

轉爐煉鋼大廢鋼比技術調查

一、前言

高轉爐製程是現代鋼鐵生產中的重要技術，其一貫作業且長流程的特點使得鋼廠能夠高效且穩定地生產鋼材。然在當前全球面臨氣候變遷的背景下，綠鋼短期內應無法合乎成本地生產，故合理推論煉鋼製程強化廢鋼使用為減碳之關鍵路徑。提高再生料使用比率係國際減碳重要方向之一，在公司低碳轉型策略中，由客戶端驅動之提高廢鋼比，生產 RC 材趨勢亦越發明顯，在多元減碳路徑中，增用廢鋼乃減碳成效最立即且顯著的方式，生產技術包括「煉鋼轉爐熱能補償」、「最佳吹煉溫度控制」、「高廢鋼量快熔技術」及「石灰投入量管控」等，目前公司部分鋼種廢鋼比可達 30%^[1]。

近年首鋼集團與湖南華菱漣源鋼鐵陸續公布其轉爐大廢鋼比達 50% 的資訊，顯示中國大陸鋼廠在長流程的鋼鐵製造技術，逐漸摸索出以圍繞大廢鋼比為中心之煉鋼減碳技術，此外國際先進鋼廠同樣有針對轉爐添加廢鋼技術進行研究。

本報告除前述鋼廠外，另調查寶武提團、JFE 鋼鐵、POSCO、ArcelorMittal 之轉爐添加廢鋼之製程水準，以期對公司中長程「先低碳、再零碳」兩階段的碳中和路徑規劃有所啟發。

二、中國大陸技術——以首鋼集團、寶武集團為例

在過去十年中，中國大陸在轉爐添加廢鋼的專利申請數量顯示出明顯的增長趨勢(圖 1)，2016 年至 2018 年間，相關專利數量為 27 件，而在 2019 年至 2021 年間，專利數量上升至 38 件，到了 2022 至 2024 年，專利數量更是達到 50 件，顯示出這一領域的研究與開發正在快速增長。

專利來源方面，首鋼和寶武分別擁有 21 件和 20 件專利，顯示出這兩家企業在技術創新方面的領導地位。此外，華菱集團旗下漣鋼也有 13 件專利(圖 2)，進一步證明了鋼鐵行業對於廢鋼應用的廣泛關注。

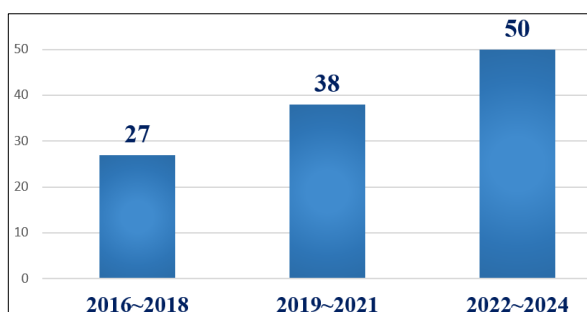


圖 1. 轉爐添加廢鋼專利趨勢

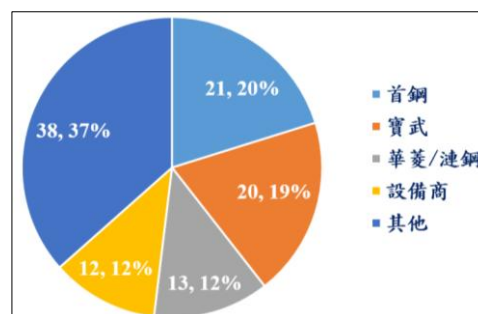


圖 2. 轉爐添加廢鋼之專利權人分布

1. 首鋼集團

轉爐大廢鋼比製程難點在於熱量不足和殘留元素難控制，首鋼京唐自 2024

年開始發布諸多轉爐 50%大廢鋼比訊息^[2]，鋼種涵蓋 IF 鋼、DP、HSLA 等，今年 3 月更進展至 55%^[3]，不管在專利布局與資訊公開上均相對完整，其 6 項技術拆解如下：

(1) 一罐到底控溫降

首鋼京唐「全三脫」製程配置 2 座 5,550m³ 高爐、4 座 KR 脫硫站、2 座 300t 脫磷轉爐以及 3 座 300t 脫碳轉爐。高爐出鐵後逕倒入盛銑桶，送往 KR 站進行脫硫前處理，再兌入脫磷轉爐，透過「一罐到底」模式，可減少溫降，如圖 3；而脫磷轉爐和脫碳轉爐採用雙高跨佈置，便於天車倒運「半鋼」鐵水^[4]。

