用綠氫的項目，該項目於2022年開始建設。根據新聞報導，該項目使用純度為65%的鐵礦作為原料，採用氫氣作為還原氣體，氫氣將通過水電解產生，而不是使用化石燃料。該研究項目每年將生產1萬噸的直接還原鐵。²³

此外，如果所有這些項目都交付完成，將帶來約500萬至600萬噸的綠鋼產能。這一數字已超過了2023年歐洲對該產品的需求。²⁴無可避免地，我們預計中國生產的綠鋼將主要用於國內工業，尤其是汽車行業，這一點我們將在下文中進一步探討。潛在的綠鋼產能再次證明中國在規模上佔據優勢，已使中國超越日本和韓國，成為東亞市場的領導者。我們預計，到2030年之前及以後，這一增長勢頭將會進一步擴大。

¹³ https://www.danieli.com/en/news-media/news/second-energron-dri-plant-china_37_743.htm

¹⁴ https://www.danieli.com/en/news-media/news/hbis-producing-dri-using-more-60-hydrogen_37_818.htm

¹⁵ https://www.asiachem.org/en/fcv_20230115

¹⁶ https://news.gmw.cn/2020-05/27/content_33862795.htm

¹⁷ https://www.sohu.com/a/574216091_313737

¹⁸ <http://www.mme-co.de/en/Home/projects/DRI-CSTM.html>

¹⁹ https://www.asiachem.org/en/fcv_20230115

²⁰ <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n16303206/c28962599/content.html>

²¹ 焦煤加熱會產生氫氣作為副產品，這些氫氣是通過焦爐煤氣脫硫來捕獲的。在焦爐過程中，煤在無氧環境下加熱，產生焦炭和含有氫氣、甲烷和一氧化碳的焦爐氣。氫氣捕獲涉及焦爐氣的生成、脫硫、氣體純化、分離以及在直接還原鐵爐中的利用。

²² 通過蒸汽甲烷重整（SMR）產生氫氣的過程中，甲烷與蒸汽在鎳基催化劑的作用下反應，產生氫氣、一氧化碳和二氧化碳。經過處理以提高氫氣含量並去除雜質後，氣體會進行水煤氣轉化反應和純化以用於工業用途。SMR過程碳排放量較高，每公斤氫氣產生8-10公斤二氧化碳。煤氣化產生的氫氣碳排放量更高，每公斤氫氣釋放18-20公斤二氧化碳（來源：<https://www.hydrogennewsletter.com/gh2-facts/>）

²³ <https://finance.eastmoney.com/a/202311052894807388.html>

²⁴ <https://gmk.center/en/news/demand-for-green-steel-in-europe-will-reach-3-68-million-tons-in-2023-study/>

直接還原鐵技術

無論氫氣的來源是什麼，使用氫氣作為還原劑的直接還原技術已經在全球得到證實並投入生產。目前，全球市場由兩家主要的直接還原技術供應商主導：Tenova和Midrex。這兩種技術都提供了在爐內使用不同組合的還原氣體來將含鐵礦石還原為金屬鐵的機會。通常，基於天然氣的氫氣在爐內還原氣體中約佔50%，而一氧化碳佔其餘部分。Midrex的技術已經商業化證明可以達到最高80%的氫氣比例；然而，Tenova的Enigeron技術是瑞典HYBRIT項目的首選技術，該項目使用100%的綠氫作為還原劑。

