

# 鐵砧山氣田生產營運管理研究

田志明<sup>1</sup>、林孝維<sup>2</sup>、吳偉智<sup>1</sup>、傅式齊<sup>1</sup>、賴思蓉<sup>2</sup>、邱琪惠<sup>2</sup>

彭世欽<sup>2</sup>、張光宇<sup>2</sup>、陳冠志<sup>1</sup>、陳進發<sup>1</sup>、楊國威<sup>2</sup>、施輝煌<sup>2</sup>

台灣中油股份有限公司探採研究所<sup>1</sup>

台灣中油股份有限公司探採事業部<sup>2</sup>

## 摘要

鐵砧山氣田屬於強水侵氣田，當轉成儲氣窖營運時，需盡量達成注產氣量平衡並且監控地層壓力和氣水界面位置等相關資訊，並透過地質模型及油層模擬歷史擬合等技術，瞭解儲氣窖內天然氣可儲存之動態範圍。為維持並提高鐵砧山儲氣窖之利用率，本計畫透過 104 年新鑽注產氣井之鑽後資料，評估利用儲氣窖進行擴大注儲及產氣之可行性，研擬最適注產氣方案並規劃未來營運方針。

鐵砧山氣田自 79 年注氣開始，截至 107 年 9 月儲氣窖總注氣量 28.54 億 m<sup>3</sup>，期間總生產量約 71.40 億 m<sup>3</sup>，生產量大於注氣量，致底水上升較預期快速，從 101 年底地層壓力突然竄升，研判可能受強水驅影響。

截至 107 年 9 月，評估結果顯示 B 地塊蘊藏量為 7.78 億 m<sup>3</sup>，A 地塊蘊藏量為 3.82 億 m<sup>3</sup>，東南地塊蘊藏量 3.64 億 m<sup>3</sup>，總蘊藏量為 15.24 億 m<sup>3</sup>。假設 T-B1、C1 及 C2 井總共以 100 萬 m<sup>3</sup>/d 注氣，井底流壓 3,300 psi 限制條件下，1 年左右注氣量可達 4 億 m<sup>3</sup>，總注氣量可達 22 億 m<sup>3</sup>。主斷層西側如以 100 萬 m<sup>3</sup>/d 生產，可持續生產近 10 個月，累積維持高峰之總產量 2.78 億 m<sup>3</sup>，評估 B 地塊蘊藏量為 7.78 億 m<sup>3</sup>，扣除總產量即墊底氣量為 5.0 億 m<sup>3</sup>。

本研究建議事業部在儲氣窖注儲能量可減少下，將 A 地塊蘊藏量產出歸還天然氣事業部，B 地塊維持儲氣窖功能，惟仍需注意注產平衡及地層壓力之變化。持續監控井口與井底壓力變化、注產氣量資料和伴產水鹽度等，以有效瞭解水驅強度對儲氣窖之影響進而有效管理，調整營運策略。

**關鍵詞：**鐵砧山、儲氣窖、油層模擬、歷史擬合

## 一、背景說明

公司自民國 79 年底起，在鐵砧山氣田進行小規模之注產氣作業，主要為了因應未來市場用氣量及配合天然氣發電廠用氣量其尖峰、離峰間之巨大變化，進而擴充鐵砧山氣田 TT-1A 層之注產氣能力。故此，TT-1A 層陸續修三口井及

新鑽六口注產氣井轉用為儲氣窖，民國 104 年起又陸續新鑽兩口注產氣井，用以擴大注產氣規模。

近年探採事業部提出鐵砧山儲氣窖新鑽注產氣井計畫，並已完鑽兩口新注產氣井，其中新鑽注產氣井鑽後所得之地質及工程相關資料，對於更精確描述鐵砧山儲氣窖地質構造及評估注產氣能力有相當大之助益。

本計畫主要目的乃利用新鑽注產氣井之鑽後地質及工程資料，評估鐵砧山儲氣窖擴大注儲及產氣之可行性，並依據分析結果提出最適注產氣方案與未來營運規劃方針，提升儲氣窖注產氣操作效益。

## 二、研究方法

為評估鐵砧山儲氣窖最適注產氣方案與未來營運規劃方針，本計畫主要分三大構面進行：

### (一)新鑽注產氣井注產能力評估

本計畫首要目標係透過新鑽注產氣井地質及工程各項資料，根據儲集層之岩性、井程及完井計畫，評估其單井產能、排掃範圍。為有效瞭解新鑽注產氣井注產能力，需進行單井產能分析，也稱為節點分析。此部分之主要工作內容包括：1.儲氣窖內天然氣物性參數及鑽後地質暨工程資料蒐集與分析；2.新鑽注產氣井 DST 噴流試驗分析；3.單井產能分析。

### (二)新地質模式建立與注產氣資料歷史擬合

儲氣窖之開發評估一般均以油層模擬進行分析，但油層模擬之建立，需要具有地質模式所須，包括：地層頂部構造圖、斷層分布、各層之毛厚度、各層之淨厚圖、孔隙率分布圖以及滲透率分布圖等。此外，起始條件、邊界條件及地層流體特性描述亦為重要之輸入資料。

準確的輸入資料才能產生可靠之模擬結果。故在儲氣層物性方面，盡可能以實測值輸入模式中使具代表性，所建立之模式再以生產歷史擬合，如擬合結果吻合，此氣田模擬模式當可作為未來氣田之動態預測，同時可供轉為儲氣窖之應用。諸如新井位之布置、最大產能之預測、儲氣窖營運時之動態預測。此部分主要工作內容包括：1.鐵砧山氣田資料蒐集與分析；2.鐵砧山儲氣窖地質模式建立；3.注產氣資料歷史擬合。

