

首鋼球結礦資訊與專利技術調查

一、首鋼球結礦技術開發與應用專案資訊調查

球結礦（中國稱球團礦）技術已在首鋼應用發展多年，球結礦作為高爐的精品爐料，其生產工藝的工序能耗是燒結的 50% 以下，廢氣量、氮氧化物和粉塵排放也低於燒結工藝，發展球結是中國鋼鐵工藝綠色化發展的一項重要措施。以下整理近年首鋼球結礦技術開發與應用之相關專案，說明如下：

1. 富礦用於球團生產技術研究與應用（2018 年）

本專案為首鋼技術研究院和首鋼京唐公司聯合開發，屬富礦用於球結礦生產及應用技術，可拓寬球結用鐵礦資源，同時研究提出適宜配比及工藝技術參數。

適於球結礦生產的優質精礦粉資源相對有限，而富礦資源種類多，資源量大。為此首鋼試驗各種含鈦的巴西、澳大利亞和南非等多種富礦資源的可磨性、細磨處理技術，展開細磨粉的成球性、焙燒性、配礦結構和熱工制度等相關研究。

首鋼透過多次對含鈦原料進行研析，針對不同原料採用了不同焙燒溫度，將含鈦塊細磨後配加細粒度的高鈦粉，克服抗壓強度低這一技術難關，使生產的高鈦球主要指標能夠滿足高爐需求。透過應用含鈦富礦，生產出了 TiO_2 含量 12.6% 以上、 SiO_2 含量 6.7%、鐵品位 51.2% 的高鈦球結礦，強度達到 2,600N/P 以上，替代外購鈦球，並使用巴西燒結粉，替代高矽精礦粉，年經濟效益達到 1,100 萬元（約合新台幣 4,970 萬元）以上。

2. 大型高爐低碳冶鍊用優質球團礦開發與應用（2020 年）

燒結礦和球結礦是高爐煉鐵的兩個主要原料，球結工序的能耗和污染物排放明顯低於燒結，但由於歷史、資源和技術等原因，中國高爐的球結礦使用比例平均不足 15%，且生產的主要是高矽酸性球結礦，不能滿足高比例使用所需的鹼度和降燃料消耗的目的。

為了推動球結礦工藝發展，實現低碳煉鐵，本專案透過基礎理論、高粘結性熔劑研究，開發大幅度降低渣量和燃料消耗的優質低矽鹼性球結礦和低矽酸性球結礦，並可高比例供給大型高爐使用。目前，球結礦已在首鋼京唐公司 3 條 504m^2 大型帶式焙燒機成功生產，並以 55% 以上比例穩定應用於 3 座 $5,500\text{m}^3$ 高爐。

該專案主要內容及技術創新包括：

- （1）開發用消石灰生產低矽鹼性球結礦的新工藝，研究並制定了球結礦用消石灰質量標準，首次在 504m^2 大型帶式焙燒機使用消石灰生產出了超低矽高鹼度球結礦，鹼度 1.1~1.2， SiO_2 含量 2.0%。
- （2）提出透過形成合理的液相和鐵酸鈣等物相控制低矽鹼性球結礦還原膨脹

率的理論及措施，使超低矽鹼性球結礦還原膨脹率控制到 17.5%以下。

- (3) 透過使用新型篦條和堵塞處理裝置及高頻電源，克服球結礦生產過程帶式焙燒機篦條和布風板堵塞，電除塵器故障等問題，並透過調整造球和熱工藝參數，解決影響球結礦產量的參數問題，球結礦產量超過設計值 6%以上。
- (4) 開發燒結用富礦資源用於球結礦生產技術，突破球結礦精粉資源不足，限制球結礦進一步發展的瓶頸問題，生產出粒度均勻、品位高、SiO₂ 含量低的高鐵低矽酸性球結礦。

專案實施後，生產出的低矽鹼性球結礦鐵品位 66.0%，SiO₂ 含量 2.0%，鹼度 1.1~1.2；優質酸性球結礦品位 66.25%，SiO₂ 含量 3.0%，還原膨脹率 12.5%。3 座 5,500m³ 高爐球結礦比例均達到 55%以上，高爐渣量由 280kg/t 降至 215kg/t 以下，燃料比由 505kg/t 降至 483kg/t，年經濟效益 3,993.6 萬元（約合新台幣 1.8 億元）。

