

國內氣田泡沫舉升法增產規劃與效益評估

李佳勳¹、黃乙倫¹、巫聖哲¹、郭彥汝²、施永銘²、吳珉豪²

王志文¹、田志明¹、陳冠志²、黃德坤¹

台灣中油股份有限公司探採研究所¹

台灣中油股份有限公司探採事業部²

摘要

近年來，國內陸上天然氣田大多已進入生產末期，自然生產能量逐年衰退，許多礦區已遭遇生產壓力不足及液體聚積(Liquid Loading)等問題，對於液體聚積議題，天然氣井除液技術(Gas Well Deliquification)可排除或減緩井內聚積的液體，在眾多天然氣井除液技術中，泡沫舉升法(Foam Lift)為前期成本較低的工法，其核心在於添加界面活性劑至井底積液，在表面張力及液柱密度下降的作用下，能改善積液流動能力，達到排除井底積液以及提升產氣量之效果。因此，本研究選定泡沫舉升法作為研究核心，並以出磺坑氣田為目標案場，進行泡沫舉升法技術引進前之研究與規劃，研究成果可做為新技術引進及應用的重要依據。

本研究取得泡沫舉升法技術核心產品，如界面活性劑、消泡劑和破乳化劑等產品，完成一系列實驗，具體掌握泡沫舉升技術特性，並與現場單位共同研討泡沫舉升法現地應用方案，完成現地應用方案規劃書，並完成增產量評估以及經濟可行性分析。研究結果顯示，施作泡沫舉升法確實可有效增加產氣量，且技術成本已相對低於其他除液工法，建議於出磺坑氣田嘗試應用泡沫舉升法，再依據測試結果決定是否擴大應用。

關鍵詞：液體聚積、天然氣井除液技術、泡沫舉升法、出磺坑氣田

一、研究背景與目的

天然氣井除液技術包含氣舉法(Gas Lift)、電潛泵法(Electric Submersible Pump, ESP)、柱塞舉升法(Plunger Lift)以及泡沫舉升法，可排除或減緩井內聚積的液體，在眾多天然氣井除液技術中，泡沫舉升法為前期成本較低的工法，其核心在於添加界面活性劑至井底積液，在表面張力及液柱密度下降的作用下，能改善積液流動能力，以達到排除積液和提升產量之效果。本研究以此優勢為出發點，選定泡沫舉升法作為研究核心，對本公司而言，泡沫舉升法係過去不曾嘗試過的新技術，為了解決新技術之疑慮，本計畫對泡沫舉升法進行技術引進前之研究與規劃。經篩選公司轄下國內氣田，出磺坑氣田因存在較多的生產井串，且具有明顯液體聚積現象，本研究選定其為目標案場，進行泡沫舉升應用評估，研究成果將做為新技術引進及應用的重要依據，期望能在技術及經濟

面向為公司帶來正面效益。

二、研究技術說明

(一)、出磺坑氣田生產現況探討

為釐清探討出磺坑氣井生產現況，本研究彙整各生產井串之生產數據、噴流測試紀錄、流體成份、測井壓力、完井/修井報告、井下剖面圖以及井場配置圖，旨在釐清出磺坑氣田特性，相關資訊作為技術應用評估的依據。針對出磺坑眾多的生產井串，本研究以井下測井壓力研判各組井串是否存在液體聚積，並根據各井串生產數據、完/修井歷史及流體成份篩選技術應用候選井串。

(二)、泡沫舉升法技術分析

本研究團隊主動聯繫國內外廠商，以取得界面活性劑產品做為首要目標，並彙整各廠商推薦產品、工法以及成本資訊。取得實際產品後規劃進行實驗分析，包含表面張力試驗、消泡、破乳化、起泡性能以及廢水試驗，主要目的在於實際掌握泡沫舉升法的技術特性，後續依據實驗結果進行技術應用規劃。

(三)、氣井泡沫舉升法增產量評估

雖尚未正式應用泡沫舉升技術，仍可透過相關數學理論事前預估泡沫舉升法能帶來的增產氣量，本研究根據各井串噴流試驗資料進行瞬時壓力分析(Pressure Transient Analysis, PTA)，評估地層滲透率及膚表因子，接續進行產能評估，建立流入能力(Inflow Performance Relationship, IPR)曲線及流出能力(Vertical Lift Performance, VLP)曲線，擬合自然噴流情境下的產能，再導入界面活性劑之表面張力及泡沫密度參數，評估泡沫舉升法情境下之產能，並使用遞降曲線法預測增產後產能遞降的生產剖面。