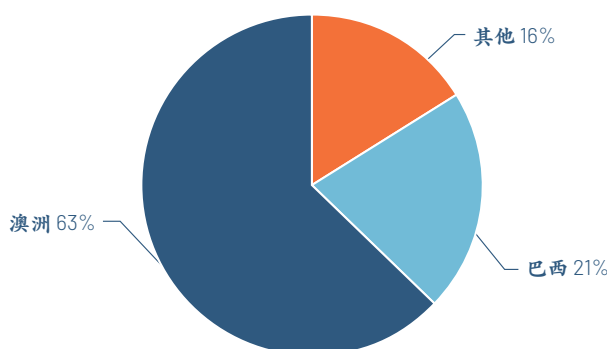
Tenova的技術目前比Midrex的技術在氫基直接還原鐵領域更受歡迎，因為其系統更為緊湊，這使得相比基於天然氣的直接還原鐵，氫基直接還原鐵過程中需要更高的壓力來提高效率。此外，美國的Midrex目前因地緣政治問題在中國面臨一些阻力。儘管如此，這兩種技術都可以生產不同形式的鐵，如熱壓塊鐵（HBI）、冷直接還原鐵（CDRI）和熱直接還原鐵（HDRI），這些都可以應用於不同的煉鋼過程中。伊朗的直接還原技術也應用於一些中國的氫基直接還原鐵項目，該國在直接還原鐵生產方面有著悠久的歷史。通過豎爐生產直接還原鐵並不是唯一的氣基直接還原鐵生產方法，批量和連續流化床工藝也存在，儘管其市場採用率低得多。寶鋼和河鋼的兩個旗艦氫基直接還原鐵-電弧爐項目都採用了Tenova技術。

確保高品位鐵礦石的供應

為了生產氫基直接還原鐵電弧爐鋼，需要高品質的鐵礦石，最低鐵含量約為67%。這些鐵礦石通常會預先加工成球團或塊礦，供直接還原工藝使用。南美、加拿大、瑞典、巴林和伊朗是這類高品位鐵礦石的主要供應國。這意味著中國需要改變其鐵礦石採購策略，因為現時的採購是根據國家政策進行的。

中國的鐵礦石格局主要以高爐級鐵礦石為主，其鐵含量約為62%。由於國內可用的鐵礦石品位較低（約34.5%的鐵含量），中國約有80%的鐵礦石依賴進口。2023年，進口鐵礦石主要來自澳洲（63%）和巴西（21%），其餘16%則來自印度和南非等國家。²⁵

圖2：中國——2023年進口鐵礦石來源國



來源：截至2023年底的Wind數據和光大證券研究

25 截至2022年底的Wind數據和光大證券研究

為應對潛在的風險和政治因素，中國企業正在各地戰略性地開發礦山。值得注意的是，隨著中國尋求資源安全並減少對澳洲的依賴，西非地區，尤其是幾內亞，成為了一個重要轉向點。收購幾內亞西芒杜高品位鐵礦的採礦權，正是中國確保未來關鍵資源的策略之一。²⁶

中國鋼鐵企業還投資於秘魯、阿爾及利亞和利比里亞的鐵礦石，提供了日益多元化的供應鏈。政府計劃到2025年將鐵礦石儲備增加至3.7億噸，這一目標體現了其資源安全戰略。²⁷地緣政治因素同樣影響著中國的鐵礦石進口，例如隨著政治關係日益緊張，來自印度和澳大利亞的鐵礦石進口已減少。²⁸

高品位鐵礦石的採購似乎不會成為氫基直接還原鐵電弧爐技術的短期瓶頸。事實上，公共政策已經針對價格和數量的穩定供應作出了規劃。其中，旨在提升中國鋼鐵行業資源安全能力的“基石計劃”尤為關鍵。²⁹

電弧爐（EAF）：中國的市場發展與政策目標

中國的大多數電弧爐利用廢鋼作為原料，即通過短流程生產再生鋼。然而，由於初級鋼生產仍在發展中，電弧爐必須建設以適應以直接還原鐵或熱壓鐵形式的低碳鐵，並運用可再生電力以最大化碳減排。

中國目前的目標是到2025年，電弧爐鋼的產量佔鋼鐵總產量的15%，並在2030年前達到20%（這一目標在《工業領域碳達峰實施方案》³⁰中有所提及，並受到其他政府部門的支持³¹）。然而，與全球每年約29%的鋼材來自電弧爐相比，中國的電弧爐鋼比例仍然偏低。展望2030年以後，中國鋼鐵協會提出了一項戰略建議，預計到2035年，電弧爐鋼的產量將超過總粗鋼產量的30%。