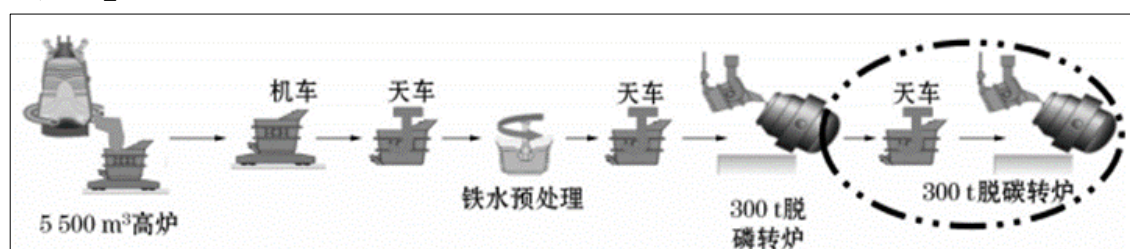


圖 3. 首鋼京唐鋼廠「一罐到底」模式

(2) 轉爐內廢鋼預熱

依據專利資料，首鋼集團目前有數種爐內廢鋼預熱方式，如專利 CN117821690，係加入碳源和廢鋼後，頂吹氧氣搭配底吹二氧化碳，獲得升溫廢鋼，當廢鋼的加入量為轉爐公稱容量的 40%~60%時，碳源的加入量為所述轉爐公稱容量的 2-8%。結合首鋼京唐大廢鋼比報導資訊，推測其直接於爐內預熱廢鋼，相對電熔爐預熱廢鋼，可減少廢鋼因搬送所產生之熱損失。

(3) 低碳補熱劑添加

目前無法確認首鋼京唐之「低碳補熱劑」所指為何，可能指矽鐵或生質碳，將持續追蹤是否未來有公開文獻，而依據已公開專利 CN114058768，補熱劑為石灰、LF 殘餘耐火材料以及焦炭之混合料，與廢鋼混和後進行吹氧加熱，獲得熱廢鋼。

(4) 脫碳爐/脫磷爐之雙爐冶煉

依據專利 CN111944936、CN105821177，鐵水和廢鋼加入脫磷轉爐進行冶煉，獲得脫磷半鋼水，再將脫磷半鋼水加入脫碳轉爐進行冶煉，獲得鋼水和脫碳爐爐渣；再將液態脫碳爐爐渣倒出，降溫至 600°C~900°C，獲得塊狀脫碳爐爐渣，將塊狀脫碳爐爐渣加入所述脫磷轉爐中進行循環利用。

此法使得脫碳爐渣潛熱可以持續工業化回收利用，降低了脫磷過程造渣吸熱，並提升了煉鋼材料的利用率，充分替代石灰等材料，有利降本增效，此外更可推測首鋼京唐利用雙爐法，於兩座轉爐分別添加廢鋼，因此可獲得大廢鋼比。

(5)使用多孔氧槍噴頭

依據專利 CN108300831，二次燃燒氧槍係用於脫磷轉爐，以降低補熱劑消耗，專利係採用多孔氧槍噴頭，內孔採用拉瓦爾型噴孔，外孔採用直筒形噴孔；所述內孔參數為：中心傾角 14-16°，馬赫數 2.0-2.2，設計氧流量 22000-28000Nm³/hr；所述外孔參數為：中心傾角 25-40°，馬赫數 1.0，設計氧流量 2500-4000Nm³/hr，噴頭工作氧壓為 0.85-1.0MPa。

(6)維持廢鋼品質

2024 年 7 月，首鋼集團與 VOLVO 汽車、浙江弋雲再生資源進行三方簽約，旨在共同推動汽車用鋼生產、使用和回收全鏈優化，實現鋼材高效利用。此舉為建立廢鋼之封閉回收源，並且對廢鋼分類使用，對於生產高廢鋼比之高規格鋼材有正面助益。

2. 寶武集團

寶武集團旗下鋼廠眾多，各自有不同的廢鋼添加策略，以梅山鋼鐵(CN112813222、CN115704055、CN117004790)為例，轉爐廢鋼比為 19~30%，廢鋼比 30%案例係廢鋼於爐外預熱 300~600℃，更精確預熱溫度計算為下式：

$$(1408 - (0.837 \times t_1 + 29630 \times w[\text{Si}] + 481) \times (1 - k)) / (0.699 \times k)$$
，單位為℃；其中， t_1 為鐵水溫度，單位為℃； $w[\text{Si}]$ 為鐵水中矽的重量百分比； k 為轉爐內金屬料中廢鋼品質比例。

另鄂城鋼鐵係使用 130t 小型轉爐(CN113215347、CN114686643)，採行留渣操作，並以自動煉鋼模型為基礎，上一爐出鋼結束，留總渣量的 1/3~1/2，搖正爐體，準備下一爐冶煉，廢鋼則提前預熱至 400~500℃，兌入廢鋼量為 38~48t，以入爐鐵水溫度 1300℃、鐵水矽含量 0.3%為基準，兌入廢鋼基準量為 38t，在此基礎上，鐵水溫度每升高 10℃，廢鋼相應增加 0.8~1.2t，鐵水矽含量每升高 0.1%，廢鋼相應再增加 1.5~1.8t；兌入廢鋼後，爐體搖正一次，即開始爐渣與廢鋼之間的熱交換，有利於廢鋼快速預熱，之後再次傾斜爐口直接兌入鐵水。依據專利內容，鄂城鋼鐵之轉爐廢鋼比可達 25~30%，全製程的廢鋼比可達 28~33%。