(四)、泡沫舉升法現地應用方案規劃

為確保泡沫舉升法能實際應用於出磺坑氣田，本研究實際勘查井場、管線和廢水處理池，與現場單位共同研討可能的應用方案，並針對現場單位提出的風險及困難點逐一擬定應對措施，降低風險並確定技術可行性，進而完成出磺坑氣田泡沫舉升法應用規劃書。

(五)、泡沫舉升法經濟可行性分析

本研究整合增產量評估以及現地應用方案成果，進行經濟可行性分析，針對淨現值(Net Present Value, NPV)、內部投資報酬率(Internal Rate of Return, IRR)、回收時限以及益本比等經濟指標進行分析，並對增產後產量變化進行敏感度分析，綜合研判泡沫舉升法是否具有經濟效益和經濟可行性，分析流程如圖 1 所示。



圖1、經濟可行性分析流程

三、研究成果

(一)、出磺坑氣田生產現況探討

本研究彙整出磺坑氣田 50 組井串相關背景資料，並以井下測井壓力判斷井串液體聚積現象(圖 2)，並估計液面深度，結果顯示有數組井串存在液體聚積現象，進一步搭配生產歷史、噴流試驗資料以及流體成份進行篩選，本研究最終篩選 5 組井串做為泡沫舉升法技術應用候選井。

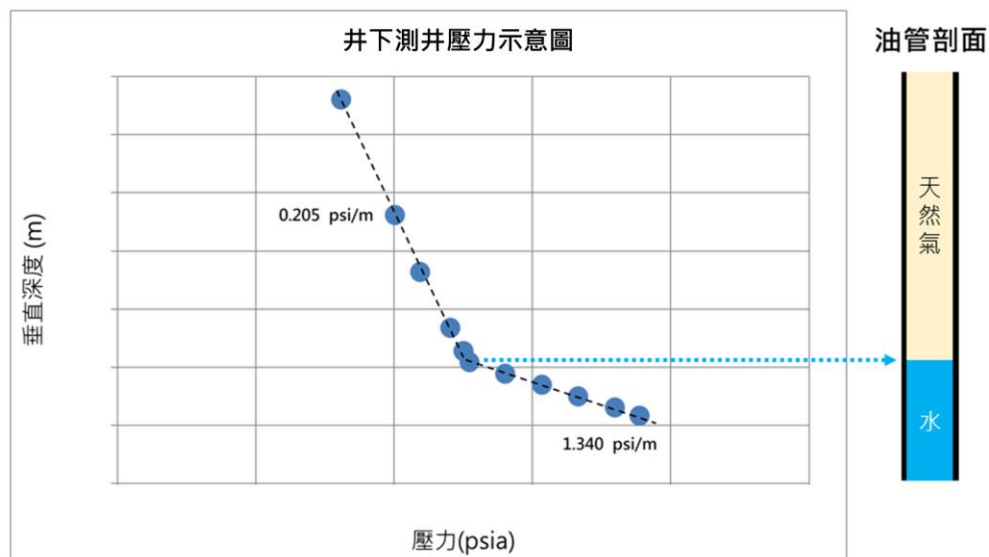


圖2、測井壓力與液體聚積關係示意圖

(二)、泡沫舉升法技術分析

本研究接洽多家潛在廠商，共取得 2 組液體型界面活性劑、1 組固體型界面活性劑、1 組消泡劑和 1 組破乳化劑，並使用出磺坑氣田混合伴產水完成一系列實驗，實驗結果顯示，3 組界面活性劑皆可有效降低氣-水表面張力，且 3 組產品之下降幅度無顯著差異；消泡劑及破乳化劑可有效地應用於 3 組界面活性劑，消泡和破乳化效果顯著(圖 3)；本研究製作壓克力砂箱模型進行起泡性能試驗(圖 4)，證實泡沫舉升法確實具有除液效果；透過多階段廢水試驗以及放大規模實驗確認，在規模較大的水體，其實驗結果趨勢與實驗室內取得成果一致，結果顯示在控制排放濃度的情形下，可將泡沫舉升法廢水排放現有的廢水處理池進行處理。經過綜合分析，並考量廢水池處理耐受程度，本研究挑選固體型界面活性劑進行後續評估。



