

釹鐵硼磁鐵的稀土金屬提取研究

何享穎 / 優勝奈米科技技術長
葉加伶 / 明志科大化學工程系
朱辰泰 / 明志科大化學工程系
周韋伶 / 優勝奈米科技研究員
許景翔 / 優勝奈米科技董事長

本研究利用 UW-170 環保稀土剝除添加劑應用於釹鐵硼磁鐵上的稀土金屬回收。透過物理與破碎程序以及化學提取程序，確認釹鐵硼磁鐵中的稀土元素可順利被提取。其中的釹離子濃度為 14.6 g/L，提取率達 98.3%。後續經過沉降程序以及焙燒程序即可達到稀土錯釹氧化物。

稀土市場的強勁成長主要得益於高科技產業對高性能材料不斷增長的需求。其中，電動車 (EV)、風力發電、消費性電子產品和國防軍事等領域是主要的驅動力。在應用方面，永磁是最大的稀土應用領域，在 2024 年占據了約 41% 的全球營收額，這突出顯示了其在推動

稀土市場成長中的核心作用^[2]。

釹鐵硼磁鐵中，釹在磁鐵中的主要元素，由於釹提供極高的「磁矩」與「磁各異向性」，源自其原子的電子排列特性^[4]。由於稀土供應高度集中於中國，其控制了全球超過 85% 的稀土精煉能力。在中國稀土戰略為加工技術比稀土原

一、前言

全球稀土元素市場正展現強勁成長態勢，預計在未來十年內將持續擴張。根據美國地質調查局 (USGS) 最新報告，2024 年全球稀土礦產量約為 39 萬噸相較於 2017 年的 13.2 萬噸成長近 3 倍。其中，中國產量為 27 萬噸，占比高達 68.54%，而排名第二的美國產量則為 4.5 萬噸，澳洲產量為 1.3 萬噸，緬甸產量為 3.1 萬噸。全球稀土金屬市場正呈現穩健且持續的成長態勢^[1]。

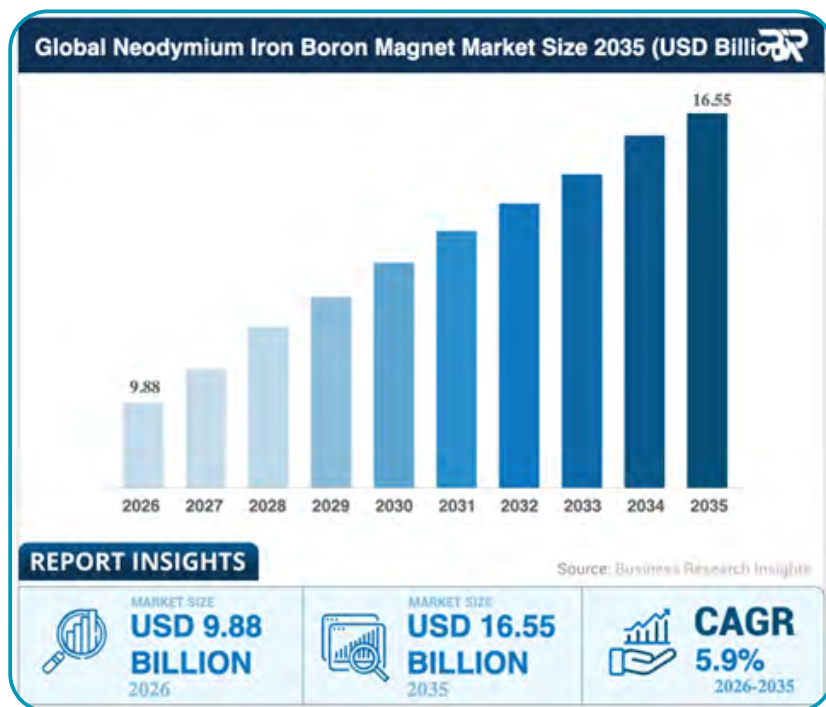


圖 1 2026 至 2035 年全球釹鐵硼磁鐵市場預估^[3]

料本身更重要，並因此管制稀土開採與分離技術出口，因此引發了國際間對地緣政治風險的高度關注。

為降低對單一來源的依賴，美國、歐洲及其盟國近年積極推動供應鏈多元化與「去中化」策略，透過政策支持與投資擴張來建立更具韌性的稀土產業體系^[5]。2025 年發生美國稀土供應鏈大革命，由 MP materials 獲得美國國防部十年長期稀土合約^[6]，手機大廠 Apple 也同步合作，迎來美國稀土產業上最重要的供應鏈自主化浪潮^[7]。

此外，稀土的開採與冶煉過程對環境造成了嚴重的破壞，也是一直以來的挑戰。稀土生產過程中的環境問題主要體現在開採與冶煉分離兩大階段。由於原礦中稀土濃度低，開採與加工會產生大量粉塵與廢棄物，據估計每開採 1 噸稀土，約產生 2,000 噸有毒廢料，並對水質、土壤和人類健康構成威脅。鑑於這些嚴峻的環境挑戰，環保的稀土回收重要性日益凸顯，成為實現產業永續發展的關鍵策略。回收不僅能有效緩解稀土資源短缺，更能顯著降低對原生礦產開採的需

