

出國報告（出國類別：洽公）

利比亞礦區資料蒐集查閱及參與相關研討

服務機關：台灣中油股份有限公司探採研究所

姓名職稱：吳榮章 副所長

派赴國家：利比亞的里坡里

出國期間：97.12.23-97.12.29

報告日期：98.03.23

利比亞礦區資料蒐集查閱及參與相關研討

摘要

本次時間雖然極為短促，(由於經費所限及公務提前返國，所有此行蒐集、查閱及參訪工作僅 2 天)，但由於事先皆有密切規劃聯繫，故前往本公司利比亞分公司除拜會研討外，亦帶硬碟拷回許多井下及震測礦區資料，帶回探探研究所，除充實利比亞礦區資料外，並進行分析研究，並獲致一些成果。本次亦特別敦請分公司探勘經理陪同赴利比亞最大亦是唯一之國營石油公司(NOC)，拜訪掌理有關中油經營區塊之主管部門，並與之研討，瞭解最新資訊。而利比亞石油研究院(LPI)為利比亞國內最具權威之石油探勘開發生產之研究機構，此行亦順道進行參訪及技術交流。

蒐集及攜回礦區及測勘資料，經大地構造分析釐清利比亞所屬非洲大陸與鄰近地塊的演化關係，對於西非及北非的典型盆地的演化已有更進一步的認知，且藉由分析張裂盆地之特性，可協助建立研究區內陸海域張裂盆地之油氣儲聚機制、模式及探勘技術，並整合其油氣儲聚特性及石油系統，運用其規律，擴大對國內外張裂機制控制時期之油氣儲聚探勘空間。

由蒐集資料研究結果顯示以前陸盆地的演化模式預測北非利比亞北部盆地的地層特性及石油系統，為重要探勘方向之一；並經進行 Murzuq 盆地之精密反剝分析，發現奧陶系及寒武系的地層較沒有大型之交角不整合，生油岩的保存條件良好，因此往下層寒武系的評估亦為重要探勘方向，值得進一步注意。

由於近來 Ghadames 盆地陸續發現多個油氣田，集中在盆地的南部與西北部區域，油氣產自泥盆紀下部砂岩層。盆地生油岩沈積以志留紀頁岩為主，在盆地中心屬過成熟-成熟階段沿上傾地層及斷層通道移棲進入儲集層內，移棲方向大體往盆地邊緣進行。儲油岩以古生代地層為主，在盆地多數地區皆有生產，而中生代地層則以盆地北部為主，以三疊紀蒸發岩為蓋層，並向盆地北邊潛能漸增。構造封閉為多數油田之封閉型態，向盆地邊緣地區則地層封閉型態漸增加，亦為探勘重點。其油氣模擬顯示在利比亞境內之 Ghadames 盆地中心偏東南構造應為下一步需特別注意之目標礦區。

北非利比亞 Murzuq 盆地位於西南部地區，與 Ghadames 盆地隔著 Qargaf 穹起相鄰，沈積環境亦與 Ghadames 盆地相似，原是古生代時期北非洲內陸凹陷盆地之一，亦受到三段時期的造山運動所影響，其最重要的儲集岩包括 Memouniat 砂岩、奧陶紀 Haouaz 砂岩、志留紀 Tempestite 砂岩以及泥盆紀 Aouinet Ouenine 砂岩，其中以冰碛沉積盆地 Memouniat 砂岩最

為重要。

新模擬分析顯示盆地為封閉式的古生代盆地，在盆地中心仍存有變形構造，在盆地中心保存有良好奧陶系及志留系頂部具有之油氣潛能高區，具生儲蓋組合，且石油系統存在，值得進一步探勘研究。

配合公司在利比亞經營的 162 號礦區業務，進一步評估利比亞 Murzuq 盆地的石油系統發現 Murzuq 盆地是封閉的背凸盆地，最佳生油岩存在於盆地中心，最佳生油岩包括志留紀及奧陶紀頁岩並未出露於地表，由於多重古生代之不整合面影響，深部地層傾角趨緩並未出露於地表，生油岩得到較佳的保存，進而排除了原先多位專家認為受到天水作用致使生油岩受到風化作用，而不具潛能觀念。並由其新炸震測解釋結果，發現存在多個潛能構造，值得進一步探勘研究。

另外，此次與利比亞國營石油公司(NOC)專家研討，談及石油系統相關研究，而其中基本邏輯及理念並未多作改變，不同的是我們經營中之礦區，其中部份因子研究的改進及地域性的石油系統需特別重視，故評估研究時其因子或係數精確性之改進是我們應當特別努力的部份。況且經此次與利比亞石油研究院(PRI)相關專家研討，除趁機審視一些相關井之寶貴岩心外，對於儲集層油藏描述與模擬，有待進一步加強。其應整合多項學科、多項專業，並藉各種數學理論和實驗方法的應用，輔以日新月異電腦技術，並以各種新技術和新方法的改進，始能成功而降低探勘風險並提高油氣田採收率。

目 錄

壹、緣起與目的	1
貳、行程	2
參、赴本公司利比亞分公司蒐集及查閱礦區資料和研討	3
肆、參訪利比亞國家石油公司(NOC)	6
伍、參訪利比亞石油研究院(LPI)	7
陸、蒐集查閱礦區資料携回研究結果.....	12
柒、結論與建議	61

壹、緣起與目的

國外礦區評估是國外探勘最重要環節，赴國外當地蒐集資料和研討礦區是最直接方法。執行內容包括：

- 1.目標國外礦區-利比亞礦區資料之蒐集查閱。
- 2.目標國外礦區-利比亞礦區探勘活動之瞭解。
- 3.目標國外礦區-利比亞礦區探勘問題之研討。

派員對於利比亞等陸海域沉積盆地，選擇以高油氣潛能盆地為主，蒐集及查閱其盆地相關礦區資料及油氣探勘資訊，加以研究評估及整合解析，並應用其區域地質、地層特性及對比、沉積環境分析、儲集岩性分析、良好儲集層評估、構造分析、構造演化及封閉構造分析，配合含蓋油氣生、排、移、聚之石油系統分析，探討該地區盆地之油氣儲聚特徵及油氣潛能之綜合評估。藉以進一步藉由查閱及蒐集礦區資料，研究利比亞開放之礦區，以進行較精細評估，提供本公司探勘決策參考。另外對於協助收集引進其附近地區石油系統模擬及分析技術，提昇盆地分析及礦區精確評估能力，亦可應用於國內外相關油氣探勘作業，降低探勘險。

貳、行程

本次奉派前往利比亞執行出國計畫「利比亞礦區資料蒐集查閱及參與相關研討」一案，自民國九十七年十二月二十三日至十二月二十九日，包括起程、返程時間共七天，其主要行程及內容簡述如下：

預定起迄日期	天數	到達地點	工作內容
97.12.23 - 97.12.24	2	台北(TPE) - 香港(HKG) - 杜拜(DXB) - 的里坡里(TIP)	啓程(含轉機)
97.12.25 - 97.12.26	2	的里坡里(TIP)	前往本公司利比亞分公司蒐集及查閱礦區資料和研討並前往利比亞國營石油公司及其石油研究院拜訪及蒐集查閱礦區資訊和研討
97.12.27 - 97.12.29	3	的里坡里(TIP) 杜拜(DXB) - 香港(HKG) - 台北(TPE)	返程(含轉機)
合計	7		

參、赴本公司利比亞分公司蒐集及查閱礦區資料和研討

本次時間雖然極為短促，（由於經費所限及公務提前返國，所有此行蒐集、查閱及參訪工作僅 2 天），但由於事先皆有密切規劃聯繫，故前往本公司利比亞分公司除拜會研討外，亦帶硬碟拷回許多井下及震測礦區資料，帶回探探研究所，除充實利比亞礦區資料外，並進行分析研究，其結果詳見第陸章。



前往 CPC 利比亞分公司蒐集及查閱礦區資料與該分公司總經理黃富文博士研討後合影



蒐集及查閱 Murzuq 礦區資料並與探勘經理合影



檢視礦區岩樣標本研討地層特性



蒐集及分析震測剖面及井下地質資料

肆、參訪利比亞國家石油公司(NOC)

本次亦特別敦請分公司探勘經理陪同赴利比亞最大亦是唯一之國營石油公司(NOC)，拜訪掌理有關中油經營區塊之主管部門，並與之研討，瞭解最新資訊。



參訪利比亞國家石油公司 NOC



拜訪 NOC 負責開放後礦區經理蒐集礦區資訊

伍、參訪利比亞石油研究院(LPI)

利比亞石油研究院(LPI)為利比亞國內最具權威之石油探勘開發生產之研究機構，此行進行參訪及技術交流。



參訪利比亞石油研究院研討探勘及技術交流



地物師陪同探討相關沙漠礦區震測資料採集問題



參訪震測資料數據保存中心



參訪儲集岩分析實驗室



參訪鑽採實驗室之一



參訪鑽採實驗室之二



泥漿配制研發解說



參訪地化實驗室分析設備



參訪岩心處理



觀察礦區相關井下岩心及研討

陸、蒐集查閱礦區資料携回研究結果

(由於攜回之礦區資料多屬商務機密，研究結果置於公司內部存參，以下謹作一般性述明)

一、前言

近幾年來，國內油氣探勘普遍處於不景氣之低迷情況，但鑑於國內能源需求日殷，竭力尋找新的油氣田實為當務之急。而台灣地區油氣主要生產基地，但近年來開採蘊藏量及產量均日益減少。適值此探勘瓶頸，除需以新觀念、新技術另行尋求探勘潛能區，以求有所突破外，更重要的是本公司為掌握自產能源，以支援國家經濟建設之發展。中油公司歷年來積極在陸海域從事油氣探勘，而其油氣探勘主要之構造幾已探勘殆盡，致目前油氣測勘作業益形艱難，有往國外地區加強國外探勘之策略，故本所為加強突破目前探勘困境，致力尋求增加油氣探勘機會，有必要結合地球物理、地球化學及石油地質多領域等之專業技術，進而整合評估與研究，期以先導性研究國外地區及盆地，並掌握標購或合作先機，擴大本公司國外探勘投資處之探勘空間，提供石油公司日後開闢新的油氣蘊藏量參考。

配合本公司未來之主要探勘策略，在探採事業部國外處之年度目標國家中，選擇頗具潛能之非洲張裂盆地，進行石油地質架構特性分析及石油系統研究等，以做為國外探勘之先導性評估，非洲近來石油、天然氣發現量及其分佈正蓬勃發展。非洲張裂地區中，利比亞諸多盆地位於大油田區，近年來漸採開放政策，已成為極熱門之地區，為各大油公司競相爭取之標的，其潛能自不待言。況且由板塊重建顯示，古地中海油氣儲聚在非洲北部地區與中東阿拉伯同為俱有極高油氣潛能之地區。由於非洲面積範圍過於遼闊，故本研究除研究非洲之張裂盆地大地架構外，主要對於利比亞等陸海域沉積盆地，選擇以高油氣潛能盆地為主，購置其盆地及油氣探勘資料，加以研究評估及整合解析，並應用其區域地質、地層特性及對比、沉積環境分析、儲集岩性分析、良好儲集層評估、構造分析、構造演化及封閉構造分析，配合含蓋油氣生、排、移、聚之石油系統分析，探討該地區盆地之油氣儲聚特徵及油氣潛能之綜合評估。並進一步配合較精細礦區資料，研究未來利比亞潛能礦區，進行評估，提供本公司探勘決策參考。

二、研究方法

非洲主要產油國家以利比亞為主，在世界油氣資源上亦佔舉足輕重的地位，而為配合公司探採事業部國資處在非洲的礦區評估作業，選擇年度目標國家一利比亞，進行該地區盆地分析及石油系統研究，可建立張裂盆地之油氣儲聚機制、模式及探勘技術，並整合利比亞等地區其油氣儲聚特性及石油系統，運用其規律性，擴大應用到國內陸海域張裂型盆地之油氣儲聚探勘空間。同時增進對非洲利比亞等地區之沉積盆地分析及油氣系統之瞭解。