圖3、添加界面活性劑、消泡劑以及破乳化劑之變化

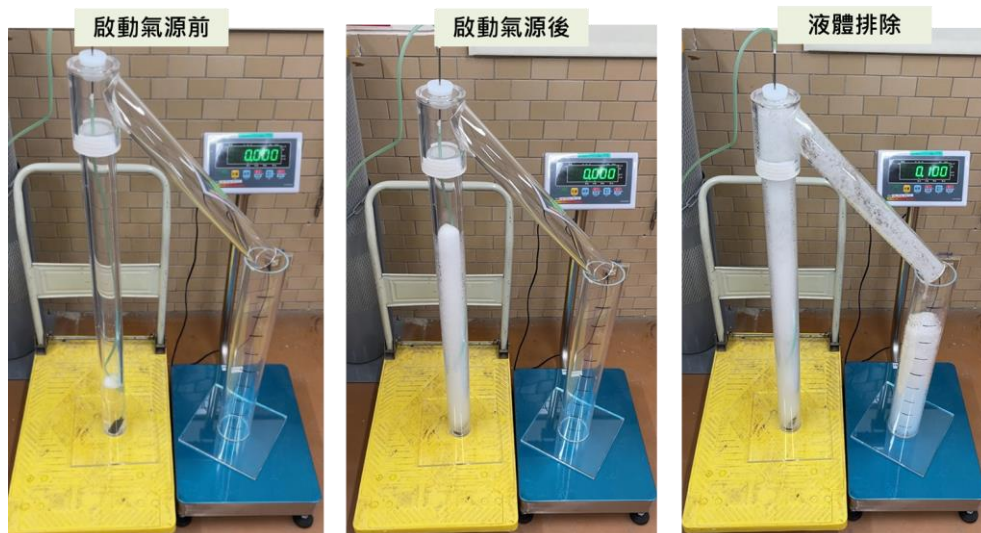


圖4、壓克力砂箱試驗測試起泡性能

(三)、氣井泡沫舉升法增產量評估

本研究進行資料品質檢驗後，從 5 組技術應用候選井串中挑選 3 組井串進行分析，其餘 2 組井串因資料點品質不佳無法進行分析。PTA 分析結果顯示出磺坑氣田產層滲透率較低，膚表因子較高，容易產生液體聚積現象。本研究亦完成自然流動情境以及泡沫舉升法情境下之產能評估，以圖 5 為例，應用泡沫舉升法後產氣量確實會顯著提升約 40%，伴隨添加的界面活性劑濃度不同，產氣量亦會隨之變化。上述成果為泡沫舉升增產後的瞬時產量，隨著時間經過，井下的界面活性劑將與伴產水一同被帶出井口，產氣量會隨之下降，直至與增產前產氣量相當，本研究使用遞降曲線法評估增產後產量遞降情形，因實際遞降情形具有不確定性，故分為遞降較快的情境以及遞降較慢的情境(圖 6)，相關成果做為後續經濟可行性分析的輸入參數。