其他廢鋼預熱方面，寶山鋼鐵則主攻利用轉爐煙氣預熱廢鋼，以減少煙氣的熱量浪費，如專利 CN117305539、CN117305534 等。

3. 漣源鋼鐵

相較於產能三千萬噸之首鋼、億噸等級之寶武集團，漣源鋼鐵現行年產能

約 790 萬噸，包括 5 座轉爐（3 座 100 噸級，2 座 210 噸級）^[5]，為典型長流程鋼廠，產能與設備配置亦與中鋼相似。近期，漣鋼已成功實現 44%大廢鋼比熱成形鋼的 10 爐連澆生產，今(2025)年 2 月則發布成功試製 60%大廢鋼比汽車熱成形鋼，CO₂ 減排量超過 43%之消息，而依據鋼鐵行業 EPD（環境產品聲明）平臺資訊之數據報告顯示^[6]，漣鋼為目前提交碳足跡數據鋼廠中，最積極使用大比例廢鋼者(圖 4)，遠超寶鋼與首鋼。

板材类产品EPD数据汇总表							
钢厂	简称	品种	材质特点	GWP100	废钢量 kg/吨	绿电 MJ	数据年限
日照钢铁	热轧	热轧钢板和钢带	ESP	2.11	0	321	2023
山西通才	带钢	热轧带钢 中宽带	Q355B 300-600宽	2.11	95.7	608	2023
华菱涟钢	热轧	热轧钢板和钢带	QSTE500TM	2.19	350	51	2023
盛隆冶金	热轧	热轧钢板和钢带	Q235B	2.24	187	372	2023
晋钢	热轧	热轧钢板和钢带	Q355B	2.3	0	863	2023
包钢	热轧	热轧钢板和钢带	X65M	2.33	84.3	998	2023
鞍钢	热轧	热轧汽车用钢带	-	2.42	114	855	2023
日照钢铁	热轧	热轧钢板和钢带	传统产线Q235B	2.46	0	435	2023
钢厂	简称	品种	材质特点	GWP100	废钢量 kg/吨	绿电 MJ	数据年限
日照钢铁	酸洗	热轧酸洗钢带	ESP	2.22	0	334	2023
宝钢	酸洗	热轧酸洗钢带	DD11	2.34	135	82	2023
首钢	酸洗	热轧酸洗钢带	SPHC	2.34	2.21	725	2023
马钢	酸洗	热轧酸洗钢带	SAPH440-P	2.53	0	-	2023
本钢	酸洗	热轧酸洗钢带	SPHC	2.64	0	977	2023
钢厂	简称	品种	材质特点	GWP100	废钢量 kg/吨	绿电 MJ	数据年限
首钢	冷轧	冷轧钢板和钢带	DC03/06/SEC1/06EK	2.27	92.3	523	2023
马钢	冷轧	冷轧钢板和钢带	DC04	2.53	0	-	2022

圖 4. 漣鋼的環境產品聲明所公布的廢鋼使用量

專利部分，總計 2 筆專利涉及氮控制技術(表 1)，轉爐出鋼將[N]控制在 30ppm 以下，專利內容所公開之廢鋼比數據，可推測最高達 25%以上，但無明確 30%以上的廢鋼比數據。但在 2024 年最新專利 CN119685687 相較先前專利 CN109457076，則有顯著的多維度創新，如優化生鐵與焦炭的加入比例，確保在高廢鋼比條件下，保持足夠的碳反應來源，以及優化焦炭的顆粒度及生鐵的加入速度來進一步控制 CO 和 CO₂ 氣體平衡。另外，引入廢鋼預熱處理、降低廢鋼壓塊尺寸，以及吹煉前加入矽鐵發熱，均有助於加速廢鋼熔解，而轉爐的微正壓操作則是防止增氮。整體而言，漣鋼在新技術開發上主要目的為減少真空設備的依賴性。

表 1. 漣鋼的大廢鋼比氮控制技術

專利號	技術
CN109457076	➤ 在轉爐中加入生鐵 5~10 噸/爐，鐵水 172~174 噸/爐，

	廢鋼 52~57 噸/爐，總裝入量 235 噸/爐。 ➤ 轉爐吹煉前加入矽鐵或矽碳球等無硫補熱劑作補熱。 ➤ 隨吹氧進行，鋼水中碳氧反應增強，產生 CO 氣泡，CO 氣泡降低了[N]分壓，同時轉爐冶煉過程中乳化的渣相和 CO 氣泡共同為脫[N]反應提供了足夠大的反應界面積，將鋼水中的[N]脫除，提高轉爐脫[N]效率。 ➤ 終點[C]控制在 0.035%~0.06%，避免[C]過低導致 CO 分壓驟降而吸氮，終點溫度$\geq 1580^{\circ}\text{C}$確保 LF 進站溫度$\geq 1520^{\circ}\text{C}$，降低增氮風險。
CN119685687	➤ 生鐵的加入比例為鐵水總量的 10-15%，焦炭(25~50mm)加入比例為鐵水總量的 1.5-2.5%。 ➤ 吹煉前加入矽鐵發熱，縮小壓塊廢鋼尺寸，並採取廢鋼預熱處理。 ➤ 採取氮含量較低之合金添加。 ➤ 提高轉爐的微正壓效果，優化降煙罩的密封性，引入氬氣保護罩外延吹，以減少空氣隔絕。 ➤ 前期與中後期底吹 Ar 強度增加至 30L/min .t 鋼以上。 ➤ 提高轉爐一吹命中率、出鋼不加合金。