- (一)整合石油地質、地球物理、地球化學、鑽探開發等資料，配合盆地分析及石油系統研究，指出利比亞高潛能盆地及礦區，導引及提供標購該國礦區重要參考。
- (二)瞭解該地區其盆地特性及演化，分析石油系統及探討可能油氣儲聚、構造之能力，並提出有利盆地及礦區，提供現場參與爭取礦區或探勘參考。
- (三)進一步蒐集及查閱較精細礦區資料，研究利比亞礦區，進行評估，提供本公司探勘決策參考。

由收集區域地質、石油地質、震測解釋等資料並查閱礦區資料油氣田資訊等進行盆地分析、石油系統等研究，且對台灣中油操作礦區進行潛能構造評估及研究，以利現有礦區經營及進行下一部探勘與未來礦區標購。

三、利比亞區域地質、盆地分析與油氣概況

非洲大陸本身以 Aulacogen 的三臂分裂模式形成深的盆地，分佈於非洲大陸的中部及東西部。其中非洲東西海域，以被動大陸邊緣的張裂性盆地發育為主；北非，於白堊紀早期逐漸脫離南極大陸往北移動，於漸新世晚期開始與歐亞大陸碰撞，因此，在北非大陸邊緣的諸多盆地，於白堊紀至漸新世早、中期純屬張裂盆地。後來受到南部古地中海褶皺衝斷帶的影響，其盆地發育較為複雜，具有張裂、逆衝、構造反轉的複合特性。

非洲的盆地約可分為數個類型包括張裂性盆地、內陸盆地、大陸

邊緣盆地以及穩定地台，穩定地台主要地層為前寒武系及古生代的海相地層，分佈於全非洲，約略集中於南部非洲。內陸盆地主要與大陸地殼的廣泛下沉有關，主要分佈於穩定地台之上。張裂性盆地與大陸邊緣盆地具有較豐富的油藏，被研究地較為透徹，現代大西洋中洋脊的構造特性主要特徵為具有地震活動，並具兩側具有對稱性的磁力異常排列。大規模張裂性盆地形成的模式很多，如 Dickinson(1976)提出海洋地殼擴張與大陸地殼的演化及其互動關係大陸邊緣張裂盆地演化及沈積相模式為(A)原始海洋的形成階段，準大陸地殼及鄰近的方面岩員準海洋地殼變薄(B)原始海洋階段結束，溫度下沉接近於完成，準海洋及準大陸地殼形成過渡性地殼下沉於大陸邊緣，(C)海洋張裂時期，大陸地質、大陸坡、大陸隆堆之形貌形成，沈積面的負荷為主要地殼下降的機制，(D)大陸邊緣擴張時期，沈積物由海岸線大量前伸堆積於海洋地殼之上(Dickinson, 1976, Ingersoll, 1988)。

Dewey 和 Bird(1970)提出較詳細的海底擴張與被動大陸邊緣的發育模式。此模式提供了大陸地殼的構造形貌及詳細地層發育。Emery(1980)提出被動大陸邊緣盆地的演化模式，海洋地殼的拉張提供較多沈積物沈積的空間，當沈積負荷至某程度盆地又趨向不穩定而有抬昇的現象及塩岩的活動。紅海的張裂是屬於較年輕(現在~中新世早期)的構造活動模式，其演化可分為數個階段包括地殼變薄隆升，邊緣沈降、張裂、火成活動及蒸發岩沈積，侵蝕及地殼隆升，塩岩活動及海洋性沈積，最後又是張裂、海底擴張、玄武岩漿入侵等。

非洲大陸內部的張裂性盆地，其張裂眼 aulacogen 及相關造山帶的演化模式為(1) 由於地殼的丘狀隆昇形成三臂式放射的張裂系統，(2) 兩臂分裂並形成狹窄的海洋類似於紅海.第三張裂臂不足以形成大陸地殼的分離，(3) 兩張裂活動臂型大海盆，沉積物沿沒有地震的大陸邊緣堆積並下陷，第三失敗的張裂臂保留橫向的沈積槽溝，(4) 沿海溝之隱歿帶之海洋，逐漸被封閉，形成具有岩漿活動的島弧，(5) 逐漸封閉的海洋導致於大陸地殼的碰撞以及造山帶的發育.被放棄的張裂臂在前陸盆地仍然保留張裂眼的特性.最後仍然受到擠壓變形及斷層作用(Hoffman, 1974; Ingersoll, 1988)。

非洲大陸內部的地殼變形以張裂性及斜張裂性(transtension)為主。這種構造變形的特性很廣泛地分佈於非洲大陸。大概可分為兩

種類型包括凹陷盆地及斷層地塹。

張裂性斷層地塹系統：發生於以前的構造高區或是脆弱地下降地區，可分為二個主要系統。

Karoo system：二疊紀~三疊紀的地塹主要發生於非洲的南部，主要是沿著 Mwembeshi shear zone 發育。有些盆地在白堊紀早期及新第三紀有構造反轉的現象。

Central system：發生於白堊紀早期，持續至白堊紀晚期及第三紀，包括 Gao graben，Sirte 盆地，Anza 地塹，蘇丹 Khartoum 的小地塹群，查德 Ennedi Massif 附近的張盆地沿 Chad shear zone 發育。

East African system：發生於漸新世晚期至中新世早期，伴生有強烈的火山活動和地殼隆升。主要侷限於非洲東部，可能與紅海的開裂及蘇伊士地塹的形成有關聯性。

1. 凹陷盆地 (Sag basins)：根據他們的年代及構造特性分為三大群：

- ◆ 穩定地台的 Late Proterozoic 及古生代盆地，包括 Taoudeni，Bove，Volta，及 Kalahari 盆地，面積廣闊，在古生代僅有微弱的構造沈降。
- ◆ 移動帶的古生代盆地：位於撒哈拉沙漠西北部的 Tindouf，Reggane，Bochar 盆地在奧陶紀具有強裂的構造沈降。
- ◆ 撒哈拉地台的古生代及古生代—中生代盆地：Illizi—Oued，Mya，Ghadames，Western Desert 盆地等及 Pelagian 盆地，他們形成於寒武紀主要發生在奧陶紀的張裂構造領域，在白堊紀早期及晚白堊紀—新生代的阿爾卑循環時期，構造再度反轉。

構造帶是由許多構造排列組合而成，綿延數百公里，相當於地殼斷層經長時間的復活作用而產生連續作用的構造相。在盆地級的架構下探討地殼的不均質性以及其控制構造及沈積事件的機制是非常適合於油氣探勘的需求，非洲重要的構造帶包括 TRM 構造系統、中非剪

裂系統、trans-Sahara zone Atlas 構造帶以及 Mwembeshi shear zone，其中 TRM 構造帶是 Tanganyika—Rukwa—Malawi 的轉形斷層帶主要是新第三紀的變形作用，中非斷層帶於白堊紀早期復活，持續至晚白堊紀，至第三紀則變得很弱。Trans-saharan shear zone 是 Pan African 造山期，西非地盾及 Hoggar 地盾互相碰撞，在古生代、中生代以及新生代均有復活之現象影響撒哈拉盆地的油氣系統。Mwembeshi shear zone 位 Pan Africa Damara chain，控制 Karoo 地槽的發育，在新第三紀時構造復活，具左移斷層之特性。

若不考慮構造帶發育的時間，僅考慮地質構造的分佈，詳細的非洲地區地質構造顯示非洲大陸南部是較穩定的地區，主要的構造帶集中於中非、北非及東非北非是較複雜的構造地區(Masse et al., 1996)，除了張裂盆地的特性外，構造反轉的特性集中於摩洛哥、西部沙漠地區，此區稱為 Atla 褶皺帶，隨著遠離地中海前淵盆地 (foredeep)，構造反轉的特性減小，北非地區的盆地是屬於複合性的構造盆地。在非洲地區真正的地下盆地可能為沙漠、河流、森林所掩蓋而不易被察覺，張裂性盆地演化模式的探討及應用，將有助於我們瞭解地表可能盆地之分佈及地下構造形貌。另外一個構造反轉的地區是位奈及利亞的 Benue Trough，白堊紀早期一系列地層 (Bima Formation) 受到構造反轉及褶皺的作用，伴隨著強烈的火成作用。在 Benue Trough 的淺部則有中度的褶皺作用，可能受到側向擠壓的作用。

北非的盆地的構造類型受到南部古地中海褶皺衝斷帶很大的影響，綿延 8000 公里的南古地中海褶皺衝斷帶經 Morocco-Tunisia Atlas、西西里、西臘的 Hellenide-土耳其 Tauride 的半月彎、Palmera(Syria)、Zagros(Kraq-Kran)，Oman Mountain、Chaman transform 到喜馬拉雅山。主要的油氣生產帶位於 Zagros fold and thrust belt，褶皺作用之年代主要發生於 Infra-Cambrian、Triassic、Jurassic 和中新世的蒸發岩，其他的生產區包括 Orman Mountain、Potwar 和 Sulaiman(巴基斯坦)、Addis (印度)、Surma basin(孟加拉)。

古地中海盆發育於白堊紀早期至白堊紀中期，在 95 百萬年前分裂成三個海板塊，於晚白堊紀印度洋及印度半島往北移動，於古新世時 C 板塊已被隱歿掉剩下一小部份，在漸新世時期 C 板塊已完全隱歿至地球內部了。現今的地中海、孟加拉及印度恒河斷裂帶實際上是古地中海褶皺衝斷帶殘存的前淵盆地，典型的例子如阿曼山的構造演化，在阿曼山的 Suneinah 前陸地區，於白堊紀中期至白堊紀晚期的早期是屬於張裂盆地的構造類型，於白堊紀晚期之中部開始進入造山運動階段，持續至第三紀早期。在第三紀晚期盆地出現構造反轉現象。在北摩洛哥 High Atlas Mountain 亦出現類似的構造特徵，構造反轉的現象沿著地塹邊界斷層發育，主要滑移斷層切穿淺部之正斷層系統，致使老的地層出露於地表，很好的生油岩亦出露於地表，目前此地區進一步探勘中。北非地區的其他地方仍值得以此大地構造觀點進行分析。以期發現更好的潛能區。

大體而言，西北非地區直接受到 Hercynian 造山運動的影響，而在非洲的北部及東北部則受到在地中海阿爾卑斯造山運動的影響 (Masse et al., 1996)，在石炭紀晚期(315 百萬年前)西北非的地質構造，構造運動影響到此區西部並逐漸擴展至西北非的東部地區，目前只有在非洲的西側可以看到逆衝褶皺山脈，可對比於北美的阿帕拉契山脈。在石炭紀時，Taudeni 盆地在西北非地區有完全的構造反轉外，其他部份仍然保持相對的穩定 Bechar 和 Tindouf Marine trough 則是屬於前淵盆地，在石炭紀時 Timimoun-Ahnet basin 保持著下沉，使志留紀的生油岩加熱至 200° C，在任何構造發生前達到油氣窗範圍，此盆地的最大變形發生於二疊紀，造成前陸地區石炭紀沈積物的嚴重被侵蝕，在三疊紀及侏儸紀早中期，此地區具有蒸發岩的沈積，在利比亞外海則有碳酸岩的發育。

利比亞沈積盆地主要分為六個沈積中心:Sirte 盆地、Ghadames 盆地、Murzuq 盆地、Kufra 盆地、Pelagian 盆地及 Cyrenaica 盆地。至今至少有 17 個油田屬於 5 億桶油當量以上之巨大油田。

(一) Sirte 盆地:

位於利比亞東北部地區，東北邊與 Cyrenaica 為界，南邊與西邊

則與古生代盆地之 Ghadames、Murzuq 及 Kufra 相鄰，面積 400,000 平方公里。Sirte 盆地屬於組合性之盆地型態，從最初之古生代內陸盆地受板塊運動的影響而形成，到古生代末期之海西寧造山運動影響，使得多數地層被侵蝕掉，而剩下寒武、奧陶紀時期盆地基盤上最古老的地層。直到白堊紀早期的阿爾卑斯造山運動期，Sirte 盆地開始因南北向的擴張而引起張裂。張裂初期，盆地沈積物為淘選較差之非海相砂、頁岩以不整合方式覆蓋在古生代及前寒武紀基盤之上。Nubian 砂岩屬河川陸相環境，是 Sirte 盆地東南邊最主要之儲油岩層，而凹底砂岩被相當厚的頁岩所深埋。在下部白堊紀末期時，區域性的隆起造成 Sirte 盆地東南邊之 Upper Nubian 砂沈積在地塹內，而其他地區則形成侵蝕面。至白堊紀 Cenomanian 時期，沈積物是從蒸發岩開始沈積在地塹內，這層序又被上部白堊紀的碳酸岩、頁岩所覆蓋，直到了古新世時期沈積了淺海相的碳酸岩，高區形成礁岩，深水相的頁岩及碳酸岩則沈積在構造低區內。始新世主要的沈積物是碳酸岩及蒸發岩，始新世末期，盆地再次活動，最劇烈的活動期在漸新世末期至中新世早期間，區域性的隆起再次發生，盆地則被碎屑岩充填，及至中新世末期形成現今的盆地形態。最後一次的構造活動則發生在 Sirte 盆地中、西部地區，主因是火山運動後火山岩侵入造成 AlHarug Al Aswad 及 Jabal Assawdo 地區的火成岩體。根據鑽井樣品地化分析，主要產油型態之生油岩存在於上部白堊紀地層內，Sirte 盆地內之 Trough 至少含 900 公尺厚之沈積物，這些沈積物富含有機物，是盆地內主要的生油岩。一般而言，在盆地東邊地區其油窗範圍在 2,700-3,400 公尺內，而在西邊則須大於 3,500 公尺深度才達成熟階段，除上述地層外，許多油田的油氣與生油岩對比亦顯示在 Augila Trough 內之古/始新世地層亦為極佳之生油岩，而先白堊紀地層之生油岩亦提供 Sarir、Messia 油田之生油來源，Augila Trough 之生油岩成熟度因地層向北傾斜，北部地區如太大深埋則會以產氣為主，下部古新世-上部古新世生油岩在 Trough 深度可達成熟範圍。上部古新世-始新世生油岩可能不夠成熟，除了在 Trough 北部地區。中部始新世-上部始新世生油岩則僅有少量可達成熟階段。盆地內自前寒武紀含裂縫基盤岩層到中新世地層的砂岩，幾乎每一時期的地層都有儲油岩層。前寒武紀基盤裂隙在某些高區內是良好的儲油岩，在

Augila 油田中，某些井產量高達 18,000 BOPD，其油氣可能是沿著斷層通道由白堊紀或第三紀之成熟生油岩移棲而至。寒武-奧陶紀石英砂岩裂隙亦在某些區域含油氣，如 BahiBeda、Ora 及 Amal。

Sirte 盆地有超過 101 個油氣田，多數油氣田位於隆起或平台高區，少數則在 trough 內被鑽獲。而油氣移棲主要有三種路徑：(1)沿斷層面垂直移至封閉高區內，如 Gialo 及 Amal 油田；(2)生油岩與儲集層同層，油氣生成後直接灌入構造內，如 Bu Atiffel 油田；(3)從遠距離生油區內橫向移聚至構造內，如 Messla Sarir 油田等。

(二) Ghadamles 盆地

Ghadames 盆地，原是非洲北部幾個古生代內陸古地塊凹陷盆地之一，盆地內構造主要受下列三期造山運動影響：(1)泥盆紀加里東造山運動，(2)石炭紀-二疊紀海西寧造山運動，(3)白堊紀~古新世早期阿爾卑斯造山運動。而加里東造山運動和海西寧造山運動對盆地之影響主要是分別形成東北-西南走向和東西走向的構造。阿爾卑斯造山運動則使盆地抬昇出露海水面，使盆地內缺少古新世中期至更新世時期之沈積地層。奧陶紀中-上部地層內頁岩為良好的生油岩，屬過成熟之生油岩，可能以產氣為主。志留紀地層中黑色頁岩厚度極厚且分佈廣闊，集中在盆地中心，向南部及東部岩性漸變為粉砂岩，可能減少生油能力。志留紀生油岩成熟度介於極成熟到過成熟階段，一般相信為盆地內油氣之主要來源。泥盆紀上部地層亦存在良好的生油頁岩及碳酸岩，其成熟度亦不錯。三疊紀之頁岩在北部亦具有生油潛能，唯可能屬未成熟至成熟前之生油岩。

Ghadames 盆地陸續發現近十個中、小型油田，油田分佈集中在盆地的南部與西北部區域，盆地中最大油田為東南邊之 ELHAMRA 油田，油氣產自泥盆紀下部砂岩層。盆地生油岩沈積以志留紀頁岩為主，在盆地中心屬過成熟-成熟階段沿上傾地層及斷層通道移棲進入儲集層內，移棲方向大體沿東南及西北向進行。儲油岩以古生代地層為主，在盆地多數地區皆有生產，而中生代地層則以盆地北部為主，以三疊紀蒸發岩為蓋層，並向盆地北邊緣潛能漸增。構造封閉為多數油田之封閉型態，向盆地邊緣地區則地層封閉型態漸增加，亦為探勘

重點。

(三) Murzuq 盆地

位於西南部地區，與 Ghadames 盆地隔著 Qargaf 穹起相鄰，沈積環境亦與 Ghadames 盆地相似，原是古生代時期北非洲內陸凹陷盆地之一，亦受到三段時期的造山運動所影響。沈積始於寒武紀，初為陸相礫岩，及至奧陶紀盆地更形發育，沈積海相名英砂岩，此層為盆地內主要之儲油岩。至志留紀時期，沈積環境轉為深海相頁岩。志留紀末期，因加里東造山運動地殼漸漸隆起，海水變淺，沈積著淺海相之頁岩及海退期的砂岩，此層頁岩為盆地的主要生油岩。石炭紀~二疊紀時海西寧造山運動，海水更淺，沈積淺海相及陸相之砂、頁岩及部份的石灰岩。二疊紀以上地層則以近海相及陸相的河川、湖泊等沈積為主。盆地的生油岩為奧陶紀、志留紀、泥盆紀及名炭紀地層之海相頁岩，以產油為主：志留紀以前的生油岩左石炭紀晚期或二疊紀早期達油窗範圍，主要油氣生成時間為白堊紀早期，而志留紀以後的生油岩則於白堊紀以後方生成油氣。油氣由盆地中心向四周移棲，移棲距離約 150-200 公里，移棲的主要通道為奧陶紀與泥盆紀砂岩層和不同斷層，油成熟度為成熟至過成熟。地溫梯度在盆地中間部份並不高，約 $2-3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，向西北方向增加，可大於 $5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，且轉變為以產氣為主：原油比重亦有相應變化，在地溫梯度較低地區生產較重質原油 ($32^{\circ}-42^{\circ}\text{API}$)，而地溫梯度較高地區生產輕質原油 ($40^{\circ}-50^{\circ}\text{API}$)。一般認為盆地西北部的生油潛能較東南部地區為佳。上部奧陶紀的頁岩為可能生油岩，TOC 值在 0.8 至 1.5% 之間，層序不連續，岩相側向變化大，厚度及生油潛能往西北方的古斜坡下坡方向變佳。油氣約在古生代晚期及中生代生成，於盆地中心達過成熟，而於盆地北部及西北部地區為成熟階段。志留紀地層在盆地東西兩側出露，厚度約 600-700 公尺，最大厚度發生於盆地中西部的沉積中心。於 A1-76 井，志留紀地層底部深度約 2900 公尺，下部志留紀的 Tanezzuft 地層之厚度為 675 公尺；地層向東向北迅速減薄，至東北方的 C1-NC58 與 D1-NC58 厚度分別為 190 及 120 公尺。Tanezzuft 之頁岩為盆地最重要的生油岩，幾乎所有油氣皆於此發現，油母質屬於產油的不定型 (amorphous)。Tanezzuft 生油岩 TOC 值變異甚大，於 E1-NC58 井可

達 4.9-8.4%，顯示於 E1-N658 井與 NC115 礦區之間生油潛能極佳；於盆地中部，TOC 值約 2-3%，盆地南部及東南部，可能因砂岩比例增高及受到侵蝕等因素影響，生油潛能降低至零；於南部的 H1-NC58 井發現 390 公尺的砂層及粉砂層。油氣生成於中生代至第三紀，主要是白堊紀早期，並以盆地最深的地區做為生油中心，沿西北及東南方向往外移棲；根據現有油田資料，亦證明盆地北部及西北部之油氣由此而來。生油岩為成熟至過成熟。泥盆紀的 Ouan-Kasa 與 Emghaet 地層，於盆地各處厚度均一，頁岩之 TOC 值在 1.84 至 3.54%之間，而於盆地西側亦有 1.66%，被認為是極具潛力的生油岩層。生油岩在三疊紀晚期方成熟，油氣生成時間為白堊紀晚期至第三紀，成熟度為成熟至過成熟。下部石炭紀的 Mara 地層，為海相—三角洲沉積，頁岩 TOC 值約 0.4-2%，油氣亦自白堊紀晚期方開始生成，Ro 值約 0.5%，部份地區亦有較高的 1.10-1.39%出現，為成熟至過成熟。盆地生油岩以古生代志留紀、泥盆紀、石炭紀地層頁岩為主，油氣移棲由盆地生油中心向四周移動。而油氣生成從石炭紀晚期至侏羅紀期，油成熟度介於過成熟至成熟期。生成的油氣沿不同的斷層從生油岩移棲至儲油岩內。儲油岩亦集中在古生代地層內，尤其是以奧陶紀儲油砂岩及其含裂隙者為主，而上部泥盆紀及下部石炭紀砂岩亦為良好的儲油岩。封閉構造中除造山運動所形成古生代地層之隆起高區外，有些與地層封閉共同出現，而地層封閉潛能則以泥盆紀碎屑砂岩尖滅於加里東所形成之不整合面。另頁岩尖滅及橫側方向之岩相變化亦為另一種型態之地層封閉。

（四）Kufra 盆地

位於利比亞東南部地區，如同 Ghadames 盆地及 Murzuq 盆地一樣，屬非洲內陸凹陷盆地之一。主要受古生代時期造山運動影響，形成二組構造型態，第一次的隆起運動為加里東造山運動所造成，整個構造走向呈西北東南向。第二次則為海西寧運動造成，形成東北—西南走向構造，亦使三疊紀地層缺失。而本區主要含油氣潛能地層則以寒武紀至石炭紀陸相及海相沉積為主。奧陶紀之薄層頁岩為生油岩之一，特別是在盆地西部及中部地區，此層在盆地深部可達油窗範圍。而最佳的生油岩是以志留紀地層之頁岩為主，盆地西部可能比盆地中

部具較好的生油岩分佈。現今盆地最深的沈積厚度大約有 3,000 公尺，根據地溫梯度估算古生代之沈積岩能達到不成熟至早期成熟階段。但在第三紀時期發生的火山活動可能加速油氣生成。盆地內至今顯示油氣潛能不佳，原因在於盆地沈積物最厚才 3,000 公尺，生油岩未達油窗範圍。局部地區由火山活動增加生油岩成熟尚可考慮其生油潛能。儲油岩層雖有許多層次可做為目標，但卻缺乏蓋岩做為密封岩層，整體而言探勘地層還是以古生代地層為主。