### (三)儲氣窖擴大注產能力評估及營運規劃方針

透過新地質模型和注產氣資料歷史擬合之結果，瞭解最新儲氣窖氣水界面位置和氣包範圍。配合現有井之最新井況和節點分析結果，應用油層模擬技術研擬出最適注產氣井注產氣規劃，此部分主要工作內容包括：1.評估鐵砧山氣田在不包含注入 LNG 量下之蘊藏量；2.儲氣窖擴大注產氣規模之可

行性，研擬最適注產氣方案並規劃未來營運規劃方針；3.評估儲氣窖於特定操作條件之墊底氣量，和瞭解儲氣窖以現場最大允許操作條件下之天然氣儲量及最大總注入量。

### 三、研究成果

#### (一)新鑽注產氣井注產能力評估

新鑽注產氣井 T-C1 和 T-C2 與先前 T-A 和 T-B 注產氣井採用不同完井方法，T-A 和 T-B 井採用裸孔礫石填充法完井，而此次 T-C 井均採用套管及防砂篩管方式完井。兩口井於 106 年進行完井時，因考量鑽井和完井時程，故僅進行短時間完井後之噴淨井眼過程，尚未有一完整且較長之穩定噴流試驗，如僅以短時間資料進行相關分析，可能無法有效獲得合理產能。

#### (二)鐵砧山儲氣窖地質模式建立

鐵砧山區域雖有三維震測資料，但因震測能量無法穿透地表礫石層故訊號不佳，無法進行斷層及地層精密解釋。故本研究以民國 97 年鐵砧山氣田 TT-1A 頂部地下深度構造圖做為建模起點，透過 52 口井解釋之地層頂部標記製作各細層之頂部構造圖，再以鑽井資料解釋之岩性、孔隙率等進行建模。

本研究與先前研究之最大不同處為，先前研究其建模方法認為砂岩與頁岩有非常好之水平展布，因此各層次內僅有單種岩性(砂岩或頁岩)，不同層次間岩體完全分隔，流體僅能於各砂體層間流動，抑或是藉著斷層向他側連通之砂岩層流動。本研究增加岩性向外自然展布的可能性，井與井之間岩性散布採地質統計方法拓展，岩性受鄰近點、井間趨勢及半變異函數控制，砂岩及頁岩厚度會隨相對位置而變化，較符合自然界真實沉積情形，圖 1 為鐵砧山氣田東西向岩性模型剖面展示。

#### (三)油氣層數值模擬暨歷史擬合

鐵砧山氣田因轉為儲氣窖，故原始地層流體已與注入 LNG 互相混合，故在油層模擬上以採用狀態方程式進行組分模擬會得到較佳之模擬結果，並且能描述儲氣窖內各流體組成在不同時間下之相對位置分布。但因鐵砧山儲氣窖在一開始營運前，即未對各氣井所生產之凝結油生產做詳細紀錄，且考慮到注入 LNG 量相較原始氣體埋藏量所佔比例不大，故仍採用傳統黑油方式進行模擬。

圖 2 為鐵砧山氣田注產氣量與壓力隨時間之關係圖，鐵砧山氣田自民國 54 年開始生產，截至 107 年 9 月底，總產量包含再生氣之部分共產出 259.22 億  $m^3$ ，LNG 注氣總量為 28.54 億  $m^3$  (A 地塊注入 16.15 億  $m^3$ ，B 地塊注入

12.39 億  $m^3$  天然氣)。再生氣總量為 16.04 億  $m^3$ ，注入 LNG 總結存量為 12.50 億  $m^3$ 。再生氣之定義為因注產過程中，原始埋藏於鐵砧山氣田之天然氣與注入 LNG 會混合，產出之氣體如歸類為原始 LNG 注入部分稱為再生氣。

鐵砧山氣田於民國 66 年氣田達到生產最高峰值每日平均產量約 390 萬  $m^3$ ，隨後則產量逐漸遞減，地層壓力亦隨之遞減，民國 79 年氣田轉換成儲氣窖並開始進行注氣，後續於民國 89 年新鑽六口 T-A 和 B 注產氣井擴大注氣規模，89 年度注氣量每日平均約 85 萬  $m^3$ ，且 89 至 90 年度地層壓力亦隨注氣量顯注增加而升高。

根據前人以物質平衡法及油層模擬研究，鐵砧山氣田歸屬強水驅，建議須盡量以注產平衡為目標，達成儲氣窖永續經營之目的。從圖 2 中發現自民國 79 年開始注氣後，鐵砧山儲氣窖整體生產量仍大於注氣量，須注意地層壓力與注產氣量之關係，以了解儲氣窖遭受水侵的影響程度。圖 2 中觀察民國 99 年至 102 年期間注產歷史與壓力資料之關係，可發現年度注入量僅略大於產量，但注產氣井之 A 及 B 地塊之地層靜壓上升約 170 psia。初步研判應為強水驅之影響。

原始氣水界面位置是用來界定初始氣層所涵蓋之範圍，地質靜態模型與動態之油層模擬初始化均需要使用此參數計算原始氣體埋藏量，鐵砧山氣田各地塊共用氣水界面為海平面下 2,750 m，地層初始壓力約為 3,950 psia。新鑽注產氣井 T-C1 位在 B 地塊，於 105 年 1 月實施電測結果，電測發現了氣水界面可能位在約 3,284 m 鑽深位置，換算海平面下約 2,632.5 m，此結果相較於使用壓力梯度推斷氣水界面，更具準確性，故此 B 地塊於當時實施電測所推測氣水界面，將是後續歷史擬合之重要參考。