目前，中國尚未為氫冶金設立具體的量化目標，這在該領域是一個明顯的缺失。但是，電弧爐的數量應足夠應對H₂-DRI的處理，具體取決於需求的增長。

買家：中國汽車行業的強烈信號

中國的汽車公司在與鋼廠直接建立長期購買綠鋼協議方面引領潮流，目前已簽署了多項受高度重視的諒解備忘錄（MOU）。

26 <https://www.riotinto.com/en/operations/projects/simandou>

27 <https://www.scmp.com/economy/china-economy/article/3168796/china-aims-fundamentally-solve-iron-ore-shortages-cornerstone>

28 <https://gmk.center/en/news/chinas-steelmakers-seek-to-increase-the-use-of-domestic-resources-of-the-iron-ore/>

29 “China’s ‘Cornerstone Plan’ Aims to ‘Fundamentally’ Solve Iron Ore Shortages.” South China Morning Post, 1 Mar. 2022, www.scmp.com/economy/china-economy/article/3168796/china-aims-fundamentally-solve-iron-ore-shortages-cornerstone. Accessed 3 Mar. 2023.

30 <https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/01/5703910/files/f7edf770241a404c9bc608c051f13b45.pdf>

31 <https://gmk.center/en/news/china-aims-to-increase-the-share-of-eaf-in-steel-production-to-20-by-2030/>

河鋼集團——中國最大的鋼鐵生產商之一，已與長城汽車展開低碳鋼合作，專注於使用氫基還原鐵技術和約30%的高廢鋼比率生產的鋼材。³²此外，河鋼集團唐鋼公司³³也與寶馬集團簽署了一份有關供應低排放鋼材的諒解備忘錄。³⁴雖然供應的鋼材具體數量尚未披露，但寶馬集團位於瀋陽的生產設施每年可生產多達65萬輛汽車。³⁵這種低排放鋼材相較於傳統的BF-BOF鋼材能減少10%至30%的二氧化碳排放。³⁶此外，寶鋼計劃向北汽（北京奔馳汽車有限公司）提供減排鋼材。³⁷

自2026年起，寶鋼計劃利用氫基還原鐵技術-電弧爐煉鐵技術提供碳排放強度減少50%至80%的鋼材，並計劃推出減少95%碳排放的綠色鋼材。³⁸2023年底，寶鋼與奇瑞汽車簽署了一份有關低碳鋼的諒解備忘錄³⁹，根據該備忘錄，寶鋼將從2024年開始逐步向奇瑞現有生產提供碳減排約30%的低碳綠色鋼材。到2026年，借助氫基還原鐵技術技術，將逐步提供碳減排超過50%的低碳綠色鋼材。

近日，寶馬-華晨和北京首鋼股份有限公司之間，以及一汽-大眾和寶鋼之間也簽署了綠色鋼的購買協議。^{40 41}

儘管中國汽車行業的鋼材消費量較建築或機械行業小，但該行業通過與鋼材生產商的長期購買協議推動了H₂-DRI鋼的需求。儘管目前多數H₂-DRI-EAF工廠的綠色定位尚且存疑，因為這些氫氣主要來自焦爐或天然氣，但如果汽車行業繼續對低碳產品施加需求壓力，這種情況就可能不會持久。

汽車行業的經濟因素並不是主要問題。正如我們之前的研究所強調的，綠色鋼材在電動汽車中的單位成本與總單位成本相比幾乎微不足道。⁴²我們的分析顯示，綠色鋼材在一輛汽車上的邊際成本目前約為每單位225美元，而H₂-DRI-EAF的邊際成本約為每單位25美元（以每公斤氫氣2美元計算）。^{43 44 45}

