

出國報告(出國類別：專題研究)

## 油氣生產技術與經濟效益評估

服務機關： 台灣中油公司探採事業部

姓名職稱： 陳耀輝 石油開採工程師

派赴國家： 英國、奧地利

出國期間： 103 年 10 月 5 日~103 年 11 月 9 日

報告日期： 103 年 12 月 19 日

# 摘要

## 行前規劃

本次研習係查詢國際知名油氣技術訓練專業機構，經篩選聯繫後，選擇中油公司探採事業部目前最需要之課程及相關資料相關技術服務。就「油氣增產、歷史資料調諧與最佳化模擬、油層工程、生產分析預測與最佳化等油氣工程課程」整合中油公司「生產技術、採油技術、生產測試、油層工程」，及其間的交互關聯，並推廣應用電腦模擬與經濟評估，以結合中油公司探採部門目前所面對的工程與管理問題，就全面性與局部性進行分階段研討並尋求最佳解決方案。

## 報告內容

目的一節以「歷年油氣生產績效、當前礦區生產隱憂、對策、推廣授課落實現場技術層次」來闡述，過程則引述「課程規劃與研習歷程」，主體之油氣生產技術與經濟效益評估結合國際發展趨勢、中油公司現況與技術需求交叉關連則先就主題訂立：「專業課程、課程要項、相關議題、研習貢獻」，次就與相關部門研討需求訂立：「化石燃料資源、石油系統、油層地質、數值模式、油氣工程、油層工程、油層管理、生產工程、輕污泥漿、傳統評估、油氣採收、激勵增產、液裂防砂、油氣蘊藏估算」。再就結合當前現況說明：「台灣油氣田、國內陸上礦區、國外合作經營礦區、全球油氣服務公司、即時油氣探採資訊管理系統」，更進入經濟風險評估面相的：「油氣價量、經驗傳承、整合工程、油氣資產評價風險、生物降解、石油經濟」。並就提出中油公司當責之油氣探採隱憂、發展瓶頸、工程技術、經濟分析，提升生產效能與營運效益，及作業模式提供建設性意見，有效掌控自主油氣蘊藏量，提出十項心得與建議。

關鍵字：相變動態系統(critical timing relationships of generation, migration, accumulation and preserved)、流入性能關係(IPR-Inflow Performance Relationship)、生產指數(PI-Productivity Index)、流壓變化模式(VLP-Vertical Lift profile)、生產效率分析(WPA-Well Performance Analysis)。

# 目 錄

壹、目的.....	1
歷年油氣生產績效.....	1
當前礦區生產隱憂與對策.....	1
推廣授課落實現場技術層次.....	1
貳、過程.....	2
課程規劃.....	2
研習歷程.....	2
參、油氣生產技術與經濟效益評估.....	3
專業課程.....	3
課程要項.....	3
相關議題.....	3
研習貢獻.....	4
化石燃料資源.....	4
石油系統.....	4
油層地質.....	5
數值模式.....	5
油氣工程.....	6
油層工程.....	7
油層管理.....	9
生產工程.....	9
輕污泥漿.....	10
傳統評估.....	10
油氣採收.....	11
激勵增產.....	11
液裂防砂.....	12
油氣蘊藏估算.....	13
台灣油氣田.....	14
國內陸上礦區.....	14
國外合作經營礦區.....	15
全球油氣服務公司.....	15
油氣探採資訊管理系統.....	15
油氣價量.....	16
經驗傳承.....	16
整合工程.....	17
油氣資產評價風險.....	17
生物降解.....	17
石油經濟.....	18
肆、心得與建議.....	19

## 壹、目的

### 歷年油氣生產績效

迄 2014 年之中油公司歷年國內陸上礦區(出磺坑、錦水、鐵砧山、青草湖、竹東、新營、竹頭崎、官田)，國內海域礦區(長康)及國外與國際油公司合作經營礦區，合計自主產量產值經扣除探勘費用與生產成本，並加計剩餘證實可採蘊藏量之淨現值，累計創造油氣績效達 2 千多億元。

### 當前礦區生產隱憂與對策

目前國內陸上礦區諸生產井良率不到五成，且多口井外壓異常，目前國內技術僅能以基本舉升操作恢復部份產能，雖已進行氣舉誘噴、低壓生產及堵水復產，唯各礦場生產年限堪慮，預估陸上礦區產能於 2022 年僅達 2013 年不到三成。再者海域的邊際型氣田生產、國外合作經營礦區管控所需的工程、技術、經濟、財會、行銷及管理的國際觀，將成為提升油氣績效關鍵。

### 推廣授課落實現場技術層次

以演講(Lectures)、撰寫技術文案(Essays)、腦力激盪案例研究(Case Studies)、專題交流群集實作(Workshops)等方式規劃設計課程，與相關單位之採油工程師、生產工程師、穿測工程師、油層工程師、蘊藏量經濟評估人員研討國際最新技術，除提升探採事業部技術層次外更可有效掌握國外持分油氣蘊藏量。改善並精進探採事業部油氣採收工程技術水準並提升海域生產模式與油氣採收效益，並對國外合作生產礦區如西非尼日礦區、印尼山加山加礦區、南美洲厄瓜多爾礦區及美國生產礦區之操作現況提供建設性建議。

## 貳、過程

### 課程規劃

本計畫參加國際知名油氣技術訓練機構油氣人工提舉增產(Artificial Lift Systems)、歷史資料調諧與最佳化模擬(History Matching and Reservoir Optimization)、油層工程(Basic Reservoir Engineering)、生產節點分析預測與最佳化(Performance Analysis, Prediction, and Optimization Using NODAL™ Analysis)課程及國際油氣服務廠商相關技術對整合式油氣工程提供之服務與效益。

### 研習歷程

與來自全球各地石油工程師與經濟評估、財會管理人員，由經驗豐富講師以研習營方式分享個人在不同領域及不同專案工作經驗，並藉由實作、分組討論、個案評比方式增進對主題了解與相關議題的應用。