此外，連鋼計 1 筆專利(CN115558736)涉及 IF 鋼生產，由於 IF 鋼必須對 C、S、N 等元素進行嚴格的控制，故轉爐以大廢鋼比操作將具一定挑戰性，本專利係使用脫硫鐵水($[\text{S}] \leq 15\text{ppm}$)，且要求廢鋼 $[\text{S}] \leq 0.04\text{wt}\%$ ，廢鋼與所述脫硫鐵水的質量比在 1:4 以上，轉爐終點溫度為 $1660^{\circ}\text{C} \sim 1700^{\circ}\text{C}$ ，終點 $[\text{O}]$ 為 600ppm~1500ppm，出鋼添加碳粉進行預脫氧，最後進行 RH 脫碳，製得 IF 鋼鋼液。

廢鋼預熱方面，連鋼開發盛銑桶接廢鋼預熱(CN115007844)，以及廢鋼槽烘烤廢鋼(CN114836591)技術，盛銑桶接廢鋼預熱方面(圖 5)，A~D 為高爐 4 出鐵口，總計 8 個出鐵位，距離每個受鐵位一節火車的位置設置兩個廢鋼烘烤位，烘烤設備通過平移軌道(12)在火車軌道上方進行移動，盛銑桶放入廢鋼 15~25t 後，牽引至烘烤位即可利用煤氣預熱廢鋼 18~20 分鐘，本方法有別於圍繞轉爐設備周邊設置增設預熱設備的思路，而是利用高爐出鐵溫度高，鐵水由高處落下可對廢鋼形成良好攪拌作用的優勢。廢鋼槽烘烤廢鋼(圖 6)則是廢鋼裝入後，向氧燃槍中通入煤氣，在廢鋼槽上方烘烤廢鋼，氧燃槍的數目為 4~8 支，相鄰兩支氧燃槍的距離為 1.2-2.5m。

結合連鋼專利技術及大廢鋼比新聞報導，連鋼專利並未如首鋼提及使用雙爐法，且廢鋼預熱皆採取轉爐外預熱，甚至於盛銑桶階段即添加廢鋼，應是彌補單一轉爐添加廢鋼的局限性，故於熱成形鋼可達 60%廢鋼比；IF 鋼方面，連鋼可達轉爐操作 25%以上之廢鋼比，並對鐵水與廢鋼之硫成分進行限制，惟專利並未說明是何種等級之 IF 鋼，未來連鋼是否將大廢鋼比技術持續擴展至其他鋼種，可持續觀察。

