

國內外結垢處理技術掃描

工研院綠能與環境研究所 陳宜琪、高珮娟

地熱開發的過程中，伴隨著高鹽度、溫度及氣體含量之地熱流體，地熱生產過程面臨結垢及腐蝕的挑戰。以我國東部地熱開發型態及實際開發案例為借鏡，地熱資源開採時，結垢好發於生產井、管線、閥門及熱交換器等處，此一問題將嚴重影響地熱產能，並可能導致電廠失去發電能力而閉廠。因此，結垢處理技術在我國地熱資源之應用上，為相當重要的一環。

工研院綠能所蒐集國內外結垢處理技術相關資訊彙整如表 1，將目前所使用的處理技術進行分類，並簡述其技術類型、技術原理、技術成熟度等相關資訊，另以表 2 彙整各項處理技術於地熱案場之應用實例，並描述其應用在地熱案場的成本、優點、缺點等，相關資訊可作為國內相關技術建立或應用之參考。

依所蒐集之資訊初步分析，電子裝置及磁性裝置雖成本較低，但因設備耐溫不高，較不適合應用於高溫地熱系統；管材塗料技術尚處於研發階段，未有相關應用案例；化學法及阻垢劑則為國際上處理結垢最有效的方式，但仍存在環境影響之疑慮，故尋求環境友善之除垢方法為現階段最重要之課題，而我國法規中雖無提及化學藥劑擠注於地層之相關規定，但各開發案在辦理申設程序時，若電廠開發規劃中提及化學藥劑注入，須提供相關佐證資料以說服主管機關，另亦可能須經多年環評才可施行，故現階段國內尚無化學藥劑使用之案例。

我國於工程開發之環保意識高，地熱井過去多以物理性除垢方式進行結垢處理，包含機械式洗井與潛水電泵，雖成本相對高昂，但為目前國內開發環境下，最適用之處理方式。而環境友善阻垢劑可能為改善我國除垢效益之可行方法，工研院綠能所將持續進行相關資訊蒐集與分析，並評估其適用於我國地熱開發環境之可行性。

表1、結垢處理技術分類

方法	技術類型	技術原理簡述	技術成熟度	備註
電子裝置	物理性 (預防結垢)	利用電子元件所產生的電脈衝來進行水處理，撞擊促使離子在管道內沉澱，生成非黏附的礦物粉末 ^[1]	高	已商品化
磁性裝置	物理性 (預防結垢)	利用磁場影響液體中的懸浮微粒或離子以防止出現硬化沉積物	高	已商品化
機械式除垢	物理性 (結垢清除)	利用純機械式直接刮除或利用流體高動能洗井處理井體淤塞	高 (一般水井) 低 (地熱井)	應用於一般水井之技術成熟度高，但針對地熱井則較低
潛水電泵	物理性 (預防結垢)	對目標井持續給予穩定高壓，增加離子在流體中的溶解度	中	國外油井過去使用頻率高，國內需國外技師協助安裝
管材塗料	化學性 (預防結垢)	塗料後使管材表面有有如豬籠草的浸潤結構，使液體有較佳滑動性	低	實驗室階段
化學法 (強酸、強鹼、氣體)	化學性 (結垢清除)	利用pH值變化改變碳酸鹽類等礦物之溶解度	高	已實際應用於EGS地熱案場(Soultz-sous-Forêts)
阻垢劑	化學性 (預防結垢)	提高臨界析出離子積值、分散功能、晶格變形效應，使晶核不易結晶	中	已實際應用於地熱案場，並持續進行新型阻垢劑研發，又以環境友善阻垢劑研發為主

表2、結垢處理技術應用案例分析

方法	實際地熱應用案例	成本(NTD)	優點	缺點
電子裝置	國內外皆無案例	約3萬元	成本較低	適用於溫度 $< 90^{\circ}\text{C}$ 的環境下，且需額外耗能
磁性裝置	國內外皆無案例	約3千元	成本較低	適用於溫度 $< 100^{\circ}\text{C}$ 的環境下，若非使用永久磁鐵，則需額外耗能 ^[2]
機械式除垢	國際：Kızıldere Geothermal Well ^[3] 、 Fang Geothermal Power Plant ^[4] 國內：清水電廠	約200-500萬	有機會恢復井的出水效率、井體水質的更生、井體結構修復等 ^[5]	多需搭配藥劑增加效果，需停井2-3個禮拜清洗，常見的清洗頻率為一年1-2次
潛水電泵	國際：West Anatolia、Alasehir、Turkey ^[6] 國內：全陽電廠	約1,000-1,800萬	除結垢預防外，可同時提升地熱井產能	ESP運作需額外耗能，且設備使用年限短
管材塗料	國內外皆無案例	仍為試驗階段	可同時防止腐蝕與結垢	較佳的溫度條件為 $< 150^{\circ}\text{C}$ ，具塗層易脫落且隨時間效能降低等問題 ^[7]
化學法 (強酸)	國際：The Geysers geothermal field、 Baca geothermal field	成本需考量結垢程度、藥劑適用性等因素	效果最佳	具管材腐蝕及環境影響之可能 ^[8] ，藥劑使用濃度需求高於阻垢劑，且可能生成其他沉澱物
阻垢劑	國際：Soultz-sous-Forêts、 Leyte Geothermal Production Field		相較於化學法，其使用的藥劑濃度較低	具管材腐蝕及環境影響之可能

參考文獻：

- [1] 淡水冷卻塔實務守則，第三部：水處理方法2016年版。機電工程署，香港特別行政區政府。
- [2] 劉智文，強磁高效防垢、除垢裝置，中國專利：CN101638271A，2010-02-03
- [3] Kaya, T., Parlaktuna, M., Demirci, N., Güney, A., Dedeoğlu, V., & Kaya, R. (2010). Effectiveness of the acidizing and mechanical reaming of geothermal production well in Kızıldere geothermal well in 2009. In Proceedings of the World Geothermal Congress (pp. 25-29).
- [4] Sakaguchi, K., & Anbumozhi, V. Case Studies on Sustainable Use of Geothermal Energy. Chapters, 57-102.
- [5] 承冠工程實業有限公司，2021。
(摘自 https://www.nec43710315.com.tw/descriptions_4.html)
- [6] Aydin, H., & Merey, S. (2021). Design of Electrical Submersible Pump system in geothermal wells: A case study from West Anatolia, Turkey. Energy, 230, 120891.
- [7] Chen, Y., & Guo, Z. (2020). An ionic liquid-infused slippery surface for temperature stability, shear resistance and corrosion resistance. Journal of Materials Chemistry A, 8(45), 24075-24085.
- [8] Gill, J. S., Jacobs, G., Geldel, A. R., & Miller, T. (2003). Chemical Cleaning and Rejuvenation of Geothermal and Oil Wells.