## 參、油氣生產技術與經濟效益評估

### 專業課程

以國外知名油氣訓練專業機構之「油氣增產、歷史資料調諧與最佳化模擬、油層工程、生產分析預測與最佳化專利技術」整體課程及國際最大油氣服務廠商操作中心相關技術，油氣探採工程資料，涵括資料處理與油層研究。其中的岩相分析、岩石力學技術之模型模擬對油氣生產及遠距即時資訊操控系統對中油公司更為全新領域，其中之井孔穩定性與流相的變化與控制值得推廣應用。

### 課程要項

- 1.生產技術：油氣層流體特性、相態分析、油氣產能預估技術、油氣激勵生產、油氣層混溶流體、流體錐狀效應、國際油氣生產應用實例、水平井油氣生產技術、氣頂氣驅法、裂縫油氣層、邊際型油氣田。
- 2.採油工程：油氣層測試擾流因素、油氣產能測試壓力模式分析、油氣層驅動機制、油氣田開發計畫、油氣生產沖排、激勵增產。
- 3.生產測試：含水層分析、油氣層岩性分析、壓力上升與下降曲線分析、擾流試驗、產能試驗。
- 4.油層工程：原始油氣蘊藏量計算、油氣層動態評估、油氣蘊藏量估算、油氣層模擬、井眼效應與膚表因素。
- 5.經濟效益：油氣採收機率與風險分析、油氣資產管理、油氣田開發策略、油氣田合作開採合約、油氣田開發各階段之投資效益評估與風險分析。

### 相關議題

主題包括「油氣概念、人工舉升、歷史調諧、油層工程、節點分析、沖排激勵、整合評估」。並融入各相關工程、評估部門界面之「生產技術、穿測實效、模擬應用、激勵增產、井內管串、地面設備、完井設計、開發規劃、污損膚表、蘊藏風險、油價探採、油井新知、氣井相關、擠注生產、液裂運用、輕污泥漿、防砂效能、壓力判讀、資產減損及降解重油」。

## 研習貢獻

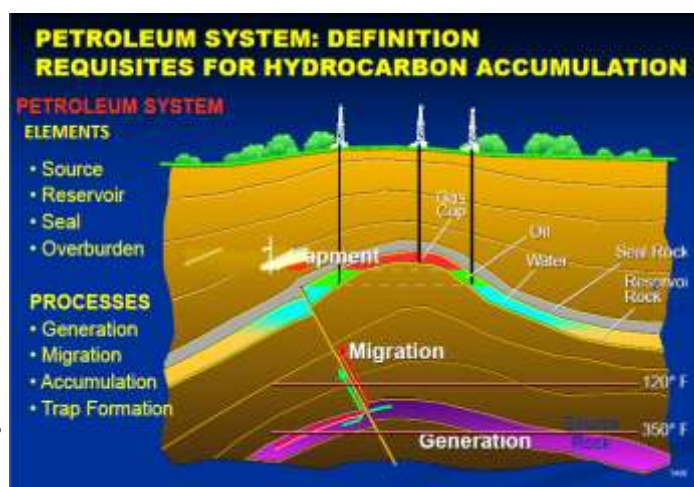
中油公司探採事業部之油氣價量為績效命脈，研習「油氣生產技術與經濟效益評估」實為國外合作經營礦區、海域與兩岸合作礦區及陸上礦區油氣生產與效益之關鍵技術。而國際石油經濟與管理之導入與創新，可統籌中油公司探採部門油氣評估、工程及管理效能與獲益。

## 化石燃料資源

分為傳統與非傳統，傳統資源包括「煤、原油、天然氣」，而非傳統則包括「頁岩氣、頁岩油、油砂、天然氣水合物、煤層氣、緊緻砂岩油氣、重油、油頁岩等」。隨著經濟發展，全球能源需求不斷上升，無法再生的原油與天然氣蘊藏量有限。依據英國石油公司(BP)2012年統計全球能源資料，剩餘油氣證實蘊藏量為 1.38 兆桶油當量，原油可供開採 46.2 年，天然氣則為 58.6 年。

## 石油系統

油氣從集經區的生油岩(mature source rock)生成後，移棲聚集(migration pathway)到圈合封閉(trap and seal)的儲集層 (reservoir)內的溫度、壓力、流動、時間之相變動態系統(critical timing relationships of generation, migration, accumulation and preserved)，在油氣探採作業上，整合地質、地物、地化及工程資料，進行石油系統的成因分析，評估其油氣潛能，做為礦區篩選、排序、開採及礦區規劃的重要依據。其中的儲集層相關物理化學性質的掌握，運用現代科技的數值模擬、機械操作來生產油氣，並於後期激勵增產。油氣開採需進行風險效益



評估及財務現金流計算，因此工程通盤考量與細節掌握則更顯其重要性。

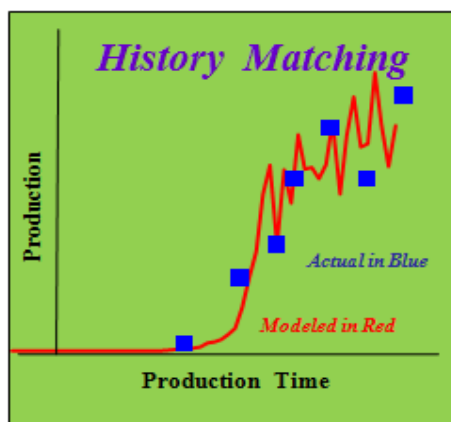
## 油層地質

廣義的石油包括原油及天然氣，在石油的資源量中，具有經濟價值的可採收總量，稱為蘊藏量，又稱為可採蘊藏量。石油價格不變，但採收技術改進，而提高產能時，會使原先不具經濟價值的石油礦區，變成具有生產經濟價值。因此，技術的提高也可增加蘊藏量或最終採收量。但石油原始資源量(或原始埋藏量)不變。礦區初產能低，低到收益無法支付生產營運支出時，就無經濟價值，不論該礦區含有多少石油資源量，其蘊藏量是零。

石油價格上漲時，生產收益可以增加而達到經濟價值時，就值得去開採這個礦區的石油，其蘊藏量就不再是零。因此，石油價格上漲會使蘊藏量增加。蘊藏量與資源量的比值是採收率，世界上各礦區的原油採收率大約5~30%，但緻密地層中的原油或天然氣採收率很低。採收率大小和採收技術、地質條件、石油流動特性以及經濟條件有關。