二、 首鋼球結礦相關專利技術調查

為進一步了解首鋼在球結礦方面之發展，檢索其在中國境內申請之專利，篩選後共計 83 篇（至 2024 年止）。由檢索結果可知，首鋼自 2009 年起持續進行全面布局，且近八年每年皆有五件以上申請案，顯見首鋼投入球結礦相關技術之研究能量與持續性，詳見圖 1。

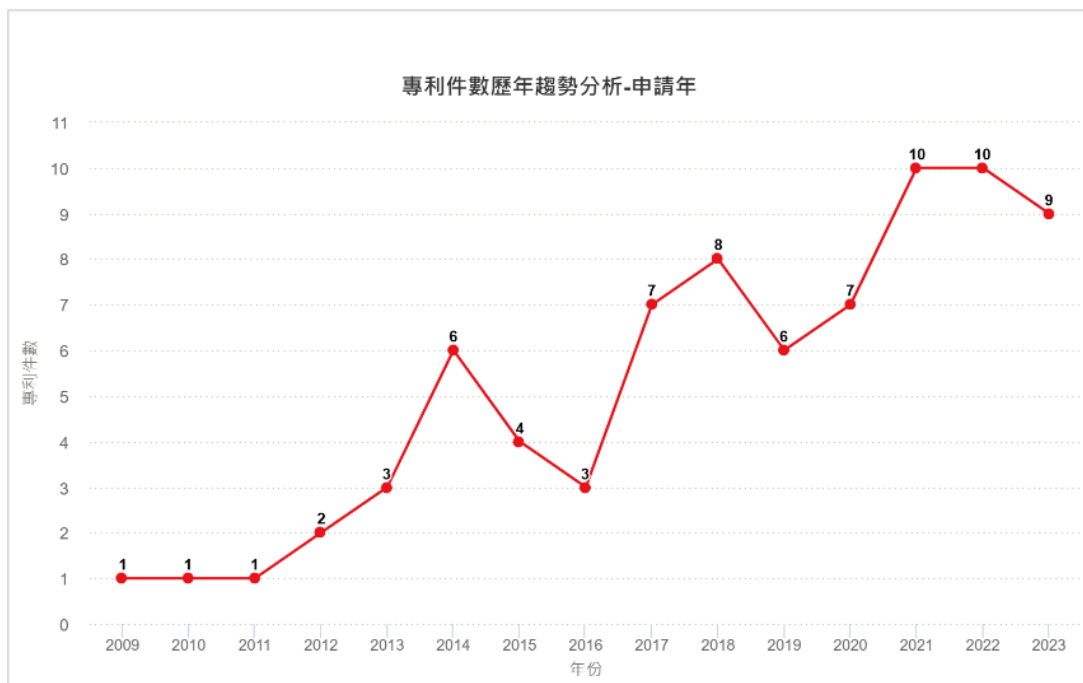


圖 1 首鋼球結礦中國專利歷年申請趨勢

(註)考量專利申請後 18 個月公開之規定，數據僅統計至 2023 年

經調查，申請的專利主體可大致區分為球結礦的製備及其應用兩大類，詳細分類如下表 1，說明如下：

表 1 首鋼球結礦關聯專利類別及件數

球結礦之製備	配比、製造方法	裝置	檢測與評價	其他
	20 件	21 件	13 件	6 件
球結礦之應用	高爐性能影響評估	高爐布料及操作方法	轉爐造渣	
	4 件	13 件	6 件	

1. 球結礦之製備

提升高爐爐料中球結礦使用之比例（如 70%以上）可擴大減碳效益，但目前仍需與燒結礦互相搭配，以維持高爐的酸鹼平衡及延長高爐壽命。為適用於各種球結礦的添加比例與護爐需求，一系列的酸性、鹼性（鎂質）、及含鈦的球結礦均有數篇專利探討礦粉與黏結劑、助熔劑的配比與製備方法。

值得注意的是，20 篇關聯專利中有 8 篇是採用廢料再投入作為球結礦生產，以達資源循環再生之效。此外，球結礦的製造成本亦為影響配比的因素之一，如「一種用於球團礦配料的控制方法」(CN104313312B)即透過綜合考量各項原料之化學組成與價格等，取得最佳配料方案，流程請見下圖 2。