(五) Pelagian 盆地

位於利比亞西北海域內，面積約為 55,000 平方公里，主要為中生代與新生代構造運動所形成之 Margin 張裂盆地。本區位於非洲古陸塊邊緣，在中生代及新生代時間因地體構造運動而發生張裂、扭轉及擠壓等。盆地深層地層在古生代早期屬於 Ghadames 盆地向北延伸區域，至中生代時才與 Ghadames 盆地分離，並在三疊紀至侏羅紀判形成 Tripolitania Trough。盆地沈降作用始於白堊紀早期 Aptian 張裂活動，且在盆地北部及東部地區造成三疊紀鹽岩穹起之衝頂作用。整個盆地形成西北—東南走向之地塹構造，而古新世至始新世沈積物沈積在地塹內，主要沈積作用則在中新世早期發生，估計此時期的沈積物厚度可達 1,500 公尺。整個沈降作用一直延續至今日。主要生油岩為白堊紀至古新世的頁岩及碳酸鹽岩，一部份為中新世地層的頁岩。生油岩的成熟度介於過成熟至成熟範圍。最佳的生油岩是上部白堊紀至古新世內之富集度豐富的頁岩及碳酸岩。白堊紀的生油岩在第三紀進入油窗範圍，而第三紀地層在盆地深部地區可達早-中期成熟階段。

多層次的生油岩分佈在中新世-白堊紀地層內，均已達到油窗範圍產出油氣，可垂直移棲及水平移棲進入儲油構造內。多層次的儲油岩如同生油岩般亦在漸新世至白堊紀地層內，以碳酸鹽岩為主，除原生孔隙率外成岩作用產生的次生孔隙也會增加儲油能力。豐富而成熟的生油岩及多層的儲油岩配合構造、地層與組合式的封閉，使此區頗具油氣探勘潛能。

(六) Cyrenaica 盆地

位於利比亞東北部地區，面積大約 100,000 平方公里，亦為古生代非洲內陸凹陷盆地，在中生代後發育成盆地沈積型態。古生代早期，本區北部在 Calanscio-Anaynat 隆起帶上，僅有薄層沈積物，志留紀中期開始有較厚的沈積物在北部及東部發育，志留紀末期，Cyrenaica 盆地才開始沈降，從三疊紀期形成準平原陸相沈積環境。侏羅紀時期南部地區形成凹谷地形，白堊紀早期的沈積物大量堆積在此，而北部地區則在白堊紀末期形成凹陷谷地後才開始有沈積物供應。至第三紀時期南部之 Jaghub 隆起後，相對於其他地區型態即稱本區為地台，此期的沈積以始新世地層為主。志留紀地層含黑色頁岩，有機物富集度高，尤其在北部地區，幾乎都已達到油窗範圍，而在西部地區則為中期至初期成熟階段，油氣生成則在石炭紀至新生代時期，油氣靠斷層往上移棲至儲油岩內。上部泥盆紀生油岩型態類似志留紀地層。石炭紀的生油岩以煤層為主，可能產氣，北部地區進入油窗範圍，但在台地區域內可能未成熟。另在北部的上部白堊紀地層亦為重要的生油岩，屬成熟初期至未成熟階段。本區至今並無重要的油氣發現。生油岩雖分佈在古生代及中生代的地層內，且均已進入油窗範圍，但在油氣生成時期，正值構造運動作用，許多油氣無法移棲至封閉構造內而散失，且無良好的蓋岩密封都是本區未發現油氣的可能因素。

大西洋約於 2 億年前開始分裂，非洲西海岸及南美洲東海岸約略互相吻合，在此兩海岸地區均可發現深湖泊相的盆地，具備塩岩的發展。經分析結果，在塩岩地層上方的盆地具有豐富的油藏，由於長久以來俱以探勘，開發或為大油公司及奈及利亞國家所擁有，而在塩岩下方由於震測資料成像的進步，以及地質構造解釋的配合，目前並已成為另一重要探勘方向。

北非大油田可分為兩個不同構造歷史及不同時代的盆地，第一類為阿爾及利亞的撒哈拉沙漠之東的古生代 Illizi 盆地；而另外一類為利比亞的 Sirte 盆地。這些盆地含有 30~35BBOE，位於最大的生產區。這兩個大盆地為非洲發現的油量之 85% 及天然氣之 80%。

古地中海邊緣的 Sirte 盆地及 Pelagian 陸棚，Sirte 盆地為內陸斷裂盆地，其上部白堊系一中新統地層覆蓋在海西寧基盤和其侵蝕

產物(Nubian 砂岩)之上。油氣產自 Cambro-Ordovician 和 Nubian 砂岩，及上部白堊系到中新統石灰岩一般認為上部白堊系和古新統黑色頁岩是主要的生油岩。

上部白堊系 Campanian 的 Sirte 頁岩層是主要的生油岩，為暗灰色到黑褐色含碳質頁岩，通常呈蠟質狀，為海相沈積，含腐泥及腐植混合型有機質，有機質含量達 2-5%。Sirte 頁岩層總厚度達 175 公尺，到盆地東北部轉變成碎屑性 Maragh 層，中間部份是良好生油岩，埋藏深度超過 3,000 公尺。

次要生油岩下部古新統 Danian 的 Hagfa 層和下部古新統 Montian 的 Beda 層(Rabia 頁岩段)，Hagfa 層為開放環境相當深水(200- 1000 公尺)海相沈積，含產油腐泥型有機質，灰色頁岩，有時呈蠟質狀，含薄石灰岩層，總厚度 300 公尺，在盆地的東北部本層較鈣化。中間到下部為較好生油層，埋藏深度超過 3,000 公尺。

Beda 層(Rabia 頁岩段)為暗綠到暗灰色鈣質頁岩及泥岩，含薄石灰岩層，是淺海沈積相，含海相產油有機質。本頁岩段總厚度約 69 公尺，僅分佈在盆地的西北部，中間部份是生油岩，埋藏深度超過 2,800 公尺。

Sirte 盆地另一個較不重要的生油岩是上部古新統到下部始新統 Beshima 層(Kheir marl 段)，本段為海相沈積黃一綠色頁岩，夾帶粘土、marl 和石灰層、含腐泥產油有機質，厚度 6-100 公尺，中間部份為生油岩，埋藏深度超過 2,200 公尺。

Pelagian 陸棚包含了突尼西亞的 Gabes 海灣(Gulf of Gabes)，也伸展到利比亞西部水域，油氣主要產自下部始新統石灰岩和中新統砂岩，主要生油岩為古新統黑色頁岩，次要生油岩為下部白堊系和中新統頁岩。

上部白堊系一古新統的 El Haria 層是主要生油層，為黑色、灰色或褐色頁岩，下半段含石灰岩薄層，有機物為腐泥型產油有機質。本生油層分佈在整個陸棚，厚度達 600 公尺，中間段及上半段為生油岩，埋藏深度超過 2,000 公尺。

下部白堊系為較深海沈積的黑色頁岩，夾有白雲石化石灰岩，含腐泥型產油有機質，本層中間部分是較好生油岩，有效生油岩可能只有數公尺到數十公尺厚，是 Gulf of Gabes 東部較重要的生油岩，埋

藏深度起過 2,000 公尺。

中新統 Mahmoud 層為海相頁岩，含腐泥型產油有機質，上部為較佳生油岩，但大部份不成熟，埋藏深度至少 800 公尺。

Ghadames 盆地，奧陶紀中-上部地層內頁岩為良好的生油岩，屬過成熟之生油岩，可能以產氣為主。志留紀地層中黑色頁岩厚度極厚且分佈廣闊，集中在盆地中心，向南部及東部岩性漸變為粉砂岩，可能減少生油能力。志留紀生油岩成熟度介於極成熟到過成熟階段，一般相信為盆地內油氣之主要來源。泥盆紀上部地層亦存在良好的生油頁岩及碳酸岩，其成熟度亦不錯。三疊紀之頁岩在北部亦具有生油潛能，唯可能屬未成熟至成熟前之生油岩。

油氣產自寒武一泥盆系，上部 Gothlandian 一下部石炭系和上部二疊系-下部三疊系砂岩。Ghadames 盆地的原油比重介於 33° API~39° API 之間蠟質含量低，志留紀 Gothlandian 黑色頁岩是主要的生油岩。

Gothlandian(Llandovery)Tanezzuft 頁岩層是封閉環境較深水海相沈積，含腐泥型產油有機質，為灰色頁岩，部份為粉砂、含砂岩薄層，厚度 400 公尺，下部為較好生油岩，埋藏深度 3,000-4,000 公尺，愈南埋藏愈深，地溫梯度 23.5°C/km。

主要生油岩 Tanezzuft 頁岩除了在 Ghadames 盆地北部邊緣受海西期造山運動(Hercynian Orogenic Movement)抬升而被侵蝕外，在盆地大部份地區都有分佈且甚厚。

Tanezzuft 頁岩於白堊紀中期進入產油初期階段，可生成少量未成熟原油，隨即進入主生油期，可生成大量成熟原油，白堊紀末期以後，因地層不再埋深，成熟度不再快速增加，因此大部份生油岩保持於主生油期至今，而埋藏較深處則漸漸進入晚生油期，產生原油及天然氣。

Murzuq 盆地最老之生油岩地層為晚奧陶紀 Melez chograne 層頁岩。在 A1-NC34 鑽探結果本段具 good 至 very good 級生油岩(Geochem Labs 1995)；另外由 E1-NC58 井該段 TOC 值介於 0.34%至 0.52%間，D1-NC58 井則超過 1%，盆地內本段相當豐富有機碳富集度之頁岩最厚可達 50M，為冷溫海相之頁岩，向北及向西增厚，往南則變為河流相。若與北邊 Ghadames 盆地同樣生油岩相比較其油氣在中生代晚期至第三紀早期生成，沿著 Murzuq 及 Ghadames 盆地東側移棲

進入油氣封閉構造。

■ 志留紀 Tanezzuft 層及 Acaus 層

在 Murzuq 盆地存在著志留系下部之生油岩，該生油岩在西撒哈拉 (western sahara) 之中西部阿爾及利亞 (Algeria) 及摩洛哥 (morocco) 屬較低成熟生油岩，但在 Murzuq 盆地則因沉積相變化大，有較佳生油岩之存在，如 A1-68 井熱裂分析 S_2 值有 8mg/g，在 E1-NC58 井則達到 29-32 mg/g。

盆地內 Llandoveryan 之 Tanezzuft 層，含有富含筆石沉積之連續頁岩沉積，其中含 fair 級至 very good 級生油岩，由於厚度極厚，不可忽視其生油潛能。

Tanezzuft 層沉積在高緯度地帶，當 Ashgillian 冰帽融解，造成淺海及三角洲前緣之沉積，其分佈及生油岩品質在本盆地內之 Murzuq-Djado 及 Dor-el-Gussa 兩個次盆地有所變化，而分隔兩次盆地之古高地區則生油潛能較差。但盆地內 Acaus 層之頁岩被認為可能如 Tanezzuft 層同具生油潛能。

■ 泥盆及石炭紀之生油岩

Murzuq 盆地之上部泥盆紀亦發展有良好之生油岩，特別是在 Strunian /Tournaisian 時期。局部富含生油潛能之生油岩需配合較高之熱成熟，方能產生較大量油氣。至於盆地內最上部泥盆紀及石炭紀中及下部地層富含頁岩，亦可見 fair 至 good 之生油岩，TOC 值可達 3.5%，熱裂分析 S_2 可達 6mg/g，可對比至 Ghadames 盆地已證實上部泥盆紀 (Frasnian) 之生油岩。

Emsian Ouan Kasa 層及中部～上部泥盆系 Aouinet Quenine 層之頁岩一般較 Tanezzuft 層為薄，但厚度已足夠成為生油岩。Ouan Kasa 層厚達 25m 生油岩為盆地西側及西北側海相及三角洲沉積，於盆地南側及東側則轉為陸相，較缺乏本層之成油岩。

奧陶紀之薄層頁岩為生油岩之一，特別是在盆地西部及中部地區，此層在盆地深部可達油窗範圍。而最佳的生油岩是以志留紀地層之頁岩為主，盆地西部可能比盆地中部具較好的生油岩分佈。現今盆