本研究之歷史擬合主要調整參數為斷層傳導率、相對滲透率曲線、淨毛比(net to gross ratio)，Carty-Tracy 水體強度、局部滲透率。透過不同地塊及各井特性加以逐步調整，因地質模型在南地塊面積較大但井數少、控制點不多，與 A、B 及東南地塊面積略小井數多、控制點多情況下相比，會有較大之地質不確定性，相對歷史擬合之調整彈性也較大，且 A、B 及東南地塊為目前尚在生產之地塊，雖須全面性考慮到各地塊各井之擬合結果，但對於 A、B 地塊之擬合精度要求相較於其他地塊來的高，以擬合各井底靜壓為首要目標並控制平均誤差在 5% 範圍內，而各井注產氣量需要完全擬合，另外產水量則以生產井停產或修井日期後之產水量趨勢當成參考。

鐵砧山氣田依照各地塊所在井數，分別為北地塊 4 口井，B 地塊 16 口井，A 地塊 14 口井，西南地塊 1 口井，東南地塊 6 口井及南地塊 11 口井。圖 3 為 T-B1 之擬合結果。圖中紅色圓點代表量測之井底靜壓，黑色實線及

黑色虛線分別代表井底壓力變化趨勢，其中黑色虛線是初始鐵砧山氣田既有 Carter-Tracy 水體且針對不同地塊之水侵大小進行擬合而得，對於 T-B1 之井底靜壓擬合，可觀察出黑色虛線在 101 年壓力竄升現象無法有效擬合，為擬合此現象，輔以 101 年再額外施加定壓之強水驅給予地層，以使後段壓力能予以擬合，後段擬合之結果(黑色實線)與整體壓力趨勢相符。圖 2 中的洋紅色圓點為現場紀錄之產水量，T-B1 於測井時未有任何出水及積液現象，但現場紀錄有產水量，係為凝結水量。

本模式之調諧結果可稱良好，五十多口生產井之井底靜壓模擬值與觀測值均普遍吻合。而在出水現象方面之擬合除透過出水時間外，亦可觀察部分井之橫剖面圖了解氣體與水飽和度之分布當作判別水線之可能位置。圖 4 為通過 T-C1 井之氣體飽和度圖更新至 107 年 9 月後之歷史擬合結果。擬合結果發現所推斷目前之氣水界面與模擬結果很相近，T-C1 位於主斷層西側其氣水界面約為海平面下 2,632.5 m 與電測結果相近，整個模式之表現可說擬合良好，對於未來氣田之表現，本模式乃具有預測之能力及代表性。

根據上述歷史擬合結果顯示，本模擬模式已具有相當之代表性，因此模式中鐵砧山原始氣體埋藏量應具有相當可信度。鐵砧山氣田之原始埋藏量為 325.51 億  $m^3$ ，TT-1A 層之原始氣體埋藏量約有 255.25 億  $m^3$  (其中 TT-1Aa 層約有 58.73 億  $m^3$ 、TT-1Ab 層約有 68.68 億  $m^3$  及 TT-1Ac 層約有 127.84 億  $m^3$ )。TT-1A 層以外生產層之原始氣體埋藏量約有 70.26 億  $m^3$  天然氣(含 TT-1A''層約有 28.82 億  $m^3$ 、TT-1A'層約有 10.75 億  $m^3$ 、TT-1B 層約有 25.87 億  $m^3$  及 TT-1C 層約有 4.82 億  $m^3$ )。此外本模擬模式亦可以進一步進行未來注產計畫之模擬。

鐵砧山儲氣窖目前僅剩 A、B 及東南地塊尚有井在生產，根據目前更新至 107 年 9 月後之歷史擬合結果，如圖 5，發現 A 地塊之 TT-1Ac 層已面臨嚴重水侵之結果，TT-1Ac 層為儲氣窖注產層位中厚度最大的注產氣層，因此對於 A 地塊而言，勢必面臨喪失儲氣窖之功能，並且須儘速產出注入之 LNG。對於 B 地塊相較於 A 地塊處於高區位置，故仍保有儲氣窖之功能。

#### (四)追蹤劑識別 LNG 注氣範圍

鐵砧山氣田因轉為儲氣窖，原始地層流體已與注入 LNG 互相混合，在油層模擬上採用狀態方程式進行組分模擬會得到較佳之模擬結果，並且能描述儲氣窖內流體組成於不同時間之相對位置分布且可分析產出天然氣熱值。但因鐵砧山儲氣窖在一開始營運前，即未對各氣井所生產之凝結油生產做詳細紀錄故無法建立組分模擬。本研究延伸黑油油層模擬之應用，於注入 LNG 中加入追蹤劑將可了解注入 LNG 後擴散之範圍，此雖為定性分析，但本研

究亦建立鐵砧山原始地層流體與注入 LNG 流體之熱力學狀態方程式並與現場觀測之分離器氣體取樣成份分析即可識別出各井所在之地層流體成份。

鐵砧山初始地層流體  $C_7^+$  重成份約為 1.6 mol%，初始測試氣油比依照慣用氣油比分類可歸類為濕氣。但從相圖顯示出其流體類型歸類成逆變凝結油之貧氣。鐵砧山儲氣窖於不同時間內注入 LNG 之組成， $C_1 \sim C_4$  成份(甲烷~丁烷)即佔了 99 mol%，並無  $C_7^+$  重成份存在。

透過原始流體與地層流體之不同莫爾比例混合，即可分析混合後地層流體成份，隨後經由熱力學狀態方程式以分離器測試(Separator Test)，可預測經由分離器狀態下所得之氣體成份，配合現場所量測之氣體成份、噴流試驗氣油比和凝結油比重，便可驗證此方法之可靠度，以取代無法使用組分模擬之方法。

表 1 為原始地層流體與注入 LNG 混合不同比例之井底流體組成，注入 LNG 組成採用 106 年 11 月最新採樣分析結果，表中可明顯看出隨著注入 LNG 氣體成份越多， $C_1$  成份逐漸遞增而  $C_7^+$  成份遞減。