32 <https://news.bjx.com.cn/html/20230816/1326041.shtml>

33 <https://www.hbisco.com/en/news/group/t101/2064>

34 <https://www.bmw-brilliance.cn/cn/en/news/news/2022-8-4.html>

35 <https://www.bmw-brilliance.cn/cn/en/pr/shenyang.html>

36 <https://auto.cctv.com/2022/08/05/ARTIF4GCItEOauglknBGUE3B220805.shtml>

37 <https://www.bbac.com.cn/CN/4/41/3098.html>

38 <https://www.stcn.com/article/detail/738093.html>

39 <https://info.lgmi.com/html/202312/15/4445.htm>

40 https://auto.online.sh.cn/content/2024-08/27/content_10236977.htm

41 <http://bj.news.cn/20240731/86311b9758254f6d9540699e53e5a3f7/c.html>

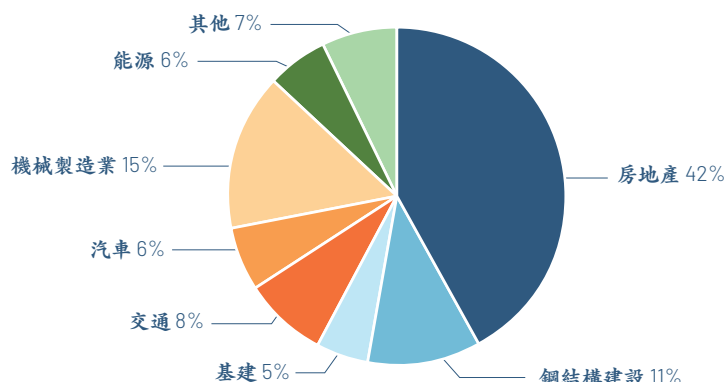
42 <https://transitionasia.org/green-steel-economics-china-factsheet/>

43 鋼鐵的平準化成本基於液態鋼的成本，不包括下游加工。

44 氫氣價格為到達鋼廠的交貨價格。

45 由於產能置換政策，綠地項目與綠地項目的成本更具可比性，而不是像其他大多數國家那樣進行邊際項目與綠地項目的成本比較。

圖3：中國鋼鐵下游行業消費份額，2022年



來源：WIND

政策和補貼背景：促進氫基直接還原鐵電弧爐技術的發展

政策正在快速發展

從以高爐-轉爐為主的十億噸鋼鐵產能轉型至可持續技術是一個巨大的挑戰。中國推進氫基直接還原鐵電弧爐技術必然涉及大量的企業和國家開支，包括DRI和EAF技術、氫氣生產、儲存及運輸設施。此外，實現100%以氫作為還原劑在技術上也極具挑戰性，目前大多數直接還原工廠在實際操作中僅能達到70%的氫氣比例。

從宏觀角度來看，鋼鐵行業的前景將進一步受到抑制。中國的疫情後經濟復甦速度慢於預期，對鋼鐵產業帶來了挑戰。中國房地產業是鋼鐵的主要消費者之一，由於主要房地產公司的財務困境，目前正面臨重大阻力。部分企業面臨破產風險，其他企業則掙扎於違約風險或利潤損失，導致房地產行業對鋼鐵的需求大幅下降。⁴⁶ 該行業在2022年佔中國鋼鐵總消費量的42%。⁴⁷

中國的鋼鐵產能從2021年的11.46億噸增至2023年的11.73億噸。由於鋼鐵需求未能跟上產能擴張的步伐，鋼鐵產能利用率從2021年的90.1%下降至2023年的86.9%，對企業盈利能力造成負面影響，一些分析師將其稱為該行業有史以來最嚴重的危機。^{48 49 50}

此外，全球碳邊境相關的措施實行也增加了問題的複雜性，例如如歐盟的碳邊境調整機制（CBAM）已於2023年生效，但我們認為這並非目前最重要的推動力。

最近，隨著鋼價下跌，中國已暫停鋼鐵產能置換機制，並繼續推進市場合理化和集中化政策，這意味著任何形式的新產能都不能再建設，業內預計將很快迎來一次行業重整。

⁴⁶ 根據中國國家統計局的數據，2023年房地產投資的完成額同比下降了5.7%，建設活動的放緩減少了鋼材採購。

⁴⁷ 截至2022年底的Wind數據

⁴⁸ <https://gmk.center/en/infographic/chinas-steel-market-in-2021-2023-overcapacity-and-export-growth/>

⁴⁹ <https://splash247.com/only-5-of-chinese-steel-producers-are-currently-profitable/>

⁵⁰ “中國最大鋼鐵製造商寶武警告稱，中國生產商面臨嚴重危機” <https://www.ft.com/content/41c9fa0d-9b3e-48d4-b4b4-bb8f8863c0e0>