地最深的沈積厚度大約有 3,000 公尺，根據地溫梯度估算古生代之沈積岩能達到不成熟至早期成熟階段。但在第三紀時期發生的火山活動可能加速油氣生成。盆地內至今顯示油氣潛能不佳，原因在於盆地沈積物最厚才 3,000 公尺，生油岩未達油窗範圍。局部地區由火山活動增加生油岩成熟尚可考慮其生油潛能。

主要生油岩為白堊紀至古新世的頁岩及碳酸鹽岩，一部份為中新世地層的頁岩。生油岩的成熟度介於過成熟至成熟範圍。最佳的生油岩是上部白堊紀至古新世內之富集度豐富的頁岩及碳酸岩。白堊紀的生油岩在第三紀進入油窗範圍，而第三紀地層在盆地深部地區可達早-中期成熟階段。

多層次的生油岩分佈在中新世-白堊紀地層內，均已達到油窗範圍產出油氣。

志留紀地層含黑色頁岩，有機物富集度高，尤其在北部地區，幾乎都已達到油窗範圍，而在西部地區則為中期至初期成熟階段，油氣生成則在石炭紀至新生代時期，油氣靠斷層往上移棲至儲油岩內。上部泥盆紀生油岩型態類似志留紀地層。石炭紀的生油岩以煤層為主，可能產氣，北部地區進入油窗範圍，但在台地區域內可能未成熟。另在北部的上部白堊紀地層亦為重要的生油岩，屬成熟初期至未成熟階段。本區至今並無重要的油氣發現。生油岩雖分佈在古生代及中生代的地層內，且均已進入油窗範圍，但在油氣生成時期，正值構造運動作用，許多油氣無法移棲至封閉構造內而散失。

北非利比亞 Murzug 盆地最重要的儲集岩包括 Memouniat 砂岩、奧陶紀 Haouaz 砂岩、志留紀 Tempestite 砂岩以及泥盆紀 Aouinet Ouenine 砂岩，其中以 Memouniat 砂岩最為重要。

Memouniat 砂岩係由冰川環境以及濁流環境造成極佳之儲集岩，但向上變粗的濱面沉積物亦極具潛能。此儲集岩之性質，不僅受沉積環境所控制，也受原始組成、組織特性以及壓密作用等成岩作用所控制。而岩相、埋藏深度、膠結作用以及油氣充填的時間都會影響其儲集性質。

利比亞 Sirte 盆地自前寒武紀含裂縫基盤岩層到中新世地層的砂岩幾乎每一時期的地層都有儲集岩，前寒武紀基盤裂縫在某些高區內是良好的儲油岩。寒武-奧陶紀石英砂岩裂縫亦含油氣，如 Bahi、Beda、Ora 及 Amal 等地區。

利比亞 Ghadames 盆地之儲集岩以古生代地層為主，中生代地層則以盆地北部為主，以三疊紀蒸發岩為蓋層，並向盆地北緣潛能漸增。

利比亞 Kufra 盆地之儲集岩雖有許多層次可作為目標，但缺乏蓋岩作為密封岩層，因此探勘地層還是以古生代地層為主。

利比亞 Pelagian 盆地之儲集岩存在於漸新世至白堊紀地層內，以碳酸岩為主，除原生孔隙外，成岩作用產生之次生孔隙，亦可提升儲集能力。

利比亞 Cyrenaica 盆地，在侏儸紀時期，南部地區形成凹谷地形，白堊紀早期的沉積物堆積在此，而北部則在白堊紀末期形成凹陷谷地後才開始有沉積物供應，但因缺乏封閉構造及良好蓋岩，本區尚無良好之儲集岩。

利比亞尚有未發現的油源，這些油源有賴於地質與地物更有效技術探勘，如 3D 震測能夠更進一步的確認有效封閉情形與地層的控制。大部分未發現油源可能在生產盆地之遼闊而較深的地方有六個盆地值得去注意：Ajdabiya 地槽之南方、Zallah 地槽南方至 Sirte 盆地的地槽、Maradah 盆地中央、Murzuq 盆地中央、Ghadamis 盆地中央及西方的 Tripolitania 盆地之遠濱東部。

利比亞為石油大國，是近 40 年內發展起來的。在荒涼不毛之地的沙漠地下發現了豐富的油藏並積極加以開發，這促使新興的石油工業迅速掘起，並有力也牽動著國民經濟的發展，從而改變了經濟面貌，使利比亞成為一個高收入的石油輸出國。其油氣工業發展有幾項特點：

- (1) 石油資源儲量大，油田分佈集中而且產油接近海岸。利比亞石油雖經大量開採但因不斷有新油田補充，其証實儲量始終保持在 30

億噸右，約佔非洲証實總量的百分之四十，為非洲其它國家所望塵莫及，因而其資源潛力最大。已探得之含油構造主要集中在靠近地中海的錫爾特盆地，少量位於西部的西姆拉盆地。現正加強近海石油資源探勘，有可能取得新的突破。

(2) 廣泛引進外資和技術，高速發展石油工業。

利比亞吸收波斯灣產油國石油工業高度集中於獨立外國公司經營的教訓，實行優惠的石油政策，廣泛吸引外國資金和技術，把特許開採權分散給更多的外國石油財團，致使在利比亞經營石油企業的外國油公司最多時 45 家。他們拼命增產石油，使產量急劇上升，據統計自 1961 年利比亞開採第一口油井以來，只花了 9 年時間就把產量提高到了約 1.6 億噸的水準，一下子上升成為世界第六大產油國，較之其他國家(前蘇聯 99 年、美國 79 年、伊朗 58 年、沙烏地 33 年)要早很多。

(3) 以出口創匯為中心，全方位發展原油貿易。利比亞石油產量高於國內石油消費量的五倍，其所產原油 95% 以上出口，故石油出口貿易與石油生產幾乎同步成長。利比亞除了簽訂長期的石油貿易協定外，還採取以石油支付進口商品，債務的易貨方式，以及原油在國外代煉的方式。後者是將原油送往意大利、希臘、比利時煉製，產品大多在外銷售，極小部份運回國內，這也增加了油生產。

(4) 堅持原油限產高價政策。利比亞在反對跨國石油公司的掠奪中曾率先開展提高原油價格的鬥爭，並在石油輸出國組織為維護石油主權所展開的諸如參股和國有化等佔有領先的地位。自此以後，利比亞積極保護石油資源，奉行限產高價政策，即少生產，多收益政策。

由利比亞油氣產狀與地球化學特性分析，研究結果發現利比亞油氣田大多以產油為主，少部分生產天然氣，油田部係則以原油、揮發性原油及凝結油為主，氣體部分則以天然氣為主，部分地區含有處理過液態天然氣，其產狀分別敘述如下：

(1) 油田部分：

a、生產油田礦區分別為（括號內為生產層位）：11 Ghani Zenad 礦區（Tertiary Palaeocene， Eocene），11 Jofra 礦區（Palaeocene, Ordovician），12 Amal 礦區（Late Cretaceous），13 礦區Tibisti（Palaeocene），82 礦區（Early Cretaceous），96 As Sarah（Ordovician），96 礦區Jakhira（Ordovician），97 礦區（Late Cretaceous， Early Cretaceous），102 礦區Nafoora Augila（Oligocene， Eocene， Palaeocene， Late Cretaceous， Ordovician， Pre-Cambrian），103 Intisa 礦區（Tertiary Palaeocene， Eocene），137 Al Jurf 礦區（Tertiary Eocene），47 礦區（Silurian， Middle Devonian），Mabruk 礦區（Palaeocene，Late Cretaceous），NC41 礦區（Bouri Eocene），NC100 礦區（Silurian），NC101 礦區（Ordovician），NC118礦區（Ordovician），NC163 Shatira 礦區（Eocene，Palaeocene），NC174 Elephant 礦區（Ordovician），NC190 礦區（Devonian），NC205 礦區（Eocene，Late Cretaceous）NOC operated Field礦區，Waha 礦區（Eocene，Palaeocene，Late Cretaceous），NC74 礦區（Eocene，Palaeocene，Late Cretaceous）。

b、生產揮發性原油礦區分別為（括號內為生產層位）：100AB Bu Attifel 礦區（Early Cretaceous），72 礦區（Palaeocene，Late Cretaceous），NC177 En Naga 礦區（Eocene，Palaeocene），NC29 礦區（Palaeocene），NC40A 礦區（Ordovician），NC74 礦區（Eocene，Palaeocene，Late Cretaceous），NC115 El Sharara 礦區（Ordovician），NC151 Atshan 礦區（Early Carboniferous），NC174 Elephant 礦區（Ordovician），NC 186 礦區（Ordovician）。

c、生產凝結油礦區分別為（括號內為生產地層）：100AB Bu Attifel 礦區（Early Cretaceous），72 礦區（Palaeocene，Late Cretaceous），NC 100 礦區（Silurian）。 .

(2) 氣田部分：

生產天然氣礦區分別為（括號內為生產地層）：72 礦區（Palaeocene，Late Cretaceous），96As Sarah 礦區（Ordovician），97 礦區（Late Cretaceous，Early Cretaceous），NC100 礦區（Silurian），NC118 礦區（Ordovician），NC151 Atshan 礦區（Early Cretaceous），NC190 礦區（Devonian），NC201 與 NC202 礦區（Late Cretaceous），NC206 礦區（Palaeocene），NC210 礦區（Middle Devonian，Early Devonian），NOC Operated 礦區，Waha 礦區（Early Cretaceous）及 WLGP 礦區（Eocene）。

（3）油田剩餘儲量：

超過100 mmbbl 的礦區有10AB Bu Attifel，11 Ghani Zenad，12Amal，96 As Sarah，137 Al Jurf，Mabruk，NC41 Bouri，NC100，NC115 El Sharara，NC174 Elephant，NC186，NOC operated Field 及 Waha 等礦區，其中 Waha 礦區剩餘產量達2872 mmbbl，NOC operated Field 礦區剩餘產量達6622 mmbbl.。

（4）天然氣剩餘產量：

天然氣剩有儲量超過100Bcf Gas 礦區有：72 礦區，97 礦區，NC100 礦區，NC151 Atshan 礦區，NC190 礦區，NC201/NC202 礦區，NC206 礦區，NC210 礦區，NOC Operated fields 礦區，Waha 礦區，及 WLGP 礦區，其中 NOC Operated fields 礦區含有12409 bcf Sales Gas，WLGP 礦區有8009 bcf sales Gas。

四、區域性石油系統分析

研究區域附近區域性石油系統可分：

（一）、北非古生代石油系統

北非地台最重要的古生代油源的石油積聚位在阿爾及利亞和利比亞西部。在這大區域內有一種變化，大不整合型式的油氣生產之石油系統，儲集在古生界內和三疊系基底砂岩，被古生界的頁岩或三疊紀晚期－侏羅紀早期的蒸發岩所封閉之。

1、志留系下部和泥盆紀上部生油岩的分佈：

雖然在奧陶系與泥盆系中部的頁岩些許有限的生油潛能，Tanezzuft 和Frasnian 瀝青質的泥岩是北非地台古生代最重要的生油岩，兩者都廣佈在地台上，身處於汜濫事件及其所在位置，也就是保存在古生代地盾內的窪地，窪地是溫和海西變形作用的產物。

2、古生界內和三疊系底部的河流相砂岩儲集層：

砂岩儲集層遍及古生界，而其特性不同依據岩相、年代和成岩作用。三疊系底部儲集層是最好的，它們發育在阿爾及利亞和西利比亞的三疊紀盆地，它上覆在海西不整合面之上。

3、古生界內和三疊系的蓋岩：

區域性的頁岩遍及古生代的地層序。Tanezzuft 和中泥盆系是這些之中最重要的，它封閉了寒武系－奧陶系和泥盆系下部儲集的石油系統。他們被圈在古生代地盾內的窪地，部份地被侵蝕而允許移棲到更低或更高的儲集層，三疊紀－侏羅紀早期的蒸發岩地層序提供了三疊紀底部的儲集系統之初始的封存，局限在撒哈拉地台北部的三疊紀盆地向南漸漸變成碎屑岩相。