## 數值模式

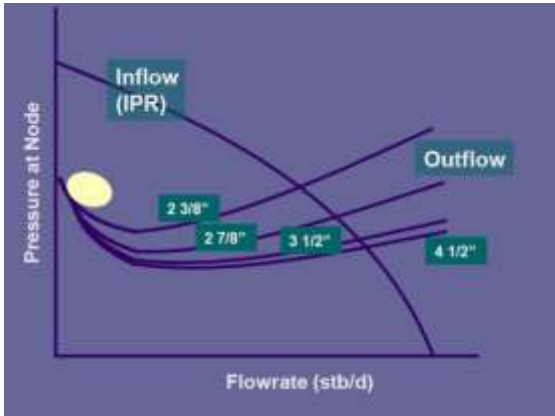
系統的分析的目的是將生產系統的各分部組件以單井估計生產率以最佳化生產系統，建立符合現場生產過程中的壓力及產率變化，根據建立的初始數值模式進行地層參數微調。將模式運算之流壓及產率與現場的歷史生產資料相互吻合，此過程稱為歷史調諧。歷史調諧



工作之前，需要先做各種地層參數(地層厚度、孔隙率、滲透率等)的敏感度分析，亦即，研究地層參數變化時，對生產井之壓力及生產率之變化影響。依敏感度分析，調整地層參數，使模擬計算的井底流壓與生產率結果與現場之井底流壓與生產率資料達到最佳擬合。

油氣生產工程所慣用的 J-Hook 節點分析(Nodal Analysis)中流入性能關係(IPR-Inflow Performance Relationship)與生產指數(PI-Productivity Index)對油公司規劃與成本控制的影響。油氣測試與霍納圖法(Well testing and Horner



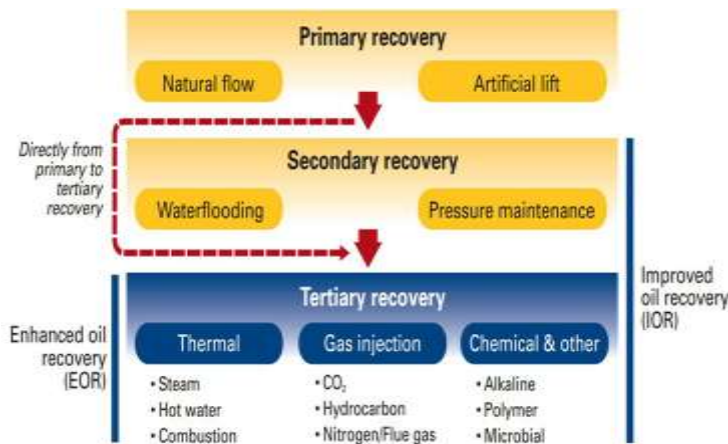


plot)。地質與數值模型建置。油層模擬最佳化的網格技術 (grid technologies) 的流場流線 (streamline)油藏數值模擬，典型的應用包括流量估計、流線選擇、選擇井口壓力和地面設備佈置、儲層壓力枯竭的影響估計、流量限制因素與識別，流線化模擬提供替代網格技術的油氣蘊藏數值模擬，流線表示瞬時流場產生的數據。

## 油氣工程

油氣探採生命週期中，油氣工程為重要環節，證實探勘期所投注的震測及鑽井費用所獲得的成果(獲經濟價值油氣或乾井)，評估是否進入開發期地質，以取得現金流量，因此需了解相關之物質平衡法的應用。而相態變化分別為單相、雙相及多相，依性質則分為低壓縮性油、高壓縮性油及乾氣、濕氣、逆變凝結油氣。儲層流體相對滲透率有油濕性與水濕性，而油氣採收驅動機制依來源可分為溶解氣驅、氣頂氣驅、水驅及複合驅等型式，以消除水錐(water coning)、水指(water fingering)、垂直井水錐及水平井水冠(water cresting)等油氣採收阻礙。

激勵增產可分為二期及三期 (EOR-Enhanced Oil Recovery/EGR-Enhanced Gas Recovery/IOR-Improved Oil Recovery)，其中有

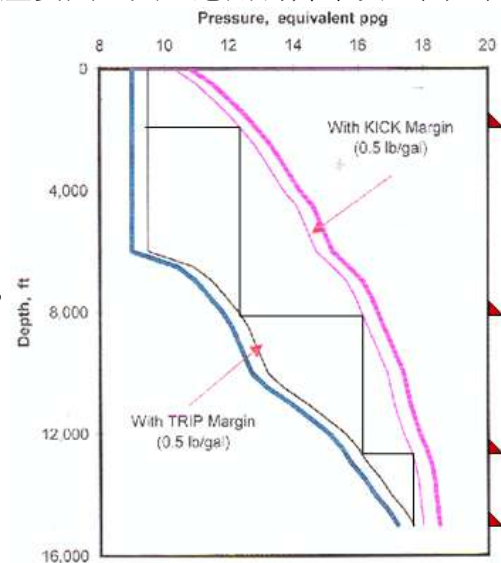


水沖排、混合水氣沖排及混溶沖排。此諸技術均屬高度專業，並已進入商業化與客製化，全球知名油氣服務公司 (Halliburton-Baker Hughes Inteq、

Schlumberger、Weatherford)所提供的技術。至於生產後期儲層壓力下降甚至水侵引起的停產所涉及的人工舉升(Artificial Lift)效益分析,全球各地大約有200萬口油井操作。

人工舉升應用於降低生產井底壓力,以獲得較高的生產率,如螺桿泵(PCP-Progressing Cavity Pump)以降低在泵吸入流動壓力的功能及鑽井工具原理優劣強弱、電動沉水泵(ESP-Electric Submersible Pump)原理運用,較低的井底流壓和較高流速可達到氣舉效果,降低生產管路流體密度,膨脹氣體有助於抬升流體,以產生更高流速。水沖排整合(Integrated Waterflooding)設計及鹼性表面活性劑聚合物沖排(ASP-Alkali-Surfactant-Polymer flooding)激勵增產等工程技術對油公司採油技術水準提升有顯著效果。