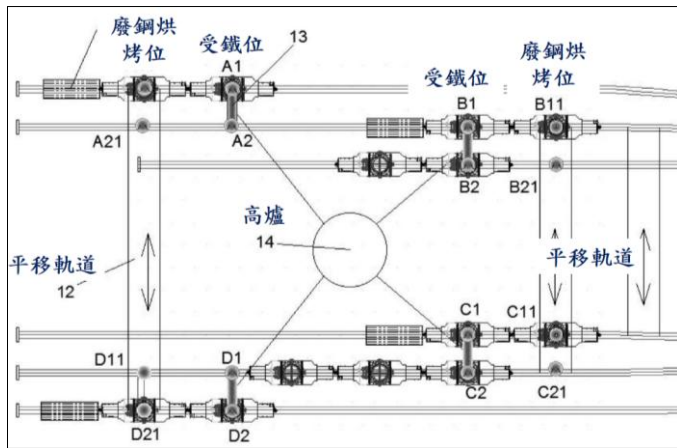


圖 5. 盛銑桶接廢鋼預熱

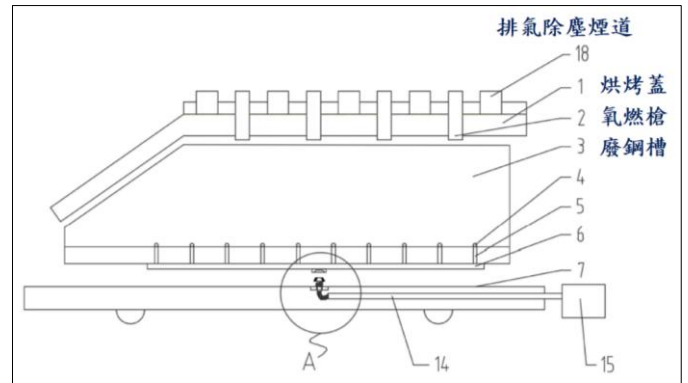


圖 6. 廢鋼槽烘烤廢鋼

三、 其他鋼廠技術—以 JFE 鋼鐵、POSCO、ArcelorMittal 為例

1. JFE 鋼鐵

JFE 鋼鐵 2010 年並無顯著專利申請，而在 2011 年後，已累計 17 筆轉爐添加廢鋼之專利(圖 7)，技術說明如後。

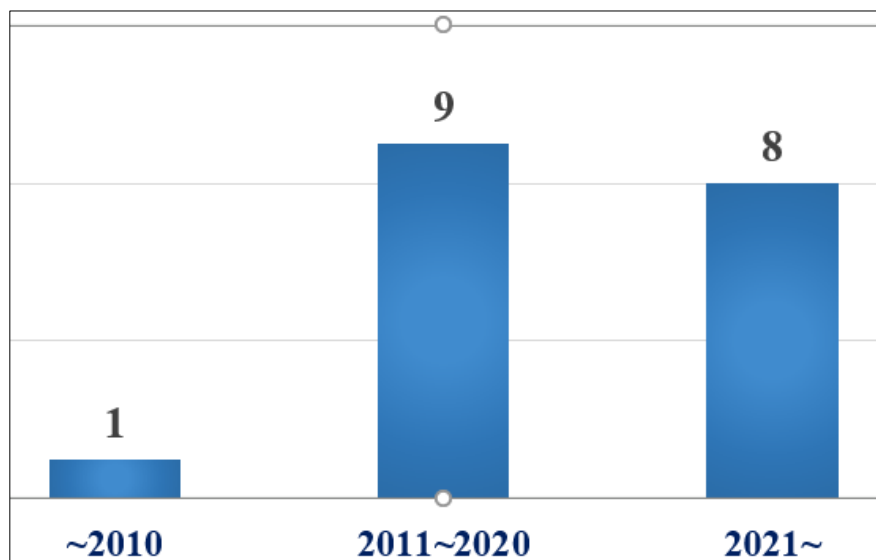


圖 7. JFE 鋼鐵之轉爐添加廢鋼專利趨勢分布

(1)DRP（Double-slag Refining Process）雙渣精煉

DRP 通過將鐵水中 Si 作為熱源，以增加廢鋼的使用量，全程使用兩支轉爐，分別執行脫 Si/P 與脫 C，使廢鋼比由原本 10% 上升至 18%，有效提升了資源利用率(圖 8)，兩座轉爐的調度則如圖 9^{[7][8]}。



圖 8. DRP 製程示意圖

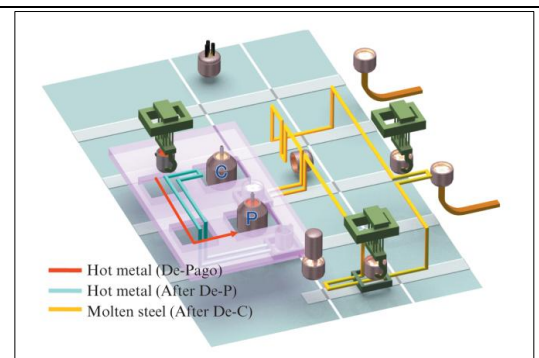


圖 9. DRP 製程調度示意

專利方面，JFE 鋼鐵對 DRP 製程作了變化，如專利 JP5807720(圖 10)將脫碳轉爐的高溫爐渣排出至搬送容器，與廢鋼混和，再裝入脫磷轉爐，接著裝入鐵水進行脫矽/脫磷預處理，最後裝入脫碳轉爐脫碳。專利 JP7248195(圖 11)則是持續作製程精進，廢鋼可於脫磷轉爐與脫碳轉爐添加，更可於其後於脫碳轉爐吹煉中添加，總計可添加 2~3 次廢鋼。