4、從Tanezzuft 和Frasnian 生油岩油氣產生和成熟之沉積中心：

在海西抬升與侵蝕作用之前古生界朝南朝西局部增厚，Tanezzuft 和Frasnian 頁岩在原地獲高成熟，源自增加蓋岩層和海西火成活動有關的熱流，大量的油氣在這時候產生，隨後因海西運動切蝕作用驅散了很多油氣，只有部份的剩餘氣被保存，被發掘的盆地是從沒有被深埋過才能重新產生，大部份的北非西半部不預期是這樣的結果。

事實上目前所有正在生產的石油系統直接與中生代的下陷盆地（三疊紀盆地）有關。

（1）移棲方向

古生界內和三疊系的砂岩和蓋岩有時促進長距離側向移棲並且消散在緩和變形的盆地，無論如何垂直移棲是局部延著盆地內構造軸和白堊系再活動造成的反彈高區。

（2）油氣圈困處

在撒哈拉地台不同的時代有各種圈合形成。在海西變形期間從

Ahnet 盆地的拱穹緊褶皺和Hassi Messaoud 和Hassi R' Mel 寬丘到高起伏的橫推斷層構造，和Ghadames 和Oued Mya 盆地之微微的起伏圈合，而它是因澳地利變形作用造成的。

(3) 後期消散作用

第三紀中晚期板塊邊緣造山運動是撒哈拉地台之抬升與局部侵蝕的因子，尤其是南邊的壓緊和切蝕作用使得天水侵入，加強了水流穿過古生界內和三疊系的水層，成熟的油氣受到後階段事件的影響，部份、偶爾全部經借由溢出、再移棲和湧流而消散。

(二)、北非中生代至新生代石油系統

中生界到第三系早期充注系統合併著三疊系-侏羅系的頁岩和蒸發岩的封閉系統，位於撒哈拉地台北緣之中生界的下陷或Triassic 盆地屬之，它囊括了全部已發現蘊藏量78%，超過了56%是在Hassi R' Mel 和Hassi Messoud 油氣田。中生代和新生代早期充注系統合併著古生界內之頁岩的封閉系統，位於Triassic 盆地之南部和東部的眾盆地屬之，全部已發現蘊藏量18%大都在Illizi 盆地。現今殘存的古生界充注系統合併著古生界內封閉系統，位於阿爾及利亞東南方和摩洛哥的眾盆地屬之，它們只佔了已發現蘊藏的3%。

- 1、中生界到第三系早期充注系統合併著三疊系-侏羅系的頁岩和蒸發岩的封閉系統Ghadames 盆地地形地盾開寬闊古生界的滄地位於Hassi Touareg 構造軸東方・Talemzane 拱穹的南方，它是向北之傾斜，不整合於厚層中生代碎屑岩石灰岩蒸發岩楔形体之下，它提供了儲集層和蓋岩。現代技術提高了它的潛能，大多數集中在盆地中央及東北部，通常是微微起伏的構造。雖然不可能以地區分出它油氣家族，由盆地層序結構暗示有兩種石油系統，它們由Tanezzuft 和Frasnian 生油岩供應之。它們地下露頭海西不整合面達西部和北部，注入三疊紀基底砂岩，該砂岩在三疊系上部侏羅系下部的頁岩和蒸發岩之下。頁岩質基底三疊紀岩相限制了Tanezzuft 在西北部的影響力，分離了Tanezzuft-生油岩和Triassic-儲集層的系統達東北部和盆地中央部份的Frasnian-Triassic 系統。地區性的傾白在不整合面水平線激起了長距離側向移棲穿越了三疊紀基

底砂岩朝南朝東而去，然而蓋層的岩相漸變為陸相的碎屑沈積，並且兩個系統被水沖而達地表消散。

(1) Tanezzuft-Triassic 石油系統

Ghadames 地區的Tanezzuft-Triassic 頁岩厚度最少200 m 到超過500 m，蓋在Ahara 拱穹厚度變薄了並且向東北方也變薄了，初始最富集的間段是基底30 m 的單位，它含有多到17% 有机富集度、第一、二型的油母質。雖古生代沈積中心的最深部份目前是非常成熟，不幸的是曾提供了很多給三疊紀石油系統因為intervening 泥盆紀和石炭紀，取代這種借由下方不整合面而注入，直接從頁岩穿過志留紀上部—泥盆紀下部和寒武紀—奧陶紀砂岩借由斷層知裂隙之旁邊和垂直方向。驅動尖峰估計發生在白堊系晚期和第三紀早期。三疊系底部碎屑單位是一個廣泛的砂層，在西北部缺失，朝南和朝東增厚達100 m 以上。孔隙率17-20%，滲透率100-450 mD，它形成非常好的傳導而且注入後激起側向移棲，朝南移棲 50 km 偶而達100 km。在不整合面的高度非常平坦，油氣移棲 時有較少的擾動。El Borma 油氣田是個例外因為它的位置在高點。儲集量小的困油處位於古生界之上的凹地，這種困油處 敏感於第三系中 - 晚期的緊壓，該緊壓伴生者Djeffara-Nefusa 拱穹形成，在這裏可以找到油苗氣苗。暗示著已經存在儲聚可能已經流出一些或全部在抬升作用之際。這種石油系統儲集量750 MMBOE，而其中700 MMBOE 在El Borma 油氣田。

(2) Frasnian/Triassic 石油系統

Frasnian 生油岩厚度由25-100 m 左右，地層側向變化表現得與Tanezzuft 相似，有机富集度8-14%，油母質第一、二類型存在於基底段呈放射狀分佈且質量向北增加。油氣移棲與Tanezzuft 雷同，因為具有比較高的孔隙率油氣充注作用比Tanezzuft-Triassic 系統更有效。一系列向東南展開從Hassi Touareg 構造軸橫越盆地中央部份的斷層促進垂直移棲穿過石炭系直接進入三疊系困油處，該區出現兩種三疊系河道砂，基底的TAGI 和上覆的TAGS 儲集層，當在Tanezzuft-Triassic 石油系統中它們被激起朝東南長距離側向移棲，該石油系統大部份大型油氣聚積發生在低起伏的困油處，這表示借由三疊系砂岩微微擾亂

而濃縮之，置於不整合面之上的區域性的構造起伏是非常溫和的，它們將會減低油氣向東南擴一散，不像Tanezzuft-Triassic 石油系統，Frasnian 生油岩之聚積大都沒有被第三紀中-晚期的緊壓作用影響，保持它們困油處完整性迄現今。該石油系統是富產的將近有2250 MMBOE，將有更多被發掘的概率。

2、中生代和新生代早期充注系統合併著古生界內之頁岩的封閉系統

(1) Illizi 盆地

Illizi 盆地具有8 個油氣田超過250 MMBOE 和總儲集量約7BBOE。Tanezzuft 和Frasnian 生油岩兩者都被保存，充注於河流相、沼澤相、淺海相的砂岩，砂岩的地質年代可以從寒武紀-奧陶紀到白堊系，互層的頁岩提供了封閉的多變效果，這裏只有溫和的變形並且直直又連續的地層適合長距離移棲。這個盆地有個簡單的地質史，它在變形的地質事件時期被切斷。古生代期間，厚層地層序聚積在盆地中央，也就是目前盆地的西南部，Tanezzuft 頁岩有很高的成熟度(+1.75 %)，產生了大量的油氣，然後就向東北移棲到達因前盆地的中央部位，因Hercynian 抬升和去頂作用，油氣在此時大量產生也被驅散了，無論如何在Tin Fouye-Tabankoyt 油氣田保留了它。中生代時期Illizi 盆地朝北漸漸下沉，延著Tihemboka 拱穹側翼次盆地中心發育出來到其東北部，侏羅紀和白堊紀早期盆地中心之Tanezzuft 和Frasnian 頁岩變成熟了，首先達北部然後逐漸達南部，油氣在盆地中心生產移棲出去注入地台側邊低起伏的構造圈合，然而構造軸助長長距離移棲延著Tihemboka 拱穹到達南部和西南部，Austrian 變形伴生著抬升作用和Amguid Spur，Hoggar Massif 和Tijemboka Arch 南區的去頂作用，在此時TinFouye-Tabankort 的古生代構造被擠壓而破壞了圈合，而且油氣溢出向南注入Tin Fouye-Tabankort 油氣田。油氣在白堊紀晚期到第三紀早期持續產生，帶著大量的氣從中生代盆地中心向東北移棲。許多較深的儲集岩此時有些氣體湧出，油和氣再移棲達其南部，無論如何破壞現家對大多數的聚積只有一些些到中等的影響。

(2) Hamra 盆地

Hamra Basi 深埋在一個中生代碎屑相、石灰岩和蒸發岩的向北增

厚楔體之下，該盆地只是中等產量，950 MMBOE 儲集在一大堆小的聚積所，它們的生油岩來自Tanezzuft 頁岩，或許少數來自泥盆系上部 Ouenine 地層，驅散油氣高峰期在白堊紀晚期到第三紀早期，充注到各式各樣的砂岩內，砂岩的地質年代從寒武-奧陶紀到第三紀。Nefusa 和Gargaf 拱穹在第三紀的抬升作用對油氣聚積有全然的影響，緊壓、天水入侵和擴散在此時發生，影響到盆地內小油氣田的特質。該區油氣田分成三簇來看，Tanezzuft-Acacus 石油系統：大都在盆地北部，儲集在Acacus 砂岩中，來自泥盆紀下部的油氣，大多數是斷層封閉，這個系統有65 MMBOE 儲集量；Tanezzuft-Devonian 石油系統：油氣儲在泥盆系下部Tandrart 砂岩及少數在志留系、白堊系和第三系，困油處是低起伏的圈合，由垂直移棲和短距離側向移棲穿越過Acacus 砂岩才充注之，石炭紀的Tahaera 砂岩由泥盆系下部的油氣經垂直移棲充注之，還有兩個三疊系的小油氣田是泥盆系上部頁岩的油氣借盆地軸經長距離移棲而充注之，這個系統有將近250 MMBOE 儲集量；Tanezzuft-Lower Devonian 石油系統：在盆地南部的Hamada 油氣田的困油方式是低起伏的聚積，它延著東北-西南向斷層系統而成，泥盆系下部的Tadrart 砂岩是主要的儲集層，經長距離移棲，來自盆地中央部份，這個系統有將近635 MMBOE 儲集量。

(3)Murzuq 盆地

Murzuq 盆地是一個對稱的地盾內的凹陷，它的是因Hoggar、Gargaf 和Tibesti 隆起所束縛形成的，古生界目前圍繞在盆地外圍，在盆地中央古生界以不整合面下伏在三疊系-白堊系之陸源碎屑柏沈積物之下。它朝南變成砂質增厚陸相為主，有一些複合好幾個志留紀-泥盆紀不整合面，它們都降低了封閉些，儲集層被發現在奧陶系的碎屑沈積中，被盆地北翼的Tanezzuft 底層頁岩充注和封閉之。Tanezzuft 底層頁岩是富有機質的TOC 達8%，它朝南、東南變薄，與一個古生界拱穹交錯，它朝北也是朝目前盆地中心變厚。在盆地中央部份白堊紀晚期和第三紀早期Tanezzuft 地層被埋到足夠的深度，成熟度達0.6-0.7%，油氣在這裏產生，朝北移棲穿過奧陶系注入NC101油氣田，奧陶系砂岩儲集岩品質變

化很大，孔隙率高達20%，它由沉積相所管控，Memouiat 地層的冰河相提供了最好的儲集岩，其中有排列成南北向離開之古山谷，它們有效的影響移棲。NC115 油池位於其西北方，它可能由中生代晚期的盆地中心經長距離移棲和由pre-Austrian 聚集朝南，朝東南再移棲兩者充注之。以Austrian 時期低起伏斷層構造困油之，第三紀中晚期盆地邊緣的抬升作用終結了石油系統，這個系統有將近600 MMBOE 儲集量。