柱塞舉升(Plunger lift)及其應用在國外 S 礦區低壓氣田,膚表效應(skin effect)及地層污損(formation damage)。歷史調諧(history matching)流程與敏感度分析(sensitivity analysis)均為油氣生產要因。典型應用有井下安全閥、評估穿孔密度、礫石填充設計、人工舉升設計、注入氣體最佳化、油氣比儲層驅動模式、過低井口壓力的後期機械增壓生產、評估以及 ESP 應用在國外合作經營的 E 礦區高水切油田礦區,以及各種舉升方式效益評估、四氣四線圖破裂壓力與滲漏壓力與氣微的運用,以及當前全球油氣需求板塊轉移與油價滑落對油氣探採前景的影響。



## 油層工程

相關地下地質,應用數學,物理學和化學的應用於原油、天然氣和水的液相和氣相的儲層岩體性質基本法則。細部為儲層流體性質、岩心與岩體性質、流體流動性質、儲層分類、儲層驅動機制、油井與氣井特性、壓力上升試驗分析及原始油氣資源量。上市油公司財務表報攸關的證實蘊藏量估算,並由會計師事務所簽證,陳報金融監理機關。油層工程師職責包括油藏數值

模擬，生產預測，油氣測井，鑽井和修井規劃，經濟模式建立和儲層流體的壓力體積溫度相態分析，包括下降曲線分析，物質平衡模型，流入(Inflow)、流出(Outflow)、流入動態關係(IPR-Inflow Performance Relation)、流壓變化模式(VLP-Vertical Lift profile)、生產效率分析(WPA-Well Performance Analysis)，其間的要點為高於泡點壓力，液體速率與儲層壓力以下的壓力降呈線性關係。

石油儲層有油田與氣田，其中油田可依初始儲層溫度分為初始儲層壓力高於起泡點的未飽和油田(under saturated oil reservoir)及初始儲層壓力等於起泡點的飽和油田(saturated oil reservoir)。若初始儲層壓力低於起泡點，則又可分為氣頂儲層(gas-cap reservoir)或兩相儲層(two-phase reservoir)，而氣田(gas reservoirs)儲層溫度較碳氫化合物流體之臨界溫度高。油層(oil reservoir)以液態存在，當油層壓力於生產過程中下降至起泡點(bubble point)壓力時，氣體即自油中逸出。

黑油(black oil)比重  $15^{\circ}\sim 40^{\circ}$  API、氣油比 200~700 scf/STB、油樣棕色~墨綠。低揮發性原油(low-shrinkage crude oil)比重小於  $35^{\circ}$  API、接近露點曲線，地層體積因素(FVF)小於 1.2bbl/STB、氣油比小於 200 scf/STB、油樣黑~深色，揮發性原油(high-shrinkage-volatile oil)比重  $45^{\circ}\sim 55^{\circ}$  API、貼近露點曲線，低壓下分佈廣，低於露點壓力揮發性高、FVF 小於 2 bbl/STB、氣油比 2,000~3,200 scf/STB、油樣綠~橙色。

臨界原油(near-critical crude oil)氣油比超過 3,000 scf/STB、FVF 大於 2 bbl/STB。氣層(gas reservoir)以氣態存在，逆變凝結油(retrograde condensate)氣在油氣層壓力降至露點壓力(dew point)以下時，會在孔隙內生成液態凝結油，其量隨壓力下降而增加，唯無法產出。濕氣(wet gas)則在分離器狀態下生成少許凝結油。油層工程的良窳架構在管理的經濟分析與技術的數值模擬，而其前置作業則包括了油氣測試、網格分析、完井、生產、佈井開發及更前端的油氣相態壓力/體積/溫度(PVT)分析、岩心/岩屑/電測/泥漿測錄的岩相、地質模型推導建立與地球物理震測技術與解釋。

## 油層管理

油氣探勘經由地表地質、地球物理、地球化學技術發現盆地(basin)、目標區(play)、好景區(prospect)，經鑽探佐證進而開發，初期生產、二期生產、三期生產，而後封廢復舊。相關技術與管理包括地質、地物、地化、土工、鑽井、儲層、生產、氣體化學、環境與法務、經濟與管理、研究發展，乃至礦區管理需架構於優良地質模型、儲層模式與模擬、經濟評估與數值分析解釋，其資料來自於試油氣資料、生產資料、完井資料，更需要油氣的溫度體積壓力資料、岩相的岩心與井錄資料、地質地物震測資料。

應用油層工程原理比較各種開發生產方式之優劣，或根據經營人提供之電腦模擬模式，收集目標地區生產與地質等資料，予以調諧(matching)修正。當模式具有代表性後進行可能新井位與產量預測模擬，研擬可能的提高採收率方案，提出生產開發最佳化之建議。其間之整合界面即為地質資料中心之商機，「地質方面」有成岩、沉積、岩相、露頭類比、三維模型、斷層與節理、構造、地質穩定、流體。

「地球物理方面」的震測、層序地層、聲波阻抗與彈性阻抗逆推(AI-Acoustic Impedance & EI-Elastic Impedance Inversion)、屬性校正、時間重合(Stacking)震測。「工程方面」的油層監測、油氣測試、完井效率、油層模擬、生產資料分析、風險分析。並於鑽井、完井、生產、修井、激勵增產各階段進行儲層監控。

## 生產工程

天然氣經過由地層至井口之膨脹、減壓、降溫過程，故井口與井底流壓約固定差距(氣柱壓)，伴產少量水時，壓力快速遞減、井口壓力及氣量均明顯下降。伴產水量增加，井口壓力、氣量更明顯下降，井口溫度明顯上升至氣體流動無法帶出全部地層水後，地層水部分累積井底，壓力下降至無法生產。作業項目包括油氣層工程、油氣測試、溶送水泥乳與補封水泥乳、完井設計與設備、完井與修井泥漿、生產電測、人工舉升完井與增產、地層污損處理、液裂、防砂。