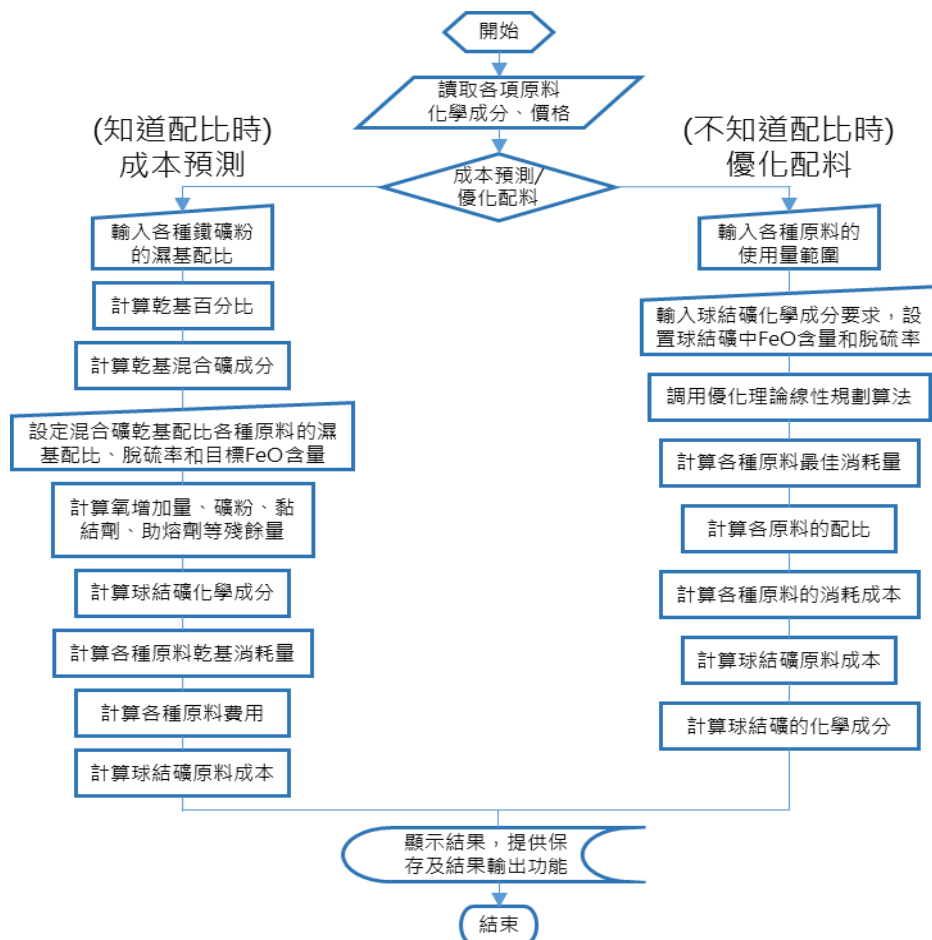


圖 2 成本預測/優化配料流程

而在球結礦生產設備方面，則涵蓋了混料、造球（水分控制）、篩分，及後續的乾燥、焙燒、冷卻等 21 件專利申請。其中，焙燒流程所使用的帶式焙燒機

為能耗最高的階段，除改良燃燒器、使用低熱值燃料外，如「一種優化帶式焙燒機熱工制度的方法」(CN105045994B)針對焙燒的熱處理過程建立模型，藉由模擬燃氣溫度、流量、風量、壓力等，持續優化製程參數，以求減碳效益最大化。

針對球結礦的品管及性質檢測，首鋼則有 13 件的專利申請，檢測項目包含成球率、爆裂溫度、抗壓強度、膨脹率、還原度、礦相等，以及與之搭配的自動採樣裝置。以「一種球結礦礦相識別方法和裝置」(CN111931817A)為例，礦相識別亦有建立投入大量顯微影像訓練的識別模型，降低人為的主觀判斷與誤差。

2. 球結礦之應用

由於球結礦的性質，例如鹽基度、滾動性、強度、膨脹率等，與燒結礦有顯著之差異，作為高爐爐料使用時，勢必會造成高爐整體性能改變，尤以最關鍵的軟熔帶作為研究重點。因此，在球結礦應用相關之 23 件專利中，一部分主要以軟熔帶的實驗模擬、模型建立，作為專利的申請主軸；另一部分則是為因應高爐性能改變而調整的配料、操作方法，確保高爐的穩定。