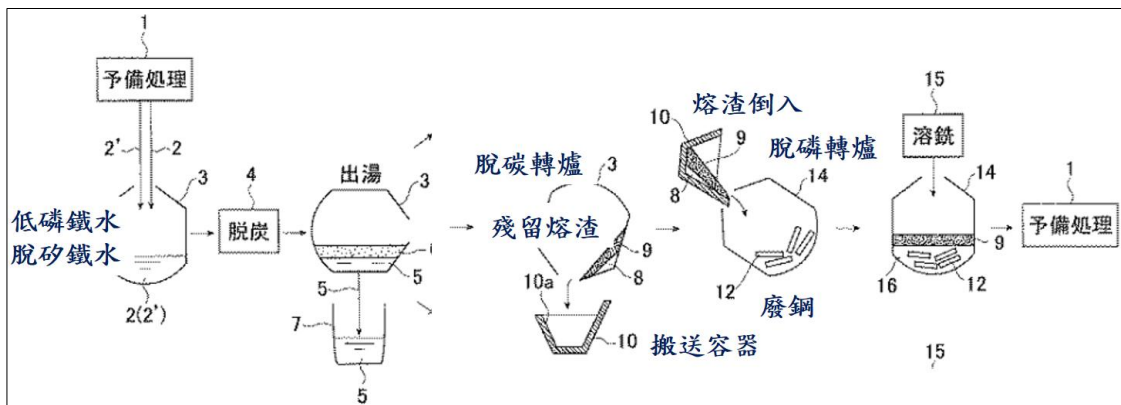


圖 10. 專利 JP5807720 流程圖

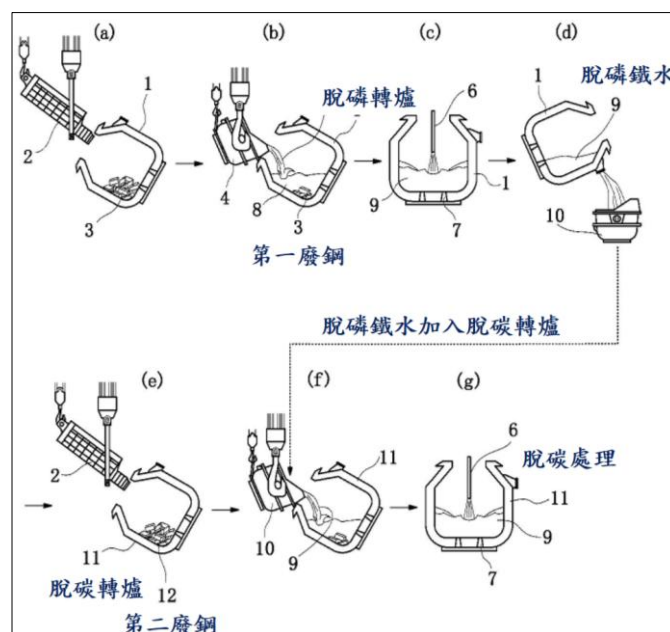


圖 11. 專利 JP7248195 流程圖

(2) 單一轉爐吹煉

除 DRP 製程外，JFE 鋼鐵以單一轉爐添加廢鋼專利如 JP6828678，強調脫矽處理的排渣效率以及頂吹噴槍之噴嘴選用(表 2)，以提高脫矽、脫磷及脫碳處理效率；JP6744586(圖 11)則註明廢鋼比可達 15~20%，脫矽處理之脫矽渣鹽基度控制在 0.5~1.5，此過程中，鐵水溫度保持在 1280℃ 至 1350℃ 之間，至少進行 30%脫矽渣之排渣操作，以減少渣對後續工序熱效率的影響，再向轉爐內添加碳系升溫材（如無煙碳或非晶質石墨）進行吹煉，促進廢鋼熔解，再行出鋼；或可選擇進一步加入廢鋼與鐵水，進行脫碳吹煉，提升鋼液品質。

表 2. 專利 JP6744586 頂吹噴槍之噴嘴參數

噴嘴類型	孔數	喉徑(mm)	出口直徑(mm)	傾角
吹煉用噴嘴	5	76.2	80.0	15°
粉體吹入用噴嘴	1	50		0
燃燒用噴嘴	1	65*55		0

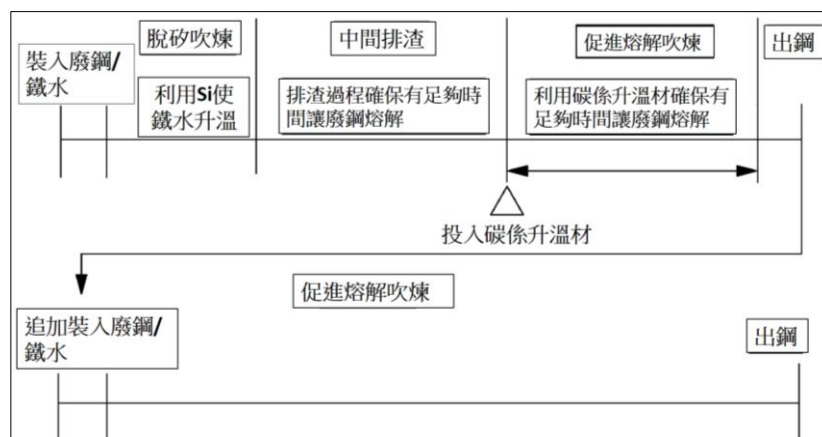


圖 11. JP6744586 添加廢鋼吹煉流程

(3) 熔解模型與冷鐵源多元化

2022 年後，JFE 鋼鐵公開技術有較顯著變化，JP7380908 所建之模型係基於一維傳熱方程式(如海勒斯圖法)推算廢鋼熔解，並結合迭代修正機制，克服了傳統方法中因計算成本高或觀測者主觀影響而導致的誤差問題。該技術並與轉爐控制系統整合，可根據推算結果調整氧氣供應量及升溫材或冷卻材的投入量，以達到目標溫度與成分濃度(圖 12)，可降低計算成本，提高精度且不受操作員主觀認定影響。

JP7522996 則將冷鐵源定義擴大至廢鋼與還原鐵，並可擴充至電爐製程，透過熱平衡式與碳平衡式計算冷鐵源熔解速度，依照配分比率整合以得出精確的熔解率，此外，此技術亦支持預脫磷與脫碳處理，且冷鐵源熔解的實際值與推測值則趨於一致，顯示本技術有其預測準確性(圖 13)。