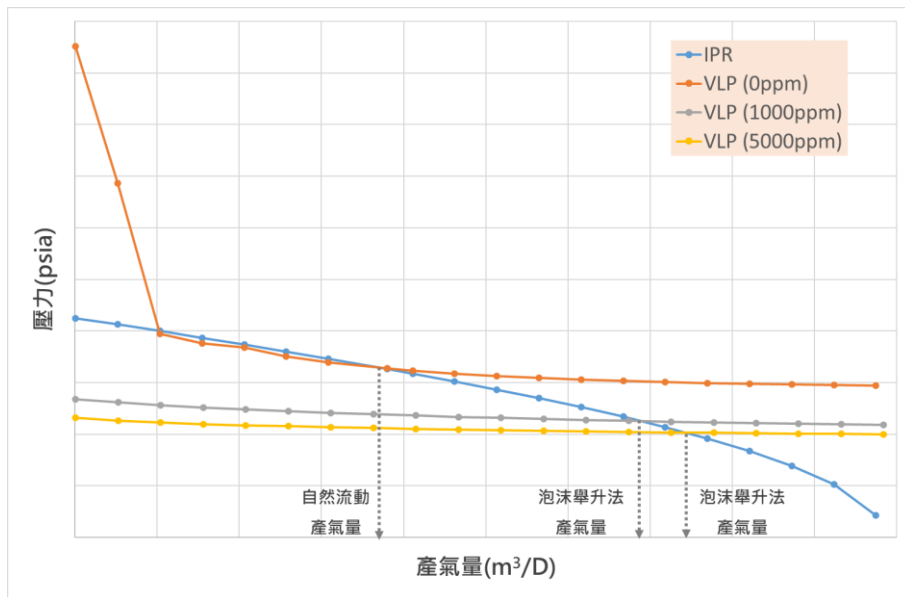


圖5、泡沫舉升法增產氣量評估

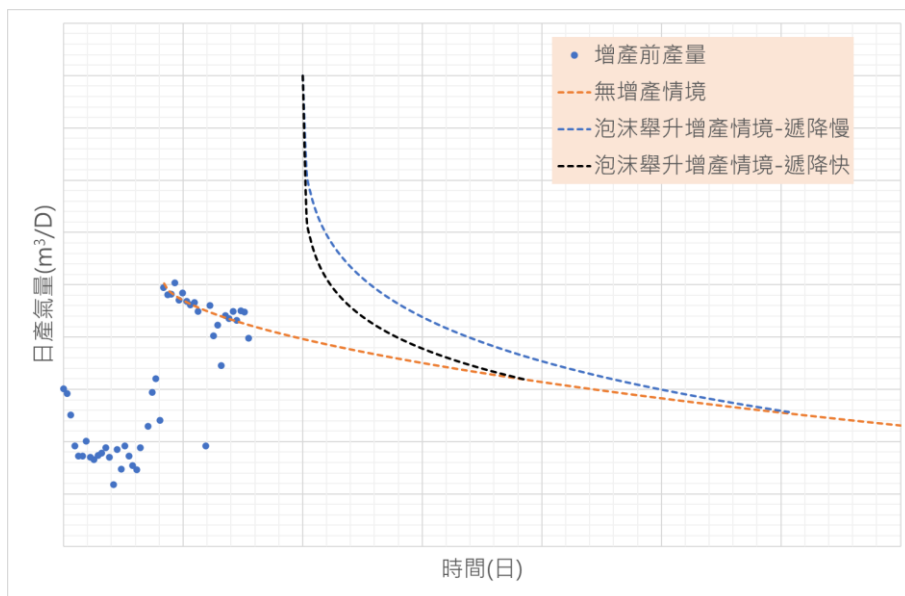


圖6、泡沫舉升法增產後產量遞降評估

(四)、泡沫舉升法現地應用方案規劃

本研究依據實驗成果與現場單位研討，並至井場與廢水處理場進行勘查，並以固體型界面活性劑為基礎，規劃現地應用方案，在多次的研討中，現場單位提出投放方式、投入卡阻處理方式、藥劑使用量、優先候選井、廢水處理等風險以及困難點，本研究逐一提出應對措施，並擬定出磺坑氣田泡沫舉升法現地應用規劃書，做為未來施工的參考依據。

(五)、泡沫舉升法經濟可行性分析

經濟可行性係依據增產量評估以及現地應用方案成果進行分析，經假設天然氣價格、營運費用及泡沫舉升法施作費用以建立現金流(圖 7)，並據此計算 NPV、IRR、回收時限以及益本比等經濟指標，計算結果顯示因泡沫舉升法施作費用不高，且可取得額外產氣量收入，若額外產氣量收入高於施作泡沫舉升法的額外花費，此技術即具有經濟可行性。惟泡沫舉升法增產後的產量遞降具有不確定性，圖 7 為泡沫舉升法增產後產量遞降較慢的情境，此情境下泡沫舉升法具有經濟效益；在產量遞降較快的情境中(圖 8)，額外產氣量收入有可能不足以抵銷泡沫舉升法施作費用，此時泡沫舉升法便不具有經濟可行性。經綜合考量，泡沫舉升法技術成本已相對低於其他除液工法，建議於出磺坑氣田嘗試應用泡沫舉升法，再依據測試結果決定是否擴大應用。