舉例來說，「一種確定高爐軟熔帶的方法、裝置、介質及設備」(CN116705178A)說明高爐軟熔帶原則上保持布料時之層狀結構，但依實際經驗，在相同操作條件下，以球結礦為主的高爐，軟熔帶的位置與形狀仍與燒結礦為主的情況下不同。然而，單以爐身靜壓、冷卻壁溫度、十字測溫等方法判斷軟熔帶的形狀與位置效果有限，故建立一仿真模型，將高爐內部切分成多個區塊，以模擬數據及採樣結果搭配，建構出近似數位雙生的效果，詳細判斷步驟請見下圖 3。

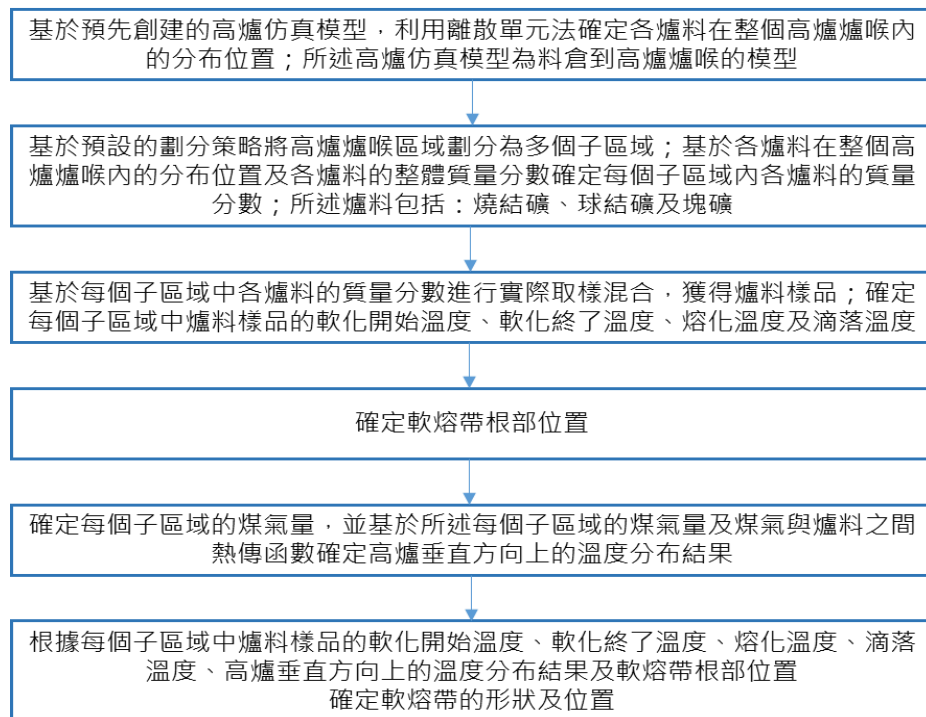


圖 3 高爐軟熔帶形狀及位置模擬建立流程

球結礦雖主要作為高爐冶煉取代燒結礦的爐料，另一方面，亦可運用於轉

爐中作為造渣劑，目前計有 6 篇公開專利。如「一種低 MgO 含量的超高磷分配比轉爐煉鋼渣系」(CN116219118A)，藉由添加球結礦，提升前期渣中的 FeO 含量，並可降低磷的活性係數，有利於脫磷。

3. 小結

首鋼於近期系統性布局球結礦關聯專利，涵蓋製備（配比、製備方法、裝置、檢測與評價）與應用（高爐性能影響評估、布料及操作方法、轉爐造渣）兩大主軸，部分專利更結合數位轉型，以更有效率的方式進一步提升節能與降本效益。

此外，中國境內球結礦關聯專利申請總量目前更已超過 2200 餘件（至 2024 年止），且呈現穩定成長趨勢，詳如圖 4。雖中國整體專利品質（如：請求項範圍大小）有待確認，然中國於該領域之投入仍值得持續關注，並可作為公司球結礦相關研發方向參考。



圖 4 中國球結礦專利歷年申請趨勢

(註)考量專利申請後 18 個月公開之規定，數據僅統計至 2023 年

三、參考資料

1. 首鋼優化球團資源與工藝促進綠色發展
2. 大型高爐低碳冶鍊用優質球團礦開發與應用
3. 一種低 MgO 含量的超高磷分配比轉爐煉鋼渣系[CN116219118A]
4. 一種確定高爐軟熔帶的方法、裝置、介質及設備[CN116705178A]
5. 一種球團礦相識別方法和裝置[CN111931817A]
6. 一種優化帶式焙燒機熱工制度的方法[CN105045994B]
7. 一種用於球團礦配料的控制方法[CN104313312B]