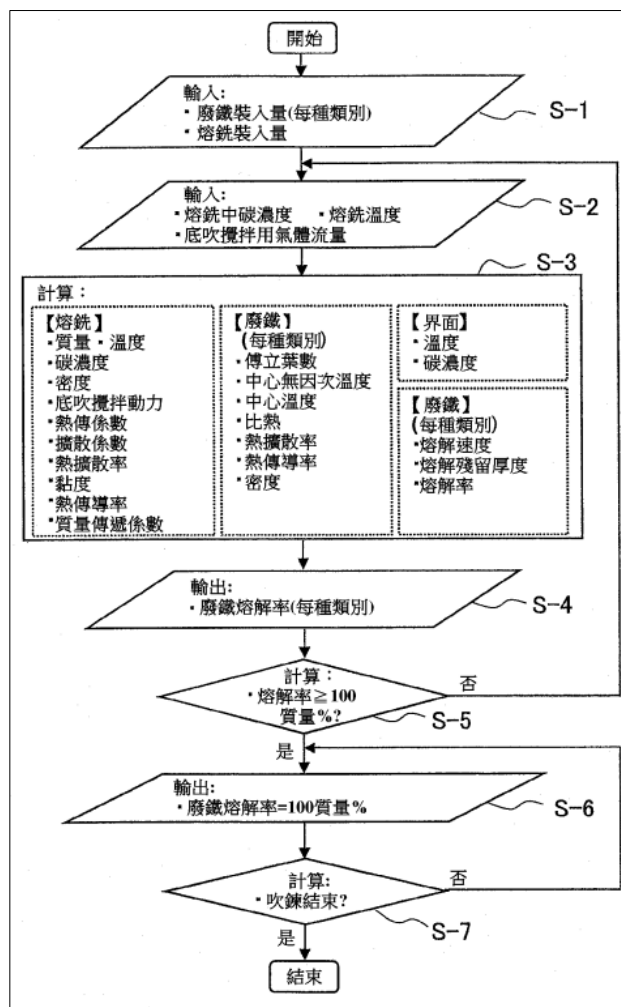


圖 12. 廢鋼熔解推算

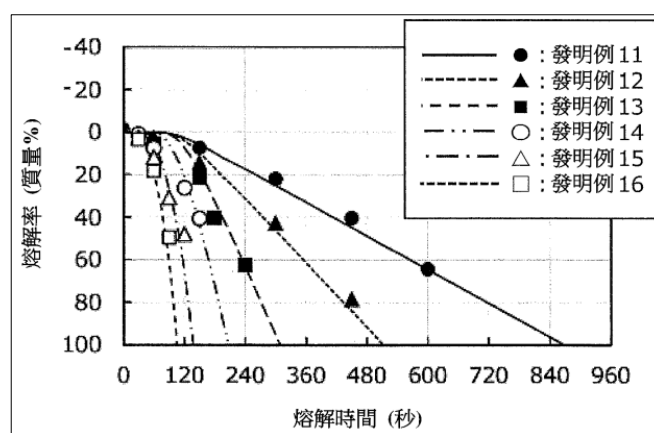


圖 13. 冷鐵源熔解之預測值與實際值

(4) 廢鋼等級判定

JP7205637 為廢鋼判別系統及方法，旨在自動化並提升廢鋼等級及比率的判別精度，涵蓋兩種廢鋼判別模型(分別以單一等級及混合等級影像訓練)、以及一個選擇模型組成。系統可根據影像變焦資訊進行正規化處理，並支援模型的持續再學習，進一步提升判別準確度。此技術可取代傳統人工目視判別，減少人為誤差，適用於多種金屬廢料的自動分級與管理。圖 14 為單一等級廢鋼之影像訓練示意。

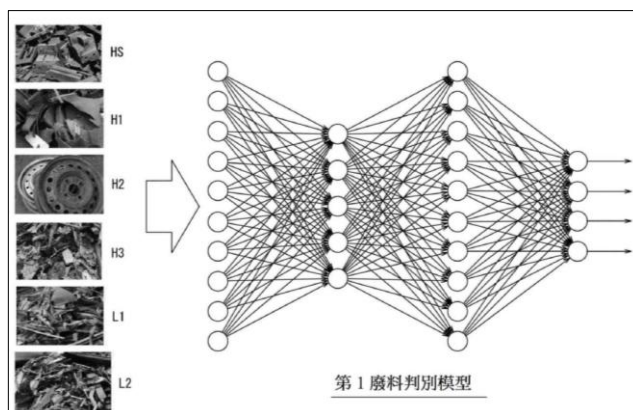


圖 14. 單一等級廢鋼之影像訓練示意

2.POSCO

POSCO 總計 16 筆轉爐添加廢鋼專利，但未提及廢鋼比，且內容多同時提及電爐製程與精煉製程，較無法聚較轉爐操作重點，但廢鋼是否有效熔解仍是其關注議題，且可推斷廢鋼採預熱後再添加轉爐(圖 15)。

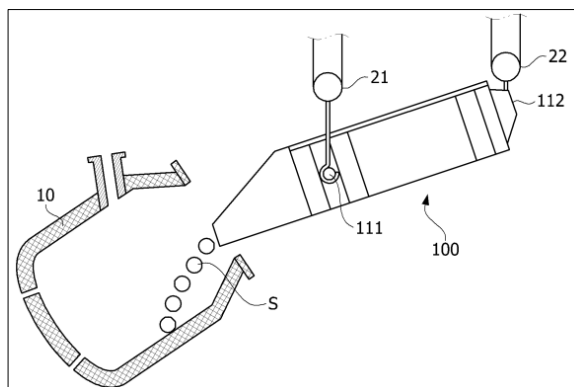


圖 15. POSCO 採廢鋼先行預熱模式(專利 KR1020953970000)

3. ArcelorMittal

ArcelorMittal 計 19 筆廢鋼相關專利，部分專利涉及廢鋼庫存管理(如 WO2022118201)，經由廢鋼分級如內部廢鋼(home scrap)、新廢鋼(new scrap)、舊廢鋼(old scrap)等，每種類型廢鋼具有不同的來源、化學成分及物理特性，將影響鋼鐵生產過程中的使用效果。如圖 16 所示，不同鋼廠(P1~P3)分別產出不同特性的鋼液(LS1~LS3)，每個鋼鐵廠設有多廢鋼儲區(Y1,1, Y1,2)，用於存放不同類型廢鋼(S1~S4)，不同類型廢鋼在多個除區間轉移，以確保生產所需的品質與總量。