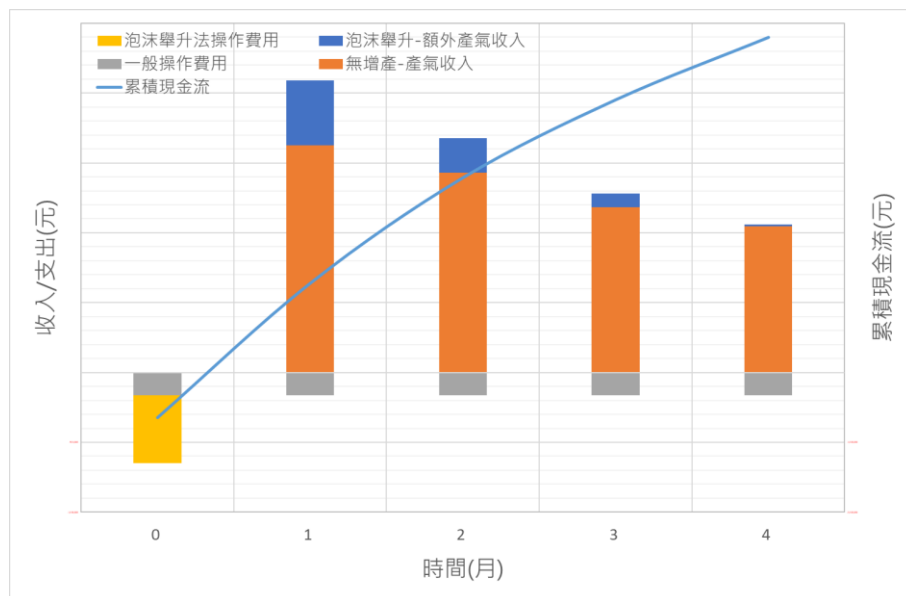


圖7、泡沫舉升增產後-產量遞降較慢情境之現金流示意圖

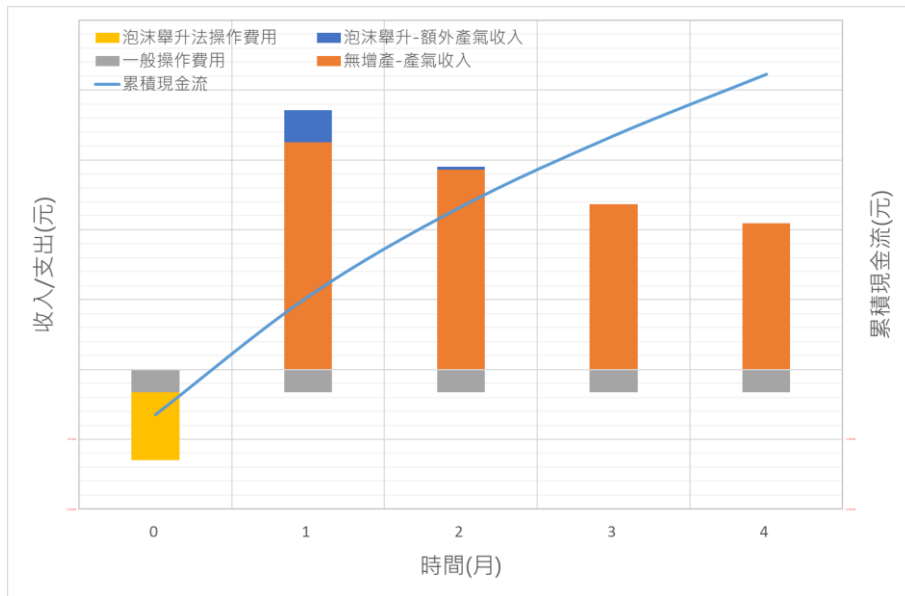


圖8、泡沫舉升增產後-產量遞降較快情境之現金流示意圖

四、結論與建議

本研究完成「出磺坑氣田生產現況探討」、「泡沫舉升法技術分析」、「氣井泡沫舉升法增產量評估」、「泡沫舉升法現地應用方案規劃」以及「泡沫舉升法經濟可行性分析」等五大工作項目，針對泡沫舉升法完成多面向的技術評估，並取得以下成果與建議。

- 1.根據井下測井壓力、生產歷史及噴流試驗等數據，釐清出磺坑氣田內具有液體聚積之井串數量，並根據各井現況挑選出技術應用候選井串。
- 2.實際取得泡沫舉升法技術產品，經過一系列實驗，已掌握泡沫舉升法技術特性，依據實驗結果篩選較合適的產品。
- 3.選定合適產品後，與現場單位共同研討泡沫舉升法現地應用方案，針對可能的風險及困難點逐一擬定應對措施，完成泡沫舉升法現地應用規劃書。
- 4.完成增產量評估和經濟可行性分析，研究成果顯示施作泡沫舉升法可有效增加產氣量，增產後若產能遞降較慢便會有較佳的經濟效益，反之亦然。
- 5.泡沫舉升法之技術成本已相對低於其他除液工法，建議於出磺坑氣田嘗試應用泡沫舉升法，後續可依據測試結果決定是否擴大應用。