

以太陽熱能提高原油採收率技術

1. 簡介

提高石油採收率技術(Enhanced Oil Recovery, EOR)是指一種利用氣體注入法(Gas Injection)、混合溶劑法(Miscible Flooding)或熱能法提高原油採收量之技術。相較傳統以一次採收(Primary Recovery)及二次採收(Secondary Recovery)技術僅能採收 20~40% 的原油，EOR 可以大幅提升原油採收率至 30~60%。氣體注入法通常是指注入 CO₂、N₂ 或天然氣至儲油層中，以降低原油之黏度，進而增加原油之採收率。最常使用氣體注入法之氣體為 CO₂，因為其價格較低，且對於深度超過 2,000 呎的儲油層而言，CO₂ 在此高壓狀態下為超臨界狀態(超臨界流體)，CO₂ 此時兼具液體之高密度及氣體的低黏度、高擴散係數等特性，可有效降低原油黏度，提高採收率。值得一提的是，EOR 可搭配 Carbon Capture Storage (CCS)技術，除可封存捕集之 CO₂ 之外，又可提高原油採收率，是一舉兩得的做法。

混合溶劑法是指向油層注入化學品(例如稀釋用之溶劑)，以提升原油之流動性、降低原油之黏度及表面張力，同樣是利用改變原油的物理化學特性以進行提高原油採收率。

熱能提高原油採收率法(Thermal Enhanced Oil Recovery, Thermal EOR)是利用流體之黏度隨溫度提升而減少，注入蒸汽至油層中，使

原油採收率提升的方法。但由於熱能法需要大量的熱能以加熱原油，因此通常利用天然氣作為燃料，以汽電共生的方式產生電能並將多餘的熱能作為 EOR 之用。

2. 太陽熱能提高原油採收率技術

太陽熱能提高原油採收率技術(Solar Thermal Enhanced Oil Recovery, Solar EOR)屬於熱能法的一種，只是有別於傳統燃燒化石燃料(天然氣)作為蒸汽的熱源，Solar EOR 是以太陽熱能作為生產蒸汽之熱能，因此可大幅減少化石燃料成本，並減少溫室氣體排放。由於晚上無法取得太陽熱能且採收原油為 24 小時連續作業，因此如何將 Solar EOR 與傳統的 Thermal EOR 搭配即是技術所在。此外，Thermal EOR 之熱源通常超過 350 °C 以產生足夠高溫之蒸汽(約介於 300~340 °C)作為 EOR 之用，因此以太陽光做為熱源時，也要集中太陽光之熱度以產生 350 °C 以上的高溫，方能生產高溫蒸汽進行 Solar EOR 製程。就當前之發展現況而言，在不影響油田產量之前提下，由於油田生產為 24 小時連續作業，因此太陽光能約可提供 EOR 過程中 80% 的熱能需求，剩下 20% 熱能缺口則以天然氣補足，以因應晚上及陰天等太陽熱能不足時之熱能需求。

目前常見的 Solar EOR 做法有兩種，一種是中央塔式(Central Tower)，係利用類似集熱式太陽能發電(Concentrated Solar Power, CSP)

的方式，鋪設許多大面積、可追蹤陽光之反射鏡，將陽光反射至中央塔之鍋爐以產生蒸汽。

封閉槽(Enclosed Trough，又稱 Parabolic Trough)則是利用溫室的原理打造一玻璃屋，屋內設置許多以陣列(Array)方式排列之弧形鏡片，將太陽光能集中於單一不銹鋼管，以產生溫度 400 °C、壓力 2,500 psi 的高壓蒸汽作為 EOR 之外。玻璃屋之目的除使太陽光透入以利收集之外，亦可防止外界環境對設備之破壞，提高設備之可靠度，且目前採用此方法之 Solar EOR 系統較多。值得一提的是，為了避免累積於玻璃上之灰塵及髒污影響陽光收集，玻璃屋必須定期清洗，以提高熱能收集率。

3. 案例介紹

(1) 21Z 計畫(美國加州 McKittrick)，是 GlassPoint Solar 公司與 Berry Petroleum 公司合作之封閉槽式 Solar EOR 案，亦是世界上第一件商業化之 Solar EOR 實案。此案例於 2011 年 2 月開始，以已有 100 年開採歷史之 McKittrick 油田為對象進行 EOR 開採。其是以約一英畝($4,047 \text{ m}^2$)之面積，每小時收集約 1 MMBtu (約 1.055 GJ)之熱能並取代天然氣產生蒸汽作為 EOR 之用。其產生熱能之功率相當於 0.293 MWth。

- (2) Coalinga (美國加州 Coalinga)，Chevron 公司與 BrightSource 公司的 29 MWth 中央塔式 Solar EOR 計畫，於 2011 年 10 月展開。其面積約 100 英畝，以 3,822 片鏡子收集陽光於 327 英尺高之中央塔。
- (3) Petroleum Development Oman(阿曼 Amal 油田)，是 GlassPoint Solar 與 Petroleum Development Oman (PDO)於 2012 年 12 月展開的計畫，亦是中東第一個 Solar EOR 計畫。其與 21Z 相同，皆採用封閉槽式 Solar EOR 技術，但規模遠大於 21Z，達 7 MWth，且生產蒸汽壓力達 100 bar。此系統雖然位處容易有沙塵暴之中東地區，其正常運作時間高達 98.6%，遠高於兩公司之預期，顯示該系統具有極高妥善率，而此可歸因於其採封閉槽式 Solar EOR 技術，設備不易受外界環境破壞。

4. 具有 Solar EOR 市場潛力之地區

美國加州及中東波斯灣區域仍是目前最具有發展 Solar EOR 之地區，主要是因為這些地區具有豐富油藏及陽光充沛等有利條件。其他地區則由於不易同時具備兩因素，因此尚未有實際案例。

參考文獻

1. Enhanced Oil Recovery,

- http://en.wikipedia.org/wiki/Enhanced_oil_recovery
2. Solar Thermal Enhanced Oil Recovery,
http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_thermal_enhanced_oil_recovery
 3. World's first commercial solar EOR project begins,
<http://www.arabianoilandgas.com/article-8545-worlds-first-commercial-solar-eor-project-begins/1/print/#.UgPLI2T71YI>
 4. Electric Power Research Institute (EPRI), Palo Alto, CA (1999),
Enhanced Oil Recovery Scoping Study, Final Report, No. TR-113836.
http://www.energy.ca.gov/process/pubs/electrotech_opps_tr113836.pdf
 5. Chevron Uses Solar-Thermal Steam to Extract Oil in California,
<http://www.bloomberg.com/news/2011-10-03/chevron-using-solar-thermal-steam-at-enhanced-oil-recovery-plant.html>
 6. Petroleum Development Oman and GlassPoint Commission the
Middle East's First Solar EOR Project,
<http://www.glasspoint.com/petroleum-development-oman-and-glasspoint-commission-the-middle-east-s-first-solar-eor-project/>
 7. Petroleum Development Oman,
<http://www.glasspoint.com/solar-eor-projects/petroleum-development-oman/>