3、現今殘存的古生界充注系統合併著古生界內封閉系統曾經相當多產的石油系統或許存在於阿爾及利亞和摩洛哥地盾內西南部和西部的諸多盆地，它們被後期抬升作用和去頂作用而摧毀了，Ahnet-Gourara 凹陷過去當被強烈褶曲而形成很多大的背斜困油處，與那些微變形的 Reggane 和 Tindouf 盆地相比較，它們可能儲集了相當大量的油氣，儲集層仍在，再結合健全的封閉系統，意旨應該會有獨立的系統，再者，受到中生代晚期和第三系的緊壓和油氣的滿溢作用的影響它們豐富的量會走向消滅。在 Ahnet-Gourara 凹陷和 Sbaa 盆地是油氣聚積很小的。Sbaa 盆地是古生界一個小凹陷，軼於 Ougarta 拱穹和 Azzene 高地之間，由 Hercynian 期的抬升和侵蝕，再加突然的被侏羅紀和白堊紀的沈積物填埋之，在第三紀中晚期去頂作用盆地的西半部暴露了古生界於地表。具有高產量的石油系統包含有 Tilrhemt dome、Hassi R' mel 氣田(North Oued Mya 盆地)、HM 油田(El Biod 拱穹)和 EB 油田 (Ghadames 盆地)、TF/T 油氣田(Illizi 盆地)和 Gourara-Ahnet 盆地；中到低產量石油系統包含有 Sbaa、Hamra、Murzuq 盆地；很少到不生產的地區有 Essaouira、Doukkala、Rharb、Tindouf、Bechar、Reggane 和 Kufrah 諸盆地。

五、利比亞 Murzuq 盆地其盆地分析及石油系統

本盆地位於利比亞西南部地區，與 Ghadames 盆地隔著 Qargaf 穹起相鄰，沈積環境亦與 Ghadames 盆地相似，原是古生代時期北非洲內陸凹陷盆地之一，亦受到三段時期的造山運動所影響。沈積始於寒武紀，初為陸相礫岩，及至奧陶紀盆地更形發育，沈積海相英砂岩，此層為盆地內主要之儲油岩。至志留紀時期，沈積環境轉為深海相頁

岩。志留紀末期，因加里東造山運動地殼漸漸隆起，海水變淺，沈積著淺海相之頁岩及海退期的砂岩，此層頁岩為盆地的主要生油岩。石炭紀~二疊紀時海西寧造山運動，海水更淺，沈積淺海相及陸相之砂、頁岩及部份的石灰岩。二疊紀以上地層則以近海相及陸相的河川、湖泊等沈積為主。盆地的生油岩為奧陶紀、志留紀、泥盆紀及石炭紀地層之海相頁岩，以產油為主：志留紀以前的生油岩在石炭紀晚期或二疊紀早期達油窗範圍，主要油氣生成時間為白堊紀早期，而志留紀以後的生油岩則於白堊紀以後，方生成油氣。油氣由盆地中心向四周移棲，移棲距離約 150-200 公里，移棲的主要通道為奧陶紀與泥盆紀砂岩層和各種不同斷層，油成熟度為成熟至過成熟。地溫梯度在盆地中間部份並不高，約 $2-3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，向西北方向增加，可大於 $5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，且轉變為以產氣為主：原油比重亦有相應變化，在地溫梯度較低地區生產較重質原油 ($32^{\circ}-42^{\circ}\text{API}$)，而地溫梯度較高地區生產輕質原油 ($40^{\circ}-50^{\circ}\text{API}$)。一般認為盆地西北部的生油潛能較東南部地區為佳。上部奧陶紀的頁岩為可能生油岩，TOC 值在 0.8 至 1.5% 之間，層序不連續，岩相側向變化大，厚度及生油潛能往西北方的古斜坡下坡方向變佳。油氣約在古生代晚期及中生代生成，於盆地中心達過成熟，而於盆地北部及西北部地區為成熟階段。志留紀地層在盆地東西兩側出露，厚度約 600-700 公尺，最大厚度發生於盆地中西部的沉積中心。於 A1-76 井，志留紀地層底部深度約 2900 公尺，下部志留紀的 Tanezzuft 地層之厚度為 675 公尺；地層向東向北迅速減薄，至東北方的 C1-NC58 與 D1-NC58 厚度分別為 190 及 120 公尺。Tanezzuft 之頁岩為盆地最重要的生油岩，幾乎所有油氣皆於此發現，油母質屬於產油的不定型 (amorphous)。Tanezzuft 生油岩 TOC 值變異甚大，於 E1-NC58 井可達 4.9-8.4%，顯示於 E1-NC58 井與 NC115 礦區之間生油潛能極佳；於盆地中部，TOC 值約 2-3%，盆地南部及東南部，可能因砂岩比例增高及受到侵蝕等因素影響，生油潛能降低至零：於南部的 H1-NC58 井發現 390 公尺的砂層及粉砂層。油氣生成於中生代至第三紀，主要是白堊紀早期，並以盆地最深的地區做為生油中心，沿西北及東南方向往外移棲；根據現有油田資料，亦證明盆地北部及西北部之油氣由此而來。生油岩為成熟至過成熟。泥盆紀的 Ouan-Kasa 與 Emghaet 地層，於盆地各處厚度均一，頁岩之 TOC 值在 1.84 至 3.54%

之間，而於盆地西側亦有 1.66%，被認為是極具潛力的生油岩層。生油岩在三疊紀晚期方成熟，油氣生成時間為白堊紀晚期至第三紀，成熟度為成熟至過成熟。下部石炭紀的 Mara 地層，為海相一三角洲沉積，頁岩 TOC 值約 0.4-2%，油氣亦自白堊紀晚期方開始生成，Ro 值約 0.5%，部份地區亦有較高的 1.10-1.39%出現，為成熟至過成熟。盆地生油岩以古生代志留紀、泥盆紀、石炭紀地層頁岩為主，油氣移棲由盆地生油中心向四周移動。而油氣生成從石炭紀晚期至侏羅紀期，油成熟度介於過成熟至成熟期。生成的油氣沿不同的斷層從生油岩移棲至儲油岩內。儲油岩亦集中在古生代地層內，尤其是以奧陶紀儲油砂岩及其含裂隙者為主，而上部泥盆紀及下部石炭紀砂岩亦為良好的儲油岩。封閉構造中除造山運動所形成古生代地層之隆起高區外，有些與地層封閉共同出現，而地層封閉潛能則以泥盆紀碎屑砂岩尖滅於加里東所形成之不整合面。另頁岩尖滅及橫側方向之岩相變化亦為另一種型態之地層封閉。

(1)生油岩分析

由過去 Occidental、Braspetro 及 Bulgarian 油公司等所鑽之 A1-NC34、A1-NC58、C1-NC58、D1-NC58、E1-NC58、H1-NC58、E1-NC101、F1-NC101 井下總有機碳含量 TOC 及熱裂分析結果，可探討各層生油岩潛能：

■奧陶紀 Melez chograne 層

Murzuq 盆地最老之生油岩地層為晚奧陶紀 Melez chograne 層頁岩。在 A1-NC34 鑽探結果本段具 good 至 very good 級生油岩 (Geochem Labs 1995)；另外由 E1-NC58 井該段 TOC 值介於 0.34%至 0.52%間，D1-NC58 井則超過 1%，盆地內本段相當豐富有機碳富集度之頁岩最厚可達 50M，為冷溫海相之頁岩，向北及向西增厚，往南則變為河流相。若與北邊 Ghadames 盆地同樣生油岩相比較其油氣在中生代晚期至第三紀早期生成，沿著 Murzuq 及 Ghadames 盆地東側移棲進入油氣封閉構造。

■志留紀 Tanezzuft 層及 Acaus 層

在 Murzuq 盆地存在著志留系下部之生油岩，該生油岩在西撒哈拉 (western sahara) 之中西部阿爾及利亞 (Algeria) 及摩洛哥 (morocco) 屬較低成熟生油岩，但在 Murzuq 盆地則因沉積相變化大，有較佳生油岩之存在，如 A1-68 井熱裂分析 S_2 值有 8mg/g，在 E1-NC58 井則達到 29-32 mg/g。

盆地內 Llandoveryian 之 Tanezzuft 層，含有富含筆石沉積之連續頁岩沉積，其中含 fair 級至 very good 級生油岩，由於厚度極厚，不可忽視其生油潛能。

Tanezzuft 層沉積在高緯度地帶，當 Ashgillian 冰帽融解，造成淺海及三角洲前緣之沉積，其分佈及生油岩品質在本盆地內之 Murzuq-Djado 及 Dor-el-Gussa 兩個次盆地有所變化，而分隔兩次盆地之古高地區則生油潛能較差。但盆地內 Acaus 層之頁岩被認為可能如 Tanezzuft 層同具生油潛能。

■ 泥盆及石炭紀之生油岩

Murzuq 盆地之上部泥盆紀亦發展有良好之生油岩，特別是在 Strunian /Tournaisian 時期。局部富含生油潛能之生油岩需配合較高之熱成熟，方能產生較大量油氣。至於盆地內最上部泥盆紀及石炭紀中及下部地層富含頁岩，亦可見 fair 至 good 之生油岩，TOC 值可達 3.5%，熱裂分析 S_2 可達 6mg/g，可對比至 Ghadames 盆地已證實上部泥盆紀 (Frasnian) 之生油岩。

Emsian Ouan Kasa 層及中部～上部泥盆系 Aouinet Quenine 層之頁岩一般較 Tanezzuft 層為薄，但厚度已足夠成為生油岩。Ouan Kasa 層厚達 25m 生油岩為盆地西側及西北側海相及三角洲沉積，於盆地南側及東側則轉為陸相，較缺乏本層之成油岩。

從 A1-NC34 最上部泥盆系 shati 層中分析，有良好生油岩 TOC 高達 3.2%，主要為草本型油母質，另有 4.6% 者，主要為生油岩之 amorphous 油母質，由於盆地內泥盆紀及石炭紀之生油岩富含陸生植物物質，以產氣為主，但 shati 層則具良好產油之生油岩潛能。Murzuq

盆地部份地區，上部泥盆系已進入油窗，並有產油之生油岩存在。

Murzuq 盆地內包含 A1-NC34 井下之傾向紅色頁岩夾暗青色頁岩其為 good 級~very good 級生油岩屬 Memouniat 層(Melez Chograne 相)，通常其生油岩厚度超過 3m (Geochem Cabs 1995)。該暗青色頁岩含超過 3.1%草本型及木型有機碳，雖然不定型 (amorphous) 油母質較少，但仍為富含有機質頁岩，沉積在冰河外緣環境之海相地層。

在 A1-NC34 井薄而粉砂質 Tanezzuft 頁岩為普通級具分散有機物 (夾木型及煤型物質之草本型油母質)。有機碳含量可達 2.5%，但大部份皆小於 1%，該井位於兩盆地間之高脊，頁岩特性較差。Berry and Boucot (1973)認為此類高緯度頁岩在北非地區常見，較缺乏生物性資源，但 Massa and Jaeger(1971)在 Ghadames 盆地所發現盆地內富含有機物之 Tanezzuft 頁岩正好相反，此厚層普通至良好級生油岩在盆地西側發育較東側為佳。

至於下部及中部泥盆紀地層之頁岩 (Wan Kasa 及 Wanin 層) 較 Tanezzuft 層為薄，但一般被認為已足夠成為生油岩。Wan Kasa 層具生油岩潛能頁岩最厚達 13m，在盆地西部及西北部屬海相及三角洲相沉積。這些地層在盆地內包含 A1-NC34 皆受到侵蝕，且在盆地南側及東側受陸相沉積影響，頁岩發展更差。