地層流體重成份變少所得之生產氣油比會增加，凝結油產量降低。圖 6 為混合不同 LNG 比例之地層流體相態圖，同樣隨著混合比例增加，地層流體已經逐漸變成極貧之逆變凝結油。注產氣井在長時間之操作下，已經將地層於井孔附近析出微量之凝結油氣提出，促使凝結油造成之膚表因子降低，此將有助於產能提升。

以現場資料佐證熱力學狀態方程式之應用性，蒐集部分井從注氣前後之分離器狀態所取得氣體樣品之成份、氣油比，同樣以熱力學狀態方程式反推地層流體組成，並與油層模擬追蹤劑之應用相互比較。

圖 7 為油層模擬注入 LNG 追蹤劑在 107 年 9 月份於 TT-1A 之濃度分布，假設各井所注入 LNG 為同一種類型即成份一致。圖中濃度分布較高之位置位於 T-A1、T-15、T-A3 和 T-B1 附近。濃度高之涵義即與這些井之注入量和構造位置有關，鐵砧山儲氣窖新鑽注產氣井 T-C1 和 T-C2 之相對位置位於 B 地塊之另一高區，其追蹤劑濃度較低，表明 T-C1 和 C2 之井底流體相較於同一地塊內之 T-B1 井  $C_1$  成份較低而  $C_7^+$  成份較多，從鑽完井之噴流試驗所得之氣油比較低，和所得分離器組成之成份即可證明。

#### (五)儲氣窖最適生產管理營運策略

歷史擬合結果顯示 A、B 地塊部分之 TT-1Ac 層已面臨嚴重水侵，TT-1Ac 層為儲氣窖注產層位中厚度最大的注產氣層，因此對於鐵砧山之營運策略須先得知鐵砧山蘊藏量，方可評估未來擴大注產能力與否。總蘊藏量包含注入 LNG 之結存量與原始鐵砧山氣田之蘊藏量，故透過歷史擬合後之模擬模式

來進行天然氣總蘊藏量之預測。

根據探採事業部採工處所提供資料，目前鐵砧山預計現在及未來可加入生產行列的井合計有 A 地塊 T-15、T-25、T-A2 和 T-A3 四口井；B 地塊 T-16、T-33、T-35、T-B1、T-C1 和 T-C2 六口井；以及東南地塊 T-34 一口井，共計 11 口。

各地塊以生產氣量分配，A 地塊五口井合計每日可產 63 萬  $\text{m}^3/\text{d}$ ，B 地塊五口井合計每日可產 115 萬  $\text{m}^3/\text{d}$ ，東南地塊單一口井可產 6 萬  $\text{m}^3/\text{d}$ ，合計 184 萬  $\text{m}^3/\text{d}$ 。

在模擬進行前須訂定停產條件與生產限制，根據鐵砧山氣田之生產經驗，最低井底流壓為 2,100 psi，最大水氣比為 0.55 公秉/千立方公尺，各井效率設定 0.9，並在生產過程中，配合堵水計畫將產水量過高之穿孔區間封閉，提高採收率，以貼近現場實際操作情況。

透過歷史擬合之結果，發現水侵現象比預期嚴重許多。故除了上述停產條件與生產限制用以了解鐵砧山儲氣窖蘊藏量之外，另外假設如在不注產情況下觀察地層靜壓，以及鐵砧山氣田如停止營運 2 年後，再進行蘊藏量估算之差異比較，可了解鐵砧山儲氣窖面臨水侵所帶來的蘊藏量變化，此將有助鐵砧山營運管理之決策。

最新蘊藏量評估結果為原始鐵砧山氣田天然氣蘊藏量 2.74 億  $\text{m}^3$ ，如包含 LNG 結存量則總蘊藏量約 15.24 億  $\text{m}^3$ ，其中 A 地塊、B 地塊和東南地塊之蘊藏量分別為 3.82、7.78 及 3.64 億  $\text{m}^3$ ，惟截至 107 年 9 月鐵砧山氣田之原始天然氣蘊藏量已所剩不多。

墊底氣(Cushion gas)主要功用在維持某種程度之地層壓力以支持需要之生產能力，其操作攸關儲氣窖之營運成本。如儲氣窖需要在一特定時間下穩定維持產能，期間能持續維持之總產量，與儲氣窖蘊藏量之差異即是墊底氣。最適墊底氣量之決定，係藉由油層模擬並採用試誤法，逐一嘗試再過濾以得之，而其中主要之關鍵在於氣層壓力，唯有適當足夠之氣層壓力方能提供大產率生產，換言之，為保持最起碼之墊底氣量，則應事先及早規劃，以決定氣田最佳之生產計畫。

若以民國 108 年 1 月 1 日為起始點，B 地塊 5 口井以 100 萬  $\text{m}^3/\text{d}$  可持續生產近 10 個月份，累積維持高峰之總產量 2.78 億  $\text{m}^3$ ，先前已評估 B 地塊蘊藏量為 7.78 億  $\text{m}^3$ ，扣除總產量即墊底氣量為 5.0 億  $\text{m}^3$ 。

從現場各井現階段生產狀況與井底壓力等相關資料顯示，鐵砧山儲氣窖現階段已面臨儲氣能力逐漸縮減之問題，係歸因在於鐵砧山氣田屬強水侵及注產不平衡導致，故在考慮整體營運策略及營運風險情況下，首先須謹慎考量 LNG 注入後之結存量未來是否能夠完全採收之問題。另儲氣窖現存兩部壓縮機之允許最大操作能力，因地層壓力增高，未來將逐步受限。故儲氣窖之強水侵是首