另如 WO2020212732 提出轉爐煉鋼的監控方法，旨在精確控制鋼液及渣的目標特性，並結合物理模型、統計模型和熱力學模型進行計算，以確保鋼液特性及渣組成符合預期(圖 17)。

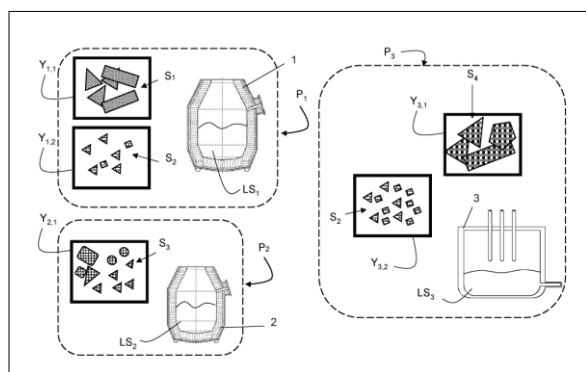


圖 16. ArceloMittal 廢鋼分級示意圖

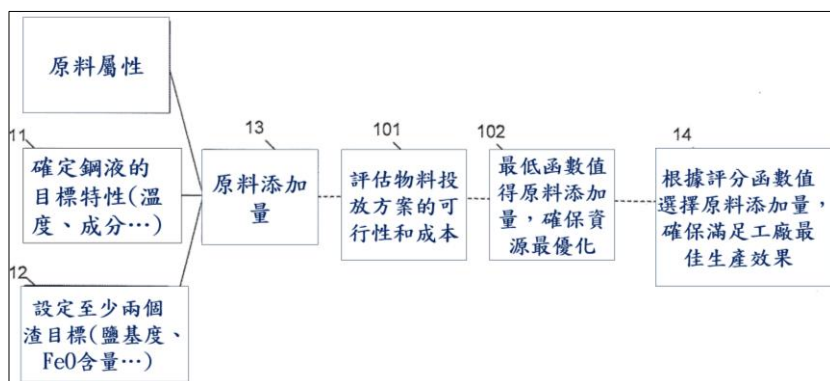


圖 17. 轉爐煉鋼的監控方法

四、 結論

由前述各家鋼廠之技術特點可知，加速廢鋼熔解與熱補償為多數鋼廠所重視的區塊，而廢鋼預熱亦有多元方式，首鋼傾向於轉爐內預熱，其他鋼廠則設計出多種廢鋼預熱方案，如連鋼為突破單一轉爐操作侷限性，於盛銑桶添加廢鋼；另轉爐吹煉操作與二次燃燒氧槍的資訊揭露則集中於首鋼、寶武、連鋼與JFE，另JFE鋼鐵開始以建模方式決定投料量；廢鋼管理部分，首鋼有明確合作回收廢鋼之合作夥伴，連鋼則是結合脫硫鐵水與低硫廢鋼生產IF鋼，JFE鋼鐵與ArcelorMittal則是以模型判別導入與落實廢鋼分級方式進行管理。

整體而言，連鋼的汽車熱成形鋼達60%大廢鋼為最佳，配合專利內容，推斷其搭配盛銑桶添加廢鋼和爐外預熱廢鋼方式，可實現單一轉爐大廢鋼比煉製；其次為首鋼大廢鋼比55%，推測應使用雙爐法，於兩座轉爐分別添加廢鋼，或是先行於轉爐內進行廢鋼升溫，因此可獲得大廢鋼比。而其他鋼廠的最佳廢鋼比數值則集中於15~30%。

轉爐添加廢鋼必須由各項子技術相互搭配，始能達到大比例添加，子技術的協同運作，對於提高鋼鐵生產的效率和品質至關重要，也可為廢鋼添加提供更大的靈活性；此外，中國大陸多為長流程鋼廠，且在近年雙碳壓力下，從專利公開資訊可知其轉爐添加廢鋼技術已有顯著進展，T41將持續關注技術發展動態，以利相關單位隨時掌握關鍵資訊。

引用資料

[1]	面對 2050 碳中和挑戰 中鋼開發高再生料低碳鋼品 https://udn.com/news/story/7241/8160417
[2]	首鋼京唐汽車板 IF 鋼大廢鋼比冶煉取得新突破 https://www.shougang.com.cn/sgweb/wap/sgyw/20241108/11980.html
[3]	首鋼京唐轉爐單工序大廢鋼比冶煉取得新突破 http://www.csteelnews.com/qypd/qydt/202503/t20250326_98319.html
[4]	石鑫越(2018)，鋼鐵第 53 卷第二期，首鋼京唐鋼廠“一罐到底”模式運行實踐分析。
[5]	Hunan Valin Lianyuan Iron and Steel Co Ltd https://www.gem.wiki/Hunan_Valin_Lianyuan_Iron_and_Steel_Co_Ltd
[6]	鋼鐵低碳發展呼喚行業版和企業版碳排放因子 https://reurl.cc/XAV143
[7]	製鋼プロセスでのスクラップ利用拡大による CO2 排出量削減について https://www.jfe-steel.co.jp/release/2022/06/220621.html
[8]	JFE スチール東日本製鉄所（京浜地区）における省資源型製鋼技術 https://www.jfe-steel.co.jp/research/giho/038/pdf/038-16.pdf