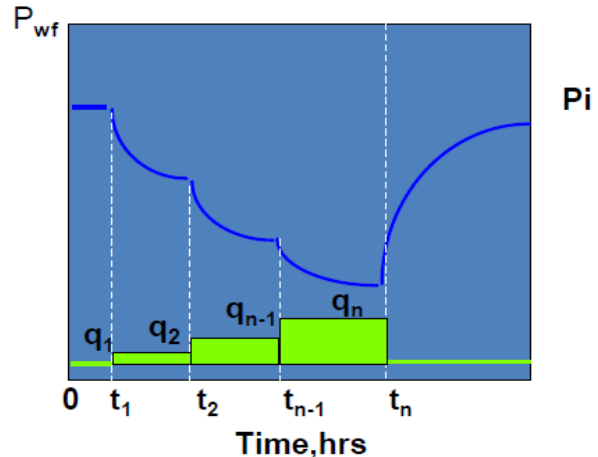
而二期及三期的激勵增產工程中，氣體沖排法不但可以維持地層壓力以減少氣層的凝結油再形成，更可以置換及再揮發地層的凝結油。由於地層的凝結油飽和度低且不具流動性，因此要採收凝結油氣層中之凝結油的最好方法之一是利用氣體沖排法使其再揮發為氣體後產出，油氣生產系統包括油氣層工程、完井工程、井況、井口組件及地面設備。

### 輕污泥漿

就儲層特性設計的鑽井流體或完井流體，通常用於水平鑽孔來降低地層污損並提高生產層的產率，含有適當大小的氯化鈣及碳酸鈣粒子與調合性質的聚合物，以控制濾液與清淨岩屑。並客製化設計專屬泥漿(drill-in fluid)，以符合儲層原有鹽度、酸鹼度、水的硬度、黏土含量與膨脹性、乳化能力及結垢程度，特殊設計親和地的工程流體可保護產層，明顯降低膚表效應(skin factor)並提高油氣產率(well producibility)，目前多已進入商業專利，如 BARADRIL-N®、COREDRIL-N™、COREDRIL-N™、DRIL-N STIM™。

### 傳統評估

天然氣井產能之方法為進行產能分析試驗，試驗進行時至少需以四種不同產率開井生產，藉由觀察天然氣井於穩定流動狀態或近穩定流動狀態之壓力表現，用以估算天然氣井之產能。此種試驗方法受地層滲透率影響，須耗時數小時甚至達數日之久，成本龐大，且進行數據分析時亦受人為作圖誤差影響，計算分析之結果誤差較大。

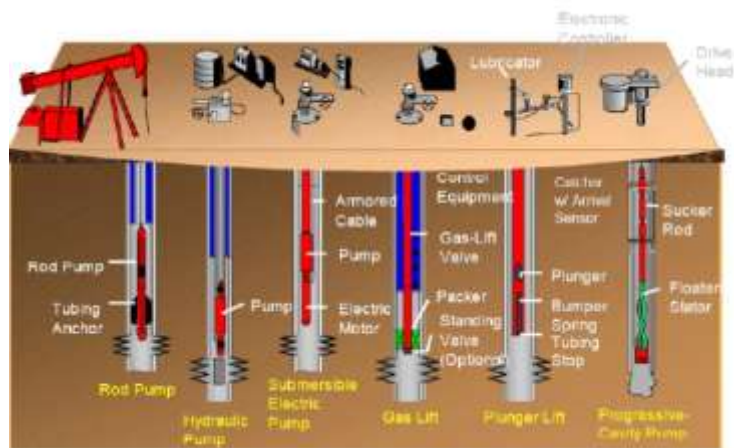


應用台灣天然氣井實際地質及工程現地數據，建立天然氣井產能特性資料庫，並歸納出無因次 IPR 曲線，提供一種簡易且迅速之天然氣井產能分析方法，藉由此法可於短時間內評估天然氣井之井口全開噴流能力

(AOF- Absolute open flow Potential) 與單日產能，大幅縮減天然氣井產能試驗進行時間，避免試驗進行時所耗費之大量天然氣、巨額設備維護費及人力成本。相關的壓力測試與效應尚包括開井噴流壓力下降試驗、關井壓力上升試驗、不同流體注入試驗、干擾連通試驗、回壓試驗、等時噴流、修正式等時噴流、產率、全開噴流能力、膚表效應。

## 油氣採收

初期採收-自然噴流：以油氣層中原有的驅動力(Natural Drive)進行採收。人工舉升(AL-Artificial Lift)，提供動力將油氣自井底抽出至地面。人工舉升油氣增產方式包括柱塞舉升(plunger lift)、泡沫舉升(foam lift)、螺桿泵(PCP-Progressing Cavity Pumps)、桿泵舉升(rod lift)、液壓舉升(hydraulic lift)、電動沉水泵(ESP-Electric Submersible Pumps)、氣體舉升(gas lift)。泵效率200~75,000 桶/日，其中



柱塞舉升、泡沫舉升、氣體舉升為運用地層壓力，其他則為機械操作。增進採收(IOR-Improved Oil Recovery)包括二期採收的水沖法、氣體沖排法。強化採收則包括三期採收的生產/注入控制與井眼配置策略。

## 激勵增產

氣體沖排法可維持地層壓力以減少氣層的凝結油再形成，可置換及再揮發地層的凝結油，凝結油飽和低且不具流動性，利用氣體沖排法使其再揮發為氣體後產出。原油的原始埋藏量(OOIP-Original Oil in Place)並無法完全採收，必須藉助激勵增產才得以提高採收率。典型的油田全球平均採收率大約 40%，由於投注的成本與對原油的需求日增，原油增產技術需求日盛，激勵增產自 1930 年代的蒸氣試驗(steam trails)、1940 年代的氣體擠注(gas injection)、1950 年代的熱攻法先導試驗(thermal EOR pilots)。

1960 年代的蒸氣驅動商業化與二氧化碳排掃驅油成功(first commercial steam drive/first successful CO<sub>2</sub> field test)，1970 年代二氧化碳沖排的蓬勃發展與熱攻法的進展(full CO<sub>2</sub> boom/thermal growth)、1980 年代的化學沖排法(chemical trials)、1990 年代二氧化碳沖排與熱攻法的最佳化(CO<sub>2</sub>/thermal optimisation)。2000 年代則進入多元的整合系統(smart fields、oil sands、low salinity waterflooding、smart surveillance、chemical rebirth、unconventional heavy oil、next generation CO<sub>2</sub> solution、innovation solvents、offshore EOR)，並對非傳統(Unconventional)油氣資源與海域油田增產有顯著的效果。