先須面臨之課題。故在整體考量及風險控管下，B 地塊儲氣窖維持功能，A 和東南地塊儲氣窖逐步產出注入 LNG 之結存量。但因強水侵之風險，故生產腳步須加快，此現象在「初始兩年不注產，估算蘊藏量」之研究即可看出強水侵之所帶給儲氣窖之影響。

另一營運風險為鐵砧山所產出之天然氣屬高熱值，故外輸須參配氮氣或來自其他礦場之低熱值天然氣，以符合外輸規範，但目前來自其他礦場之天然氣因修井等生產問題，無法供應足夠量予以摻配，將間接導致鐵砧山儲氣窖無法迅速產出天然氣，而使水侵加劇影響。

鐵砧山後續儲氣窖營運管理仍有賴持續監控井口與井底壓力變化、注產氣量資料和伴產水鹽度等，用以瞭解水驅強度對儲氣窖之影響，並適時調整營運策略。本研究後續將針對已歷史擬合完成之油層模擬模型進行每月注產量更新預測，適時予以修正模型，達到儲氣窖營運管理之目標。

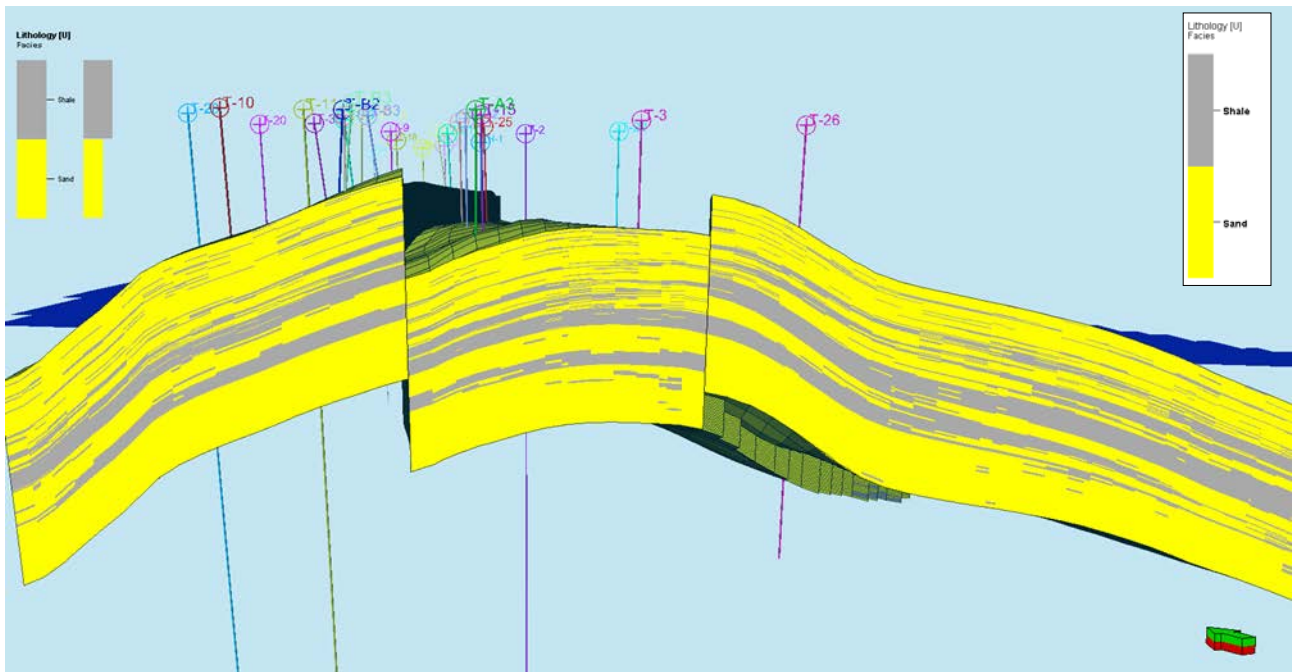


圖 1、東(圖右側)西(圖左側)向之岩性模型剖面展示

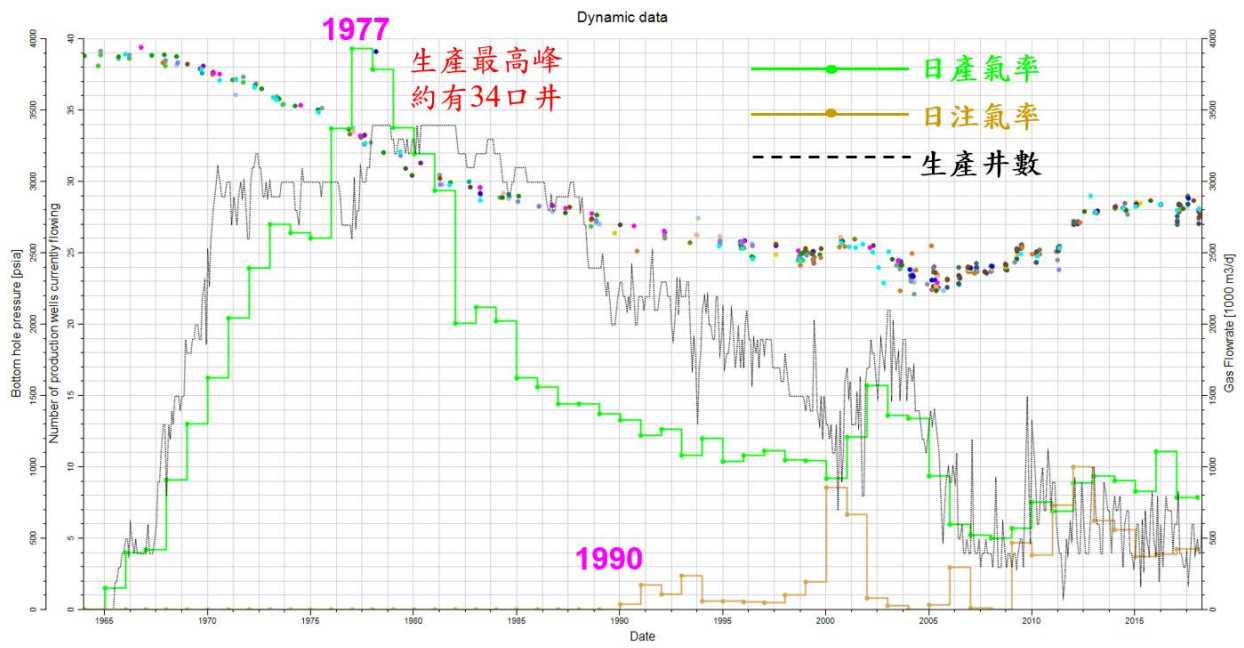


圖 2、鐵砧山儲氣窖注產氣歷史及壓力

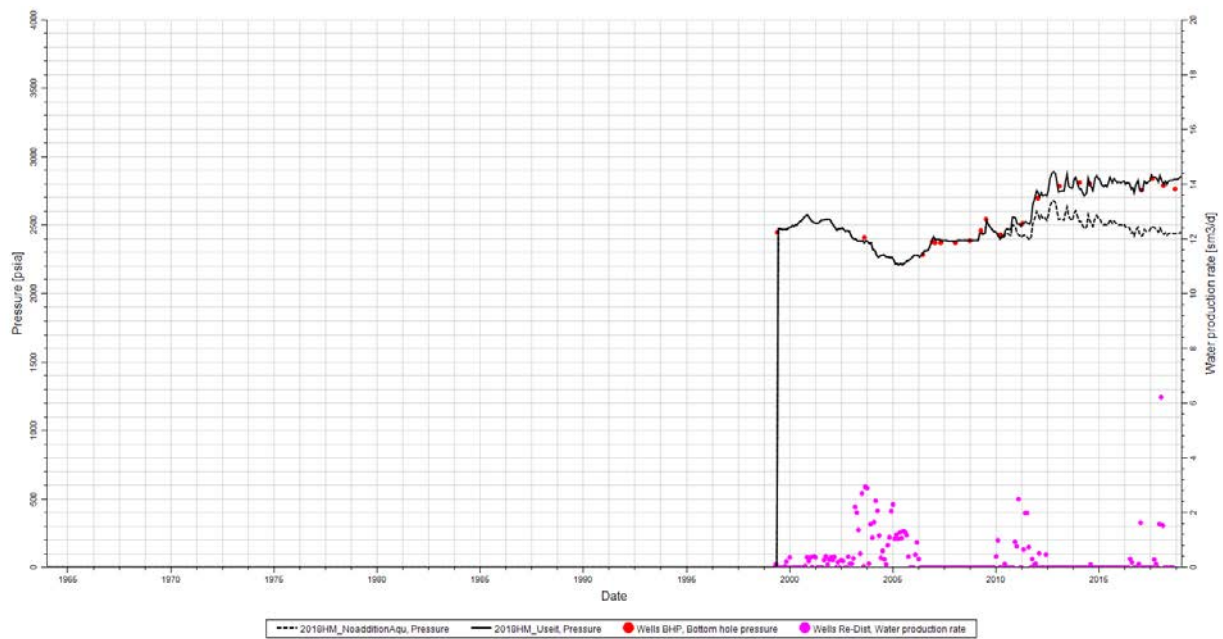


圖 3、T-B1 井底靜壓施加地層定壓之強水驅與未施加之比較圖