國家對鋼鐵行業的總體目標是打造世界級的超大型鋼鐵企業集團和頂級專業化公司，力爭到2025年，前五大鋼鐵企業的行業集中度達到40%，前十大鋼鐵企業的集中度達到60%。⁵¹這對中國的勞動力市場具有深遠影響，且不可能一蹴而就。在此背景下，市場合理化是一個機會，可以淘汰最老舊、效率最低的高爐，並確保合理化過程中的“贏家”具備在未來適用電弧爐和直接還原鐵的能力。

從本質上看，這些政策變化和目標明確是對市場價格和產能過剩的回應，而非減碳的指令。然而，鋼鐵產能置換機制的暫停或市場合理化不應被視為向電弧爐生產轉型（而非簡單替換）的障礙，因為電弧爐是推動綠色再生鋼和初級鋼生產以及短期減碳的關鍵因素。⁵²事實上，當前2025年電弧爐15%的產量目標需要在2030年再度上調至接近20-25%，以實現減排目標。

同樣，為確保中國快速增加直接還原鐵的生產，相關目標必須納入國家減碳框架中，並且需要超越“氫冶金”的定義，特別是聚焦於氫基直接還原鐵電弧爐這項技術。

補貼和金融信號需要與政策保持一致

中國在千禧年初推出的工業補貼，徹底改變了全球鋼鐵市場，將中國從鋼鐵淨進口國轉變為淨出口國。如今，中國生產了全球一半以上的鋼鐵，通過補貼推動的產能過剩，導致國際市場上出現價格底線。

此外，鋼鐵行業正在面臨債務風險上升的挑戰，加上流動性不足和高債務水平以及持續上升的原材料成本，使得營運現金流減少。⁵³國內對於新技術和發展中技術缺乏相關補貼，也對前沿綠色鋼鐵項目的資金籌措和建設構成挑戰。在這種背景下，許多鋼鐵公司將氫基直接還原鐵和綠鋼視為生存關鍵，需要補貼和更強的金融信號來鼓勵投資。

目前，已有一些針對資本支出（例如美國、英國和西班牙的電弧爐補貼）以及綠氫生產的補貼。我們正在評估應納入中國“十五五”規劃的2030年目標，並考慮需要制定的補貼水平，以保持中國在低碳初級鋼生產中的全球領先地位。綠鋼補貼應由兩種工具組成：一是按每噸產能提供的資本支出補貼（用於建設），二是按每噸產量提供的可變補貼。後者可以根據氫價格調整，隨著綠氫變得更便宜，可變補貼也應逐步減少，直到綠色氫價格降至每公斤2美元。如果鋼鐵公司自行生產綠氫，這些企業也應享有相應的補貼。

⁵¹ 《促進鋼鐵工業高質量發展的指導意見（徵求意見稿）》，工業和信息化部（MIIT），2020年。

⁵² 《工業和信息化部辦公廳關於暫停鋼鐵產能置換工作的通知》，工業和信息化部（MIIT），2024年。

⁵³ 焦煤價格在近年來顯著上漲，鐵礦石價格仍維持在高位。

建議

直接還原鐵（DRI）目標

雖然中國為電弧爐鋼鐵生產設定了目標，但煉鐵技術方面，尤其是推動向DRI技術轉型的目標仍未確立。中國的政策制定者應為DRI製造技術設置由上而下的目標。自從實施產能置換政策以來，新的鋼鐵製造設施主要是高爐與高爐之間的置換，只是提升了效率。為確保中國能快速增加DRI的生產，我們建議應將DRI生產目標納入工業脫碳政策中。

擴大電弧爐的發展

中國目前的目標是到2030年，通過電弧爐生產20%的鋼材。雖然距離這一目標還有7年時間，但與全球相比，中國使用EAF生產的鋼材比例仍然偏低，目前全球約30%的鋼材每年通過EAF生產。如果不包括中國，全球EAF基鋼的生產比例接近50%。大多數中國的電弧爐使用廢鋼作為原料，生產低碳的再生鋼。然而，由於仍需生產初級鋼，EAF必須具備處理低碳鐵（如DRI）的能力。