其中水沖排更可溯源至 1865 年的意外發現，更於 1880 年代於美國賓州 Bradford 油田被廣泛運用，1950 年代則廣泛應用於全球各地，配合初期採收的二期水沖排，累計採收率甚至可達近七成。增進採收方法主要油氣回收機制簡言之，水沖排法(Waterflooding) 維持油層壓力並以水將油從注水井一端經由油氣層排至生產井，過程僅產生物理變化。

而化學注入法(chemical inject)藉由減少水-油界面張力以降低水相對於油之飽和度  $S_{orw}$ ，並藉由減少水-油之流動性比(mobility ratio)以增加整體掃排效率。至於混溶沖排法(miscible flooding)係藉由汽化或凝結氣驅動過程使注入之氣體與油產生混溶性(miscibility)而降低  $S_{orw}$ ，熱力法(thermal)則藉由蒸氣之蒸餾以降低  $S_{orw}$  及減少油之黏度，增加油之流動性。

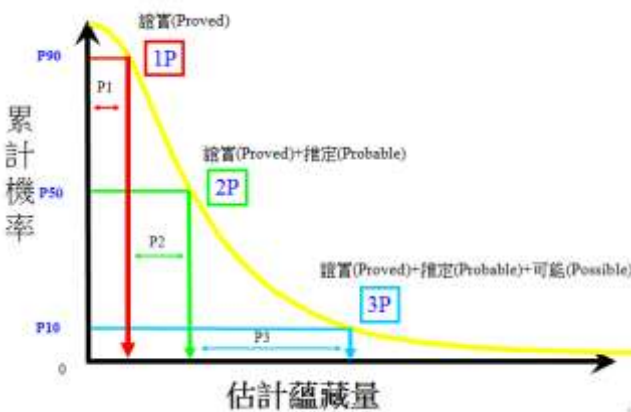
## 液裂防砂

液裂依對象區分為岩基(matrix)液裂與裂縫(fracture)液裂，依區段則可分為傳統式(conventional)與選擇式(selective)。將水以壓縮機泵入井孔中某一段以填塞器隔絕之區間，當泵入的水壓逐漸升高，該區間內地層所受到的初始壓縮應力隨之下降，最後該地層所受的應力會由壓縮轉為張力。當達到岩石的張力強度時，裂縫開始形成，如果持續泵水，裂縫增生，最終泵入的水壓會降到一個穩定值，也就是這個地層閉合壓力儲氣層岩石受到破壞。岩石在受破壞之後，剝離岩體的碎屑及細顆粒就會被生產差壓降所產生的引曳力帶動出砂。

壓縮性破壞即剪力破壞，肇因於井孔附近的應力集中與生產時井孔與地層間差壓降的混合作用，導致作用於岩石之剪應力高於岩石的剪力強度，多出現在壓密的砂岩，一般井孔或穿孔都有可能發生。張力破壞係差壓降造成的張力大於岩石的抗張強度所造成，多發生於鬆砂，只發生在小孔徑(如穿孔)。防砂方式-單獨置放防砂篩管(stand-alone screen)、裸孔礫石填充(open-hole gravel packing)、膨脹式防砂篩管(expandable sand screen)、方向性穿孔(oriented perforation)、降低產率及關井汲砂。防砂作業要項為：方式選擇、生產井預期壽年、修井及鑽井費用、訂有供氣合約之高產率氣井、生產層淨厚/粗厚比值、生產層粒徑分佈。

### 油氣蘊藏估算

以統計累計機率 1P、2P、3P 分為證實(proved)、推定(probable)、可能



(possible) 蘊藏量。類比法 (Analogy) 預期井或油氣田有類似之生產動態。體積法 (Volumetric) 電測岩心資料/排掃面積/采收率/流體性質初期評估資料，誤差大。物質平衡法 (Material Balance)

生產數據漸增，取用之相對滲透率值對預測值影響非常大。水驅時以物質平衡法電腦模擬，而產率下降曲線法 (Decline Curves) 僅需生產史資料，迅速、費用低。在某些環境下很準確，

可依預測時間求生產量。油氣層電腦模擬 (Reservoir Simulation-Streamline/Finite Element) 對油氣層之不同區域部份的不同岩性與流體性質有能力處理、可預測個別井之產量、歷史調諧好後可研究不同

原始地下總油氣量	已發現原始地下總油氣量	商業性	生產量 (Production)			商業可行性增加
		非商業性	蘊藏量 (Reserves)			
	未發現原始地下總油氣量	商業性	1P P90	2P P50	3P P10	
		非商業性	條件資源量 (Contingent Resources)			
		低值 (Low)	最佳值 (Best)	高值 (High)		
		1C	2C	3C		
		無法採收量 (Unrecoverable)				
		展望資源量 (Prospective Resources)				
		低值 (Low)	最佳值 (Best)	高值 (High)		
		無法採收量 (Unrecoverable)				
不確定性增加						



生產計畫之成效、輸入數據之需求性與油氣層之分析極為接近，收集大量輸入數據、研究等，費用高昂、費時，調諧結果並非唯一解。進行預測時，為求得調諧結果所做假設可能不符實際數據，一般傾向只相信最後結果，亦即於探勘-佐證-開發-生產之過程，地質及生產資料增多，蘊藏量評估參數亦愈多，各種評估結果(Integrated Production Modeling)趨近相同改變，因此要開採至礦區生產停止而廢棄後，所計算的蘊藏量結果才完全正確。

## 台灣油氣田

以天然氣層為主，生產期間，當井底流壓低於露點壓力時，氣層流體會產生相態變化而在地層中產生凝結油，此種天然氣層稱為凝結油氣層。目前，台灣部份凝結油氣層已經進入初期採收法的生產末期，需以增產採收技術增產。台灣生油岩產氣為主，儲油岩砂層薄，地層封閉不易追蹤，麓山區原生孔隙不高，但具次生之裂縫孔隙，構造小且破碎，斷層封閉不易界定。斷層是通路或具阻隔作用，不易判斷。地形崎嶇震測困難，地下地質構造形貌不易探明，過去所鑽探之可能儲油氣構造，以背斜為主。麓山帶良好砂層向上尖滅或呈凸鏡狀，形成地層封閉儲油氣構造。