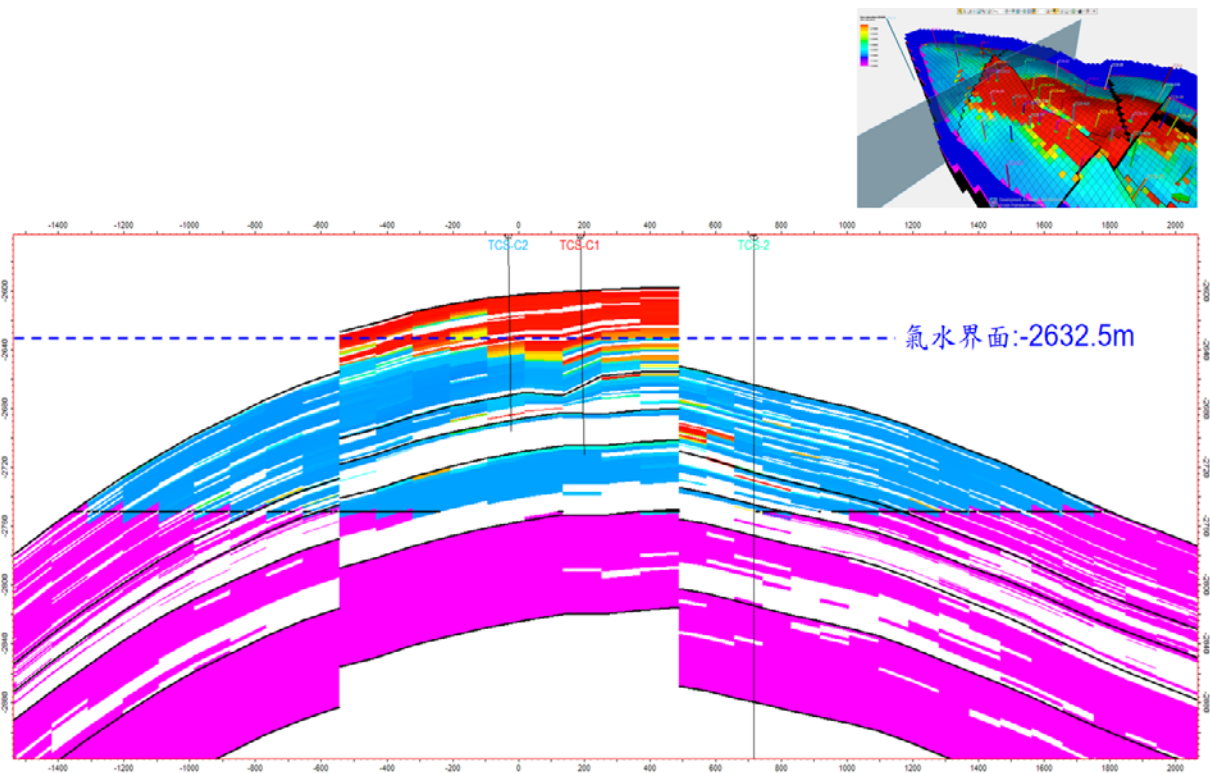


圖 4、通過 T-C1 連井線之氣體飽和度圖

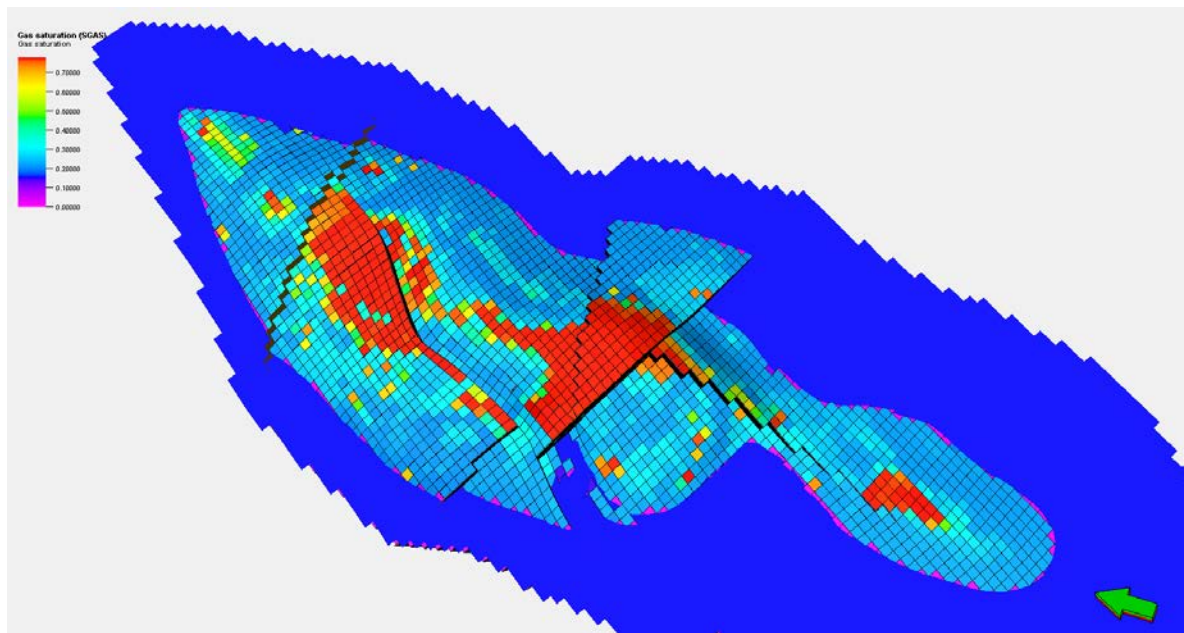


圖 5、107 年 9 月之 TT-1Ac 頂部氣體飽和度分布圖

表 1、原始地層流體與注入 LNG 混合不同比例之井底流體組成

流體組成(mol%)	原始地層流體與注入 LNG 混合比例(mol%)								
	9:1	8:2	7:3	6:4	5:5	4:6	3:7	2:8	1:9
CO <sub>2</sub>	1.746	1.552	1.358	1.164	0.970	0.776	0.582	0.388	0.194
N <sub>2</sub>	0.319	0.298	0.277	0.256	0.235	0.214	0.193	0.172	0.151
C <sub>1</sub>	<b>87.143</b>	<b>87.656</b>	<b>88.169</b>	<b>88.682</b>	<b>89.195</b>	<b>89.708</b>	<b>90.221</b>	<b>90.734</b>	<b>91.247</b>
C <sub>2</sub>	5.485	5.400	5.135	5.230	5.145	5.060	4.975	4.890	4.805
C <sub>3</sub>	2.004	2.028	2.052	2.076	2.100	2.124	2.148	2.172	2.196
iC <sub>4</sub>	0.561	0.552	0.543	0.534	0.525	0.516	0.507	0.498	0.489
nC <sub>4</sub>	0.553	0.566	0.579	0.592	0.605	0.618	0.631	0.644	0.657
iC <sub>5</sub>	0.281	0.252	0.223	0.194	0.165	0.136	0.107	0.078	0.049
nC <sub>5</sub>	0.171	0.152	0.133	0.114	0.095	0.076	0.057	0.038	0.019
C <sub>6</sub>	0.288	0.256	0.224	0.192	0.160	0.128	0.096	0.064	0.032
C <sub>7</sub> <sup>+</sup>	<b>1.449</b>	<b>1.288</b>	<b>1.127</b>	<b>0.966</b>	<b>0.805</b>	<b>0.644</b>	<b>0.483</b>	<b>0.322</b>	<b>0.161</b>