求。儘管目前稀土回收率極低，約僅有 1% 的廢舊產品中的稀土被回收再利用，且面臨高昂的收集與處理成本挑戰，但新技術正逐步改變現狀。此外，政府政策如歐盟的《關鍵原材料法案》也為稀土回收設定了具體目標。這些綜合性努力將有助於確保供應鏈的韌性與永續性^[8]。

隨著全球對稀土需求的快速增長，傳統的開採與冶煉工藝在支撐供應的同時，也暴露出嚴重的環境與資源挑戰。目前工業主流仍以濕法冶金技術為主，包括溶劑萃取與離子交換等方法，雖具備較高的分離效率，但其高耗水、高能耗與大量化學藥劑的特性，已對環境造成沉重壓力^[9, 10]。這些技術往往產生含氟、氨氮及有機相等複雜廢液，處理成本高昂且難以徹底消解，成為稀土產業可持續發展的重大瓶頸，如何透過新型技術與資源循環利用來減輕環境負荷，已成為學術與產業界關注的焦點^[11]。

有鑑於此，本研究將對比兩種不同的稀土提取路徑。首先，我們將採用常見的傳統硫酸浸出法作為

對照組，硫酸法以其低廉的化學品成本著稱，是濕法冶金中應用最廣泛的技術之一，能有效溶解鈰鐵硼磁鐵。並採用 UW-170 環保稀土剝除添加劑作為實驗組，該添加劑獲得中華民國專利發明第 I852467 號。該添加劑不含氟化物及氰化物等有毒與有害物質，如表 1 所示。可一次性剝除 17 種稀土金屬，提取率大於 95% 以及低成本的提取模式。對比兩種提取方式，為稀土回收的提取方法提出不同的方案。

二、實驗方法

本次實驗主要分為三個步驟，分別為消磁程序、破碎與過篩程序與稀土提取程序。實驗方法分別描述如下：

(一) 物理程序與破碎程序

將取得的鈰鐵硼磁鐵樣品，經由不同的溫度進行消磁，並確認在不同的溫度下消磁的程度。依照磁鐵的呈現的狀態判斷是否消磁完成，並採用破碎設備將磁鐵樣品進行破碎獲得磁鐵粉末。

表 1 稀土回收方式比較

項目	傳統方式	UW-170
特色	可提取稀土金屬，但對環境影響高	提取 17 種稀土金屬，提取率 >95%
環境影響	污染問題嚴重 高耗能 尾礦不易處理	提取廢液少 廢液處理簡單 無毒性

表 2 稀土剝除劑的工作液參數

項目	傳統方式對照組	UW-170 實驗組
硫酸	3M	0
UW-170	0	500 ml/L
固液比	10：1	10：1
反應溫度	90℃	90℃
反應時間	4 hr	4 hr
提取率	< 90%	> 95%

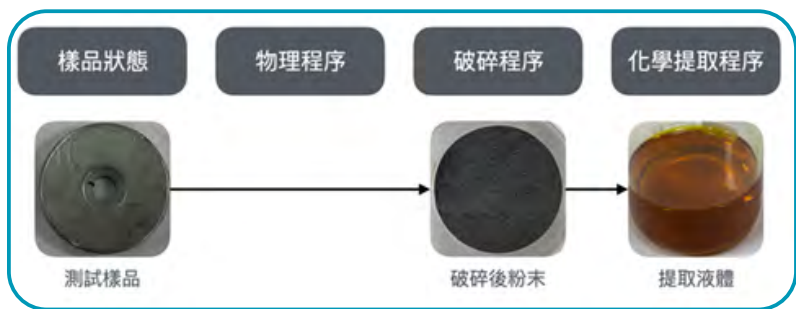


圖 3 釹鐵硼磁鐵的磁鐵狀態示意

溫度下，產生不同程度的消磁狀態。可參考圖 3 的示意圖，顯示若未消磁的狀態下，磁鐵與磁鐵之間的吸引力非常強大，會牢牢地將磁鐵彼此吸住。若是完成消磁的狀態下，則磁鐵之間的吸引力非常微弱，就會呈現彼此不相吸的狀態，即可判斷為消磁完成。

(二) 化學提取程序

將破碎後的釹鐵硼磁鐵粉末，採用 3M 硫酸作為對照組，UW-170 環保稀土剝除添加劑作為實驗組。分別對釹鐵硼磁鐵粉末進行稀土提取。其稀土提取劑的工作液參數如表 2 所示。