## 國內陸上礦區

國內多口井外壓異常，一般而言，天然氣聚集壓力上升情況為一常見之現象，最普通的氣源係因套管絲扣洩漏所致。生產油氣時，油管及套管將因溫度、壓力之變化產生膨脹、收縮，並造成移動的現象，洩漏情況因而發生。可能原因為：(1)天然氣經套管外水泥裂隙移棲而來、(2)硫化氫/二氧化碳腐蝕造成套管洩漏。國內陸上礦區作業要點為：T 礦生產及注儲規劃、堵水復產，K 礦生產井安全、復產、修井及激勵增產，C 礦穩定生產、超低壓生產，H 礦穩定生產、低壓生產、流程改善，S 礦穩定生產、開發。

中油公司探採部門目前所使用之系統軟體有：對各礦進行噴流試驗及電腦模擬油氣測試之壓力傳導分析的 KAPPA-Saphir、油層模擬的 KAPPA-Saphir-Topaze、單井效益節點分析的 Prosper-Petroleum Experts、數值模型分析的 MBAL-Petroleum Experts、油氣層模擬的 Eclipse Petrol-ECL,

Exploration Consultants Limited、GeoQuest Schlumberger、數值模擬的 CMG simulation-Computer Modeling Group。研習配套軟體則有 SNAP、Gassim、3D\_Streamline、ECLIPSE-Streamline、Frontsim、Trace3D、DESTINY、FMM-GUI-Clean、EFACIES、Grace、MARS 進行人工舉升、歷史調諧及節點分析，以求得油氣生產最佳化。

### 國外合作經營礦區

與大油公司的 E 礦區為目前中油於國外礦區中擁有三成以上權益主要油田，經營者提高採收率並降低開發成本。建立地質模式應用模擬技術，建立生產井、生產層之產率遞降模式，估算生產井、蘊藏量及預測生產年限。油氣層電腦模擬，資料蒐集與準備包含地質資料(構造圖、電測資料等)、氣層岩石特性資料(孔隙率、滲透率、岩石壓縮性、氣層毛厚等)、氣(每口井之油、氣、水產量及井底靜壓量測資料)及生產井資料等。模式建立與解決、模擬網格設計、邊界條件、模擬初始化、歷史調諧。敏感度分析油氣生產量，再與實際生產資料歷史擬合，作為生產預測及油層整合管理、營運規劃參考。

### 全球油氣服務公司

建立強大即時資訊管理系統資料庫 Regional 數位式視訊介面標準(DP-DisplayPor)與簡易資訊聚合規範(RSS-Really Simple Syndication)，以及 WesternGeco 多元處理(4C-3C on land, 4C on seabed) 中心，支接地質資料(地層、碳酸鹽、鹽下環境)、寬帶(WAZ-wide azimuth)成像、深度成像、時間推移(time-lapse 4D)四維震測解決方案。儲層特性解釋與製圖，識別製圖岩性聯合孔隙度和飽和度震測逆推多元儲層。

### 油氣探採資訊管理系統

已商業模組化，其中高成效之商品稱為「智慧現場(Intelligent Field or Smart Field)」，以強大的數據及影像視覺化資料庫與現場協同作業並強化即時操控的決策中心。即時視覺化系統與資料傳輸可創造探採活動現金流的活絡與顯著績效，背後所支撐的近九成的探採成本相關的活動除了模式推導、

即時機制推動、系統穩定進展、產率控制、效益分析、儲層壓力、儀器校正、油氣測試調整、地化追蹤、水切處理等。

## **油氣價量**

為油氣探採績效命脈，「油氣生產技術與經濟效益評估」相關之生產技術、採油工程、穿測試油氣工程、油層工程、增產技術、效益評估、礦區蘊藏量評估、國際標準規範等業務，實為國外合作礦區、海域與兩岸合作礦區、陸上礦區油氣生產與效益之關鍵技術。而國際石油經濟與管理之導進與創新，更可統籌探採事業部國外、海域、陸上礦區之油氣生產效能，融合公司現行作業與國際技術與規範，制定審核國際合作油氣探採合約，降低生產成本，提升技術與作業程序，讓技術與國際接軌。對探採事業前瞻性與應用性發展產生重大影響，大幅增加探採預算比重，跨足國際能源公司。

## **經驗傳承**

探採事業部專業人員相繼退休，而新進人員有賴更有系統的引導。組織再造後之企劃室鑽井生產組，職司新技術之引進與創新，更為執行長重要專業技術幕僚，統籌探採事業部相關部門之油氣生產工程、合約規範與經濟效益評估。

- 1.生產技術領域為「油氣層流體特性、油氣產能預估技術、油氣激勵生產、油氣層混溶流體、流體錐狀效應、國際油氣生產應用實例、水平井油氣生產技術、氣頂氣驅法、裂縫油氣層、邊際型油氣田」。
- 2.採油工程領域為「油氣層測試擾流因素、油氣產能測試壓力模式分析、油氣層驅動機制、油氣田開發計畫、油氣生產沖排、開發油氣田激勵增產」。
- 3.穿測與測試工程領域為「含水層分析技術、油氣層岩性分析、壓力上升與下降曲線分析、擾流試驗、產能試驗」。
- 4.油層工程領域為「計算原始油氣蘊藏量、動態評估油氣層、油氣蘊藏量估算、油氣層模擬、井眼效應與膚表因素」。
- 5.經濟效益評估領域為「油氣採收機率與風險分析、油氣資產管理、油氣田開發策略、油氣田合作開採合約、油氣田開發各階段投資效益評估」。

## 整合工程

與油氣探採專業技術人員分享新知，分別請「探採研究所、採油工程處、鑽探工程處、國外業務處、技術評估室、海域處、測勘處、企劃室」等部門，就業務職掌觀點，提出最迫切需要議題。初步內容已對相關主管與同仁演練 9 次並累疊效益，並於 2013 年 12 月份探採連繫會報告，將就各部門需求的油田議題、氣田新知、與事業部現有氣井比較則、剩餘可採蘊藏量的估算法可信度、低壓增產效益、儲氣窖可信賴度、模擬概念與實作、二氧化碳補獲封存(CCS-Carbon Dioxide Capture and Storage)擠注井應用於油氣井提高生產率、液裂技術、地層污損、低侵污泥漿、地層測驗曲線判讀等聚焦議題。