扶助國內電解槽生產

降低電解槽的成本將是實現中國氫價降低的關鍵，因為目前鋼鐵行業尚未規模化生產綠氫。高度協調的工業戰略能將中國打造成為風能和太陽能電力市場的領導者，打破歷來由歐洲和日本主導的格局。我們認為透過建立和維持有利的政策環境，同時利用國內投資者的積極信號，可以幫助中國擴大電解槽的製造能力，並最終降低成本。

有效地規劃企業可再生電力供應

作為綠色鋼鐵生產成本中最具影響力的參數之一，廉價且可用的可再生電力對於實現具競爭力的綠色鋼鐵生產至關重要。氫的生產、運輸和儲存、加熱和EAF電力的供應，都依賴於鋼鐵製造商獲得非自產的、基於電網的可再生電力，這通常通過企業電力購買協議（CPPA）來實現。為了實現競爭力的綠色鋼鐵價格，電力價格需接近技術專項的平準化發電成本（LCOE），因此，PPA市場設計對於降低氫成本和H₂-DRI在中國的可行性至關重要。西方基荷PPA市場由於高市場價格和日益增長的削弱風險，成本有所增加，而中國的政策制定者應設計一個有利的基荷PPA市場機制，適用於變動的可再生電力發電，為購電方提供持續的電力供應穩定性和對沖電價。

完善碳定價

歐洲的碳市場已大幅提高了化石燃料密集型行業的邊際成本。將碳定價擴展至鋼鐵行業，為未能脫碳的企業引入“懲罰”機制。令人鼓舞的是，中國政府最近釋出信號，表示將鋼鐵行業納入中國的碳排放權交易市場（ETS）。在不到三年的時間內，中國的碳定價已翻倍，並在2024年5月超過每噸二氧化碳100元人民幣。為使該機制能像在電力行業中那樣惠及低碳鋼製造商，政策制定者應逐步引入更嚴格的基準，吸引更多市場參與者，例如可再生能源供應商和金融機構，以提高市場流動性，並探索將排放配額拍賣引入ETS。

簡單直接的綠色氫補貼

綠色氫的價格是 H_2 -DRI-EAF工藝中影響成本最顯著的因素，降低成本對於鋼鐵行業的脫碳至關重要。目前，美國和歐洲的綠色氫生產分別享有每公斤3美元和2.2美元的補貼。⁵⁴歐洲的氫補貼比美國更加複雜，美國提供的是基於氫的碳強度的直接補貼。中國的政策制定者應建立一個簡單的直接補貼機制，為生產者提供確定的成本保障。隨著氫生產成本的下降，補貼可以隨之逐步減少，類似於逐步降低可再生能源價格的上網電價補貼。

延伸閱讀

[綠色鋼鐵經濟學：全球範圍內綠色氫-直接還原鐵（ \$H_2\$ -DRI）與傳統鋼鐵製造的經濟比較](#)

[解讀中國鋼鐵產能置換政策：十年之路，暫停或為更好前行](#)

數據和免責聲明

本分析僅供參考，不構成投資建議，且不應作為作出任何投資決定的依據。此文代表了作者對受評估公司自行報告的公開資訊的看法和解讀。本文提供了公司報告的參考資料，但作者並未試圖驗證這些公司提供的公開自我報告資訊。因此，作者無法保證本文提供的所有資訊的事實準確性。作者和氣候轉型亞洲（Transition Asia）明確對第三方使用或發布參考本文的資訊不承擔任何責任。

我們的團隊

左凌琿

bonnie@transitionasia.org

陳雲悠

vittoria@transitionasia.org

關於氣候轉型亞洲

Transition Asia（氣候轉型亞洲）成立於2021年，是一間總部設於香港的非牟利智庫，專注於以深度的產業和政策分析、投資者洞見及策略性遊說，在東亞地區推動與實現限升溫 1.5°C 目標一致的企業氣候行動。Transition Asia與全球的企業、金融和政策持份者協作，致力推動變革，實現淨零排放、富抗逆力的未來。請造訪 transitionasia.org 或關注我們 @transitionasia 以了解更多信息。

⁵⁴ <https://www.menon.no/wp-content/uploads/2023-48-Hydrogen-subsidy-regimes.pdf>