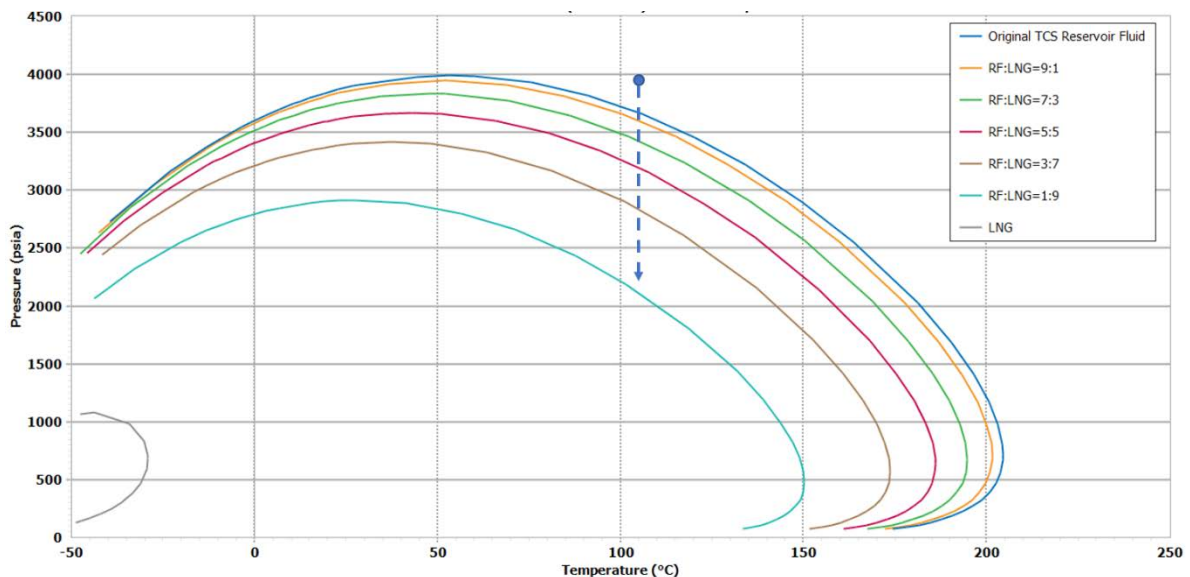


圖 6、混合不同 LNG 比例之井底流體相態圖

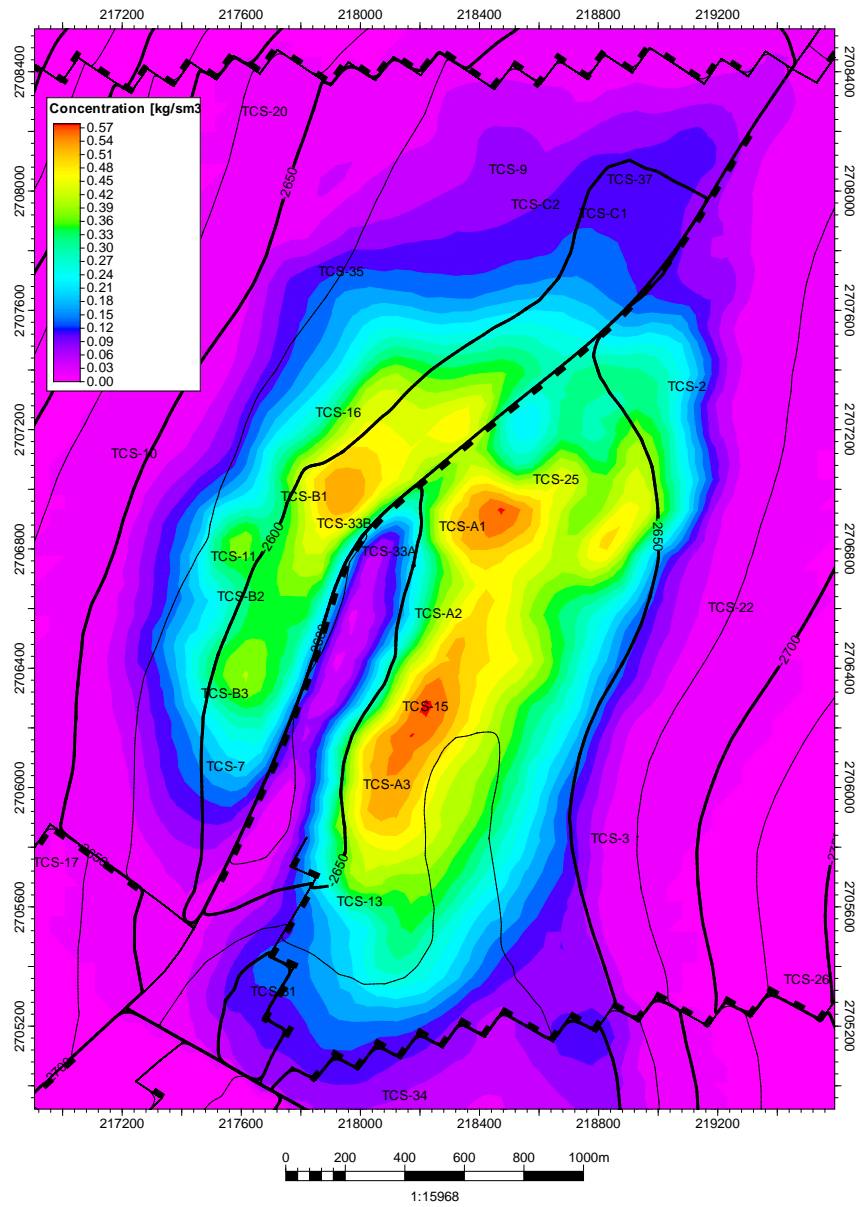


圖 7、注入 LNG 追蹤劑在 107 年 9 月份於 TT-1A 之分布