## 油氣資產評價風險

地下(Sub-surface)儲層地質不確定性、技術(Technological)、品質(Quality)、成本(Cost)、人員(Staff)、時機(Timing)、環境(Environmental)、安全(Safety)、政治(Political)、財政(Fiscal)、經濟(Economic)、市場(Market)。油氣探採會計帳查核應會計師要求，每年都會針對生產礦區做資產減損測試，即把生產礦區之未來現金流量(可產之油氣收入減去操作費用礦產權利金與稅捐規費)與會計帳上淨資產做比較。

若未來現金流量少於淨資產，表示此生產礦區之資產無法產生這麼多之效益，需做資產減損。因此，每年都會請探採部門，就生產礦區之可採蘊藏量重新估計，若生產礦區儲層壓力下降超出預期，將改變生產剖面(production profile)，此舉將降低未來之現金流量，擴大資產減損金額。

## 生物降解

比重高於 31.1°API 的原油稱為輕油、中度原油的比重介於 22.3~31.1°API，而重油的比重則低於 22.3°API。國外合作經營之 C 礦區油氣測試油樣比重 17~23°API。氣相層析圖譜-原油受到生物降解作用(biodegradation)，輕烴被菌蝕，相對上重烴增加，須激勵增產。國內陸上 T-1 井亦有類似產狀，而中國大陸渤海灣盆地、吐哈盆地亦有此產狀。目前油砂生物降解，已發展商業規模開採方式，就油井方面，已有公司發展專利技術

採收。至於中國大陸油氣資源 75%在東北和華北地區，唯多數已進入量產的中後期階段，因此激勵增產成為重點工作。

## 石油經濟

2014 年石油需求增加速度將是 5 年來油價最低水平，加上美國頁岩油產量快速提升，更重挫油價。石油輸出國家組織(OPEC-Organization of the Petroleum Exporting Countries)控制全球 1/3 供應量，主要國家沙烏地阿拉伯等甚至增產，以維持其本身的市佔率。其因為打壓油價，有助於創造美國樂見的地緣政治效應，除了使俄羅斯經濟面臨更多難題外，對沙國的最大客戶歐洲和中國大陸均屬利多；次者油價降低，將對美國頁岩油業者的財務造成衝擊，進一步停止生產，如此 OPEC 可以拿回訂價主導權。產油國競相增產壓低油價，降低油價可以幫助進口國降低成本，促進其經濟成長，其實也等於幫助產油國家。

石油一向以美元交易，產油國累積了大量的石油美元，當美元走弱，即使供需平衡油價也必然上漲，以保持石油美元價值；然而當量化寬鬆逐漸退場，美元走強時，以美元計價的石油自然隨之而降價。新興國家經濟成長趨緩，強勢美元和高油價將會令其雪上加霜，減少對石油需求。而且高油價只便宜了美國頁岩油的開採業者，長久而言不利產油國家，因此油價下跌乃是必然的結果。由此議題更可了解油氣生產工程必須融入財務經濟風險管控流程，規劃工作上納入淨現值、折現報酬率(DPIR-Discounted Profit to Investment Ratio)、回收年限、期望值(EMV-Expected Monetary Value)等決策敏感度分析。工程與管理並須相輔相成，才能創造企業績效成長。

## 肆、心得與建議

- 一、中油公司歷年累計油氣績效淨值及剩餘證實可採蘊藏量淨現值，創造油氣績效達 2 千多億元。國內陸上礦區生產井良率不到五成，且多口井外壓異常，目前國內技術僅能以基本舉升操作恢復生產，雖以進行低壓生產及堵水復產，唯各礦場生產年限堪慮，預估於 2022 年礦區產能僅達 2013 年不及三成。導入邊際型氣田生產、國外合夥礦區的控制所需的工程技術與經濟管理的國際觀，為提昇油氣績效關鍵。
- 二、本研究結果已與相關中油公司探採部門技術管理部門主管與人員研討，並於鑽井專業研討、探採聯繫會報告，將就反應與進一步需求與採油工程處、海域處、國外業務處、技術評估室、鑽探工程處、測勘處、企劃室及探採研究所之採油工程師、生產工程師、穿測工程師、油層工程師、蘊藏量經濟評估人員研討國際最新技術。
- 三、整合式油氣工程除提升中油公司探採事業部技術層次外更可有效掌握國外持分油氣蘊藏量。改善並精進探採事業部油氣採收工程技術水準並提升海域生產模式、油氣採收效益，並對國外合作經營之生產礦區之現有操作提供建設性建議，如 N 礦區、S 礦區、E 礦區及 A 礦區。對於中油公司探採事業部而言，為優質之資訊導向，相關處室技術管理人員之研討交流與主管意見亦為油氣探採技術提升之管道。
- 四、地質構造圖之井位選擇、穿孔位置之決定、電測結果之判讀，對於導入正確概念與應用效益有決定性關鍵。
- 五、歷史資料調諧與生產資料預測為經濟效益互動，相圖、壓力體積溫度與生產效能曲線的觀念深耕為工程師必須深植於心的功課。
- 六、比較油氣增產技術與自然噴流與發展趨勢，油氣井生命係由物理的自然噴流與地層壓力管理(plunger life、foam life、gas life)到機械的舉升(rod lift、PCP、hydraulic lift、ESP)再到化學的沖排激勵處理。

- 七、台灣油氣田以天然氣層為主，部份凝結油氣層已經進入初期採收法的生產末期，需以增產採收技術增產。陸上各礦場生產各具特性，善加運用生產歷史資料庫，以落實發展生產最佳化技術。
- 八、國外合作經營礦區氣田與油田經營人處置措施，區別各種不同驅動機制與舉升之應用，增進採收率，並進行財務風險模式，以於合約期結束前取得最大油氣採收效益。
- 九、就生產技術層面而言，探採事業部可進行舉升及激勵處理，國外合作經營之生產礦區可進行評核，擔任經營人礦區可進行開發礦區與礦區管理。
- 十、探採事業部之油氣價量為績效能脈，「油氣生產、油層工程與效益評估」研討之生產技術、採油工程、穿測試油氣工程、油層工程、增產技術、效益評估、礦區蘊藏量評估、國際標準規範等業務，為國外合作礦區、海域與兩岸合作礦區、陸上礦區油氣生產之關鍵技術。