將提取後的上層液與不溶殘渣過濾分離，將不溶殘渣採用熱風烘箱，反應溫度 105℃，反應時間 1 小時。秤重不溶殘渣，並計算稀土提取階段的提取率。

(三) 沉降與焙燒程序

將提取液體經過除雜程序並加入還原劑，將稀土離子沉降分離後，採用高溫焙燒即可獲得稀土氧化物。

三、結果與討論

本次實驗樣品經過三個程序的過程，分別為消磁程序、破碎與過篩程序與稀土提取程序。其過程結果，可參考圖 2 的釹鐵硼磁鐵稀土提取處理流程示意圖，可順利的將釹鐵硼磁鐵內的稀土提取，最終獲得水溶液的狀態。

(一) 物理與破碎程序結果

釹鐵硼磁鐵樣品在不同的消磁

(二) 化學提取程序結果

將破碎與過篩後的釹鐵硼磁鐵粉末，分別採用 3M 硫酸與 UW-170 環保稀土剝除添加劑進行稀土提取，其結果顯示，UW-170 環保稀土剝除劑的提取率為 98.3%。將提取後的提取液經過 ICP-OES 的分析，分析結果如表 3 所示。

UW-170 提取液中含有鐵、釹、鎳三種離子，其中鐵離子濃度最高為 39.3 g/L，釹離子次之，鎳離子最低。該溶液具有非常高濃度的稀

表 3 UW-170 提取液 ICP-OES 分析結果

項目	濃度 (g/L)
鐵	39.3
釹	14.6
鎳	0.56

土釹與鐳離子，為高價值的回收液體。

(三) 沈降與焙燒程序結果

將提取液體經過除雜程序並加入還原劑，將稀土離子沉降分離後，採用高溫焙燒即可獲得稀土氧化物。可參考圖 4 的沈降與焙燒程序示意圖。可觀察到提取液顏色的變化之外，沈殿物的顏色也因為經過焙燒程序，顏色由原本的淡粉紅色轉變為灰色的稀土鐳釹氧化物。

四、結論

本研究確認 UW-170 環保稀土剝除添加劑可順利的提取稀土釹金屬 98.3%。稀土提取液經過沈降與焙燒程序可獲得稀土鐳釹氧化物。本技術為台灣自主研發之專利技術，達到「去風險化」特性，有利於台灣在稀土金屬戰略回收技術與永磁產業的循環經濟上扎根。

五、參考資料

- [1] U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries 2025: Rare earths. U.S. Department of the Interior (2025)..
- [2] Research Nester, Rare Earth Metals Market Size, by Type (Light, Heavy); Application (Electronics, Lighting, Semiconductors)- Growth Trends, Key players , Regional Analysis 2026-2035 (2025).
- [3] Business Research Insights, Neodymium Iron Boron Magnet Market Size, Share, Trends and Analysis, By Type (Bonded NdFeB, Sintered NdFeB), By Application (Consumer Electronics, General Industrial, Automotive, Medical Technology) Regional Forecast, 2026-2035 (2025).
- [4] Journal of applied physics, M. Sagawa, S. Fujimura, N. Togawa, H. Yamamoto, Y. Matsuura, New material for permanent magnets on a base of Nd and Fe (1984).
- [5] International Gem Society, The Geopolitical Battleground of Rare Earth Minerals (2025).
- [6] MP materials Corp., MP Materials announces transformational public-private partnership with the Department of Defense to accelerate U.S. rare earth magnet independence (2025).
- [7] Apple Inc., Apple expands U.S. supply chain with \$500 million commitment to rare earth magnet production (2025).
- [8] European Union. Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 on critical raw materials (2024).
- [9] Journal of Cleaner Production, K. Binnemans, P. T. Jones, B. Blanpain, T. V. Gerven, Y. Yang, A. Walton, M. Buchert, Recycling of rare earths: a critical review (2013).
- [10] Minerals Engineering, F. Xie, T. A. Zhang, D. Dreisinger, F. Doyle, A critical review on solvent extraction of rare earths from aqueous solutions (2014).
- [11] Resources, S. M. Jowitt, Introduction to a Resources Special Issue on Criticality of the Rare Earth Elements: Current and Future Sources and Recycling (2018).

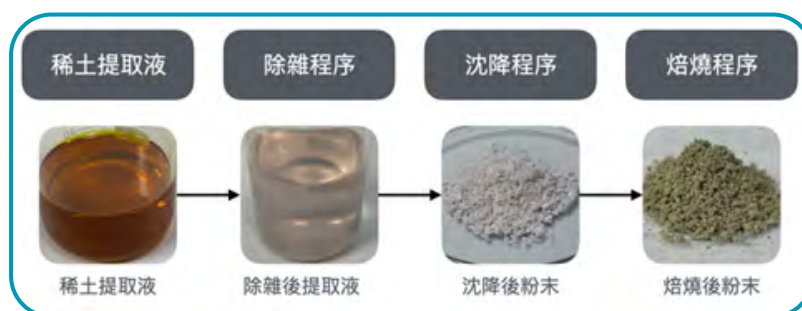


圖 4 沈降與焙燒程序示意