盆地內普遍存在上部泥盆紀及下部、中部石炭紀頁岩，在 A1-NC34 井內鑽遇 Shati 及 Murar 層下部良好級至非常良好級生油岩 (TOC 4.6%)，在 Assedjefar 層上部亦發現普通級至良好級生油岩 (TOC 3.2%)，其有機物主要由草本型及木型夾雜孢粉及少數煤型、木質物質，而 Shati 層部份瀉湖沉積亦可保持成為良好生油岩。另外盆地內 A1-NC34 井之西北側將存在更佳之生油岩潛能，在適當之埋壓條件皆可產生大量油氣。

(2)地溫梯度與熱成熟

從井下分析資料得知 Murzuq 盆地地溫梯度介於每公里 25⁰c 至 40⁰c 之間，在盆地範圍內之西北側最高。異常地溫梯度將影響油氣之

成熟及移棲，其異常區域肇因於流體滲移。

盆地內上部奧陶系普通至良好級生油岩其熱成熟主要產氣階段，位於氣窗範圍內，屬成熟晚期至乾氣之階段。

志留系生油岩在 Ghadames 盆地從盆地邊緣產油高峰期(約 0.72% Ro)至沉積中心晚期成熟(1.3% Ro)階段，其盆地志留系及中生代／第三紀年青地層較厚，故可使志留系及泥盆系之地層埋壓較 Murzuq 盆地稍重，但熱成熟結果相仿，由盆地邊緣的較低成熟至產油高峰(0.55~0.72% Ro)至盆地軸部之成熟晚期(1.3% Ro)階段，此可由 A1-NC58 井得到證實。

然而在盆地內泥盆紀之生油岩熱成熟卻變得相當複雜。如 B1-67、A1-67 及 A1-NC58 諸井之泥盆紀生油岩所測得之 Ro 以達 0.92% 以上，有些更高於 1.3%；但 A1-NC34、D1-NC58、H1-NC58 等井泥盆紀生油岩成熟度僅達 0.49%~0.64%。故泥盆紀之生油岩受有機富集度及有機相所控制，在探勘時要特別注意。

至於石炭紀之生油岩，主要點產氣，在 Ghadames 及 Murzuq 兩盆地皆可發現，熱成熟程度往上從產氣高峰至成熟邊緣。A1-NC58 井石炭紀沉積物所測 Ro 為 1.25%~1.3%；但 E1-NC58、H1-NC58 及 A1-NC34 井之石炭紀生油岩僅 0.48%~0.56%，剛要進入油窗；而 Murzuq 盆地之 A1-76 井石炭紀生油岩 Ro 則已達 0.87%。由此看來，本盆地之石炭紀生油岩中產油之油母質正介於適宜之油氣範圍內，而產氣之油母質亦進入產氣之初始階段，皆未達過成熟階段。

(3)油岩對比

由 A1-NC58 井泥盆紀儲集岩及 E1-NC101 井奧陶紀儲集岩之油氣可與 E1-NC101 及 F1-NC101 井下志留紀生油岩良好對比，故可證實從志留紀生油岩同時移棲至奧陶紀較老岩層及泥盆紀較年青地層之移棲路徑。

在 Illizi 盆地氣相層析顯示下部志留系生油岩與儲集岩有良好的對比。Hamyouni(1984)研究指出在西利比亞地區油氣聚集許多來自

志留紀及上部泥盆紀生油岩所產生油氣的混合。

在 Ghadames 盆地北側，E1-66 井之油與附近 Tigi 油田 B1-23 井上部奧陶紀生油岩有很好的對比。

在本盆地油氣可歸納出四種類型：

- 來自奧陶紀生油岩的油，如 E1-66 井。
- 底部志留紀生油岩產生的油，如 Q1-23 井。
- 下部泥盆紀儲集岩所封閉的油，如 P6-32 井，為底部志留紀及上部泥盆紀兩種來源混合油。
- 上部泥盆紀 / 下部石炭紀生油岩形成的油，如 H-26, B2-2 及 F-90 井。

(4)油油對比

Geochem Labs 實驗室 1995 年曾分析 Lasmo 之 A1-NC174 井與鄰近周圍井之油氣對比。A1-NC174 井 33°API 之油與 B12-NC115 井 BB family 可對比，而不同於 NC115 及 B12-NC115 之 B family 的油。

(5)盆地模擬

據 Nubian Consulting (2004)指出，盆地模擬可顯示底部志留系頁岩在中侏羅紀至早第三紀，特別從井下岩樣分析在白堊紀（Pre Austrian）時期進入主要產油階段。

利比亞境內的開放礦區，已逐漸函蓋了各盆地包括 Murzuq 盆地、Sirte 盆地、Ghamades 盆地以及 Kufra 盆地，就 Murzuq 盆地而言，數條重要地質剖面跨躍此盆地，不同盆地模式逐漸被提出，就 Murzuq 盆地的石油系統分析，根據(1)志留紀生油岩中心，(2)志留紀最佳生油岩及其成熟度，(3)志留紀 Tanezzuft 頁岩蓋層的範圍，(4)已發現碳氫化石物聚集的區域，(5)古代天水破壞的參數，包括盆地邊緣的傾斜、區域性的構造傾斜、以及近期淡水的沖刷使得塩度降

低等，來分類 Murzuq 盆地的石油系統。大體上分爲

西北 (Atshan) 石油系統 I

中南 (Murzuq) 石油系統 II

西南 (Ghate) 石油系統 III

其中兩個至目前已逐漸耗竭，西北的油系統 I 是最重要的產油區，包括 El Sharara 及大象礦區，由盆地的演化分析而言，這個石油系統位於 Gargaf 隆起的西北側，其盆地特性類似於 Ghadames 盆地，而不是 Murzuq 盆地的特性。

中南部的石油系統 II，志留紀的地層塩度已降低至 1000ppm 左右，在此系統的西北部位，可能因天水淡水的入侵可能僅剩下重油。這個石油系統最能代表廣大的 Murzuq 盆地的沉積地層特性。但就盆地演化的觀點，仍然有些複雜性，就盆地演化分析，目前的低區，在海西寧運動不合面時，曾經是構造高區，其志留系的地層很薄，甚至於缺失，這一點對我們經營的礦區是很不利的。在東西方向地質剖面 BB' 及 CC' 最能表現這種特性，在 AA' 地質剖面不易顯現，就 Murzuq 盆地南北方向 AA' 的各時代之古構造，其中三疊系頂部古構造圖非常重要，油氣可能，油氣可能在此時期移聚。

西南的 Ghate 石油系統 III 位於利比 Murzuq 盆地與阿爾及利亞 Illize 盆地交界處，由盆地的演化分析而言，此石油系統類似於 Illize 盆地，而不類似於 Murzuq 之本體盆地。

而在此石油系統 II 的東南方，志留紀又開始增厚，因此這個部位，仍然可點燃探勘的希望。在 Murzuq 盆地與其 Kufra 交界的 Tibesti-Sirt 隆起，仍有 1.3 億桶石油的發現，其來源可能是奧陶紀深盆的生油岩。嚴格而言，石油系統 II 的志留紀的地層在目前盆地中位置迅速減薄，甚被侵蝕消失。因此在 Murzuq 盆地的東半部油氣志留紀蓋層條件是有問題的。由現有鑽探資料顯示均爲乾井。前面提及 Tibesti 地區仍有 1.3 億桶石油的發現，其生油岩來自於奧陶系。由反剝分析而言，在石油系統 II 的東南部位，是有大規模奧陶紀沉積

盆的出現我們暫時定為石油系統Ⅳ。

就公司礦區的位置而言，往西側應是較有利的考量，其志留紀的蓋層較厚，較能封阻志留紀本身或是來自於其下面或是東西側奧陶系的油氣。也就是愈往礦區之西側，愈接近於志留紀的盆地中心。甚至可能接受石油系統Ⅲ及Ⅳ油氣的供應，尤其是奧陶系的生油岩，礦區恰位於兩奧陶系生油中心的中間，就地質模式而言，在礦區之諸多潛能區之排序，以往西側愈佳，因泥盆及志留往現生盆地中心增厚，Acacus 儲集砂層也較厚。致於 Murzuq 盆地與 Ghadames 盆地之間的演化關係，顯示這兩盆地的石油系統有類似的特性。以泥盆系為蓋層，Acacus 砂岩為儲集層，以志留系及奧陶系—寒武系為生油岩。在 Gargaf 隆起的頂部為泥盆地的被大量侵蝕，似乎很難形成大的油氣田。但在此南側相當於 Gargaf 隆起的高區位置，泥盆系則保留完整，且接受移聚 Murzuq 盆地與 Ghadames 盆地的有機物，大象油田及 El sharara 油田因而形成。

Murzuq 盆地尚未探勘部份達三萬平方公里以上，以往其一主要發現 Elephant 油田及北邊 7 個小的零星油田估計可採蘊藏量即已達 6 億 5 千萬桶以上。

在本盆地，Tanezzuft 頁岩是最重要之生油岩，另盆地中心泥盆紀 Uennin 之含富集有機碳頁岩亦具生油潛能。本區 Tanezzuft 頁岩達 130 米至 530 米，平均 TOC 1.8%，油窗範圍內地層有 2800~3000 米，至目前在產生濕氣之階段。

Memouniat、Acacus 及 Tadrart-Kasa 等層仍為本盆地之主要儲集層，其儲集特性與 Ghadames 盆地相同，在 Murzuq 盆地中心部份這些儲集層埋深約 2000 米至 3500 米。

盆地內分佈廣泛之 Tanezzuft 頁岩提供 Memouniath 層絕佳良好之蓋層，另外 Acacus 層間頁岩亦為良好之蓋層，Uennin 頁岩則為 Tadrart-kasa 儲集層之蓋岩。

本區油氣第一次主要移棲於早期侏羅紀至早期白堊紀，並可藉助

斷層、上傾地層等進行短距側向或垂直移棲儲聚於已形成之構造或封閉上。封閉類型與 Ghadames 盆地相同外，不整合面、地層尖滅、進覆封閉及斷層封閉配合構造封閉皆值得注意。

而在台灣中油公司經營操作之利比亞礦區，本公司進行 1600 公里之二維震測，其施測經研究解釋後，發現多個潛能封閉構造及探勘標的值得進一步鑽探及研究。



照片 1 沙漠施測營區



照片 2 施測工作人員



照片 3 工作營區



照片 4 沙漠測線勘査



照片 5 測點勘査定位



照片 6 測站震測資料收集



照片 7 風化層鑽孔施測作業



照片 8 沙漠施測測線開路



照片 9 沙漠施測震盪震源車隊



照片 10 震盪震源施測參數之一



照片 11 震盪震源施測參數之二



照片 12 震盪震源施測參數之三



照片 13 挖埋受波器作業



照片 14 佈署震測測線作業



照片 15 震測作業之一



照片 16 震測作業之二

六、利比亞 Ghadames 盆地其盆地分析及石油系統

Ghadames 盆地，原是非洲北部幾個古生代內陸古地塊凹陷盆地之一，盆地內構造主要受下列三期造山運動影響：(1)泥盆紀加里東造山運動，(2)石炭紀-二疊紀海西寧造山運動，(3)白堊紀~古新世早期阿爾卑斯造山運動。而加里東造山運動和海西寧造山運動對盆地之影響主要是分別形成東北-西南走向和東西走向的構造。阿爾卑斯造山運動則使盆地抬昇出露海水面，使盆地內缺少古新世中期至更新世時期之沈積地層。奧陶紀中-上部地層內頁岩為良好的生油岩，屬過成熟之生油岩，可能以產氣為主。志留紀地層中黑色頁岩厚度極厚且分佈廣闊，集中在盆地中心，向南部及東部岩性漸變為粉砂岩，可能減少生油能力。志留紀生油岩成熟度介於極成熟到過成熟階段，一般相信為盆地內油氣之主要來源。泥盆紀上部地層亦存在良好的生油頁岩及碳酸岩，其成熟度亦不錯。三疊紀之頁岩在北部亦具有生油潛能，唯可能屬未成熟至成熟前之生油岩。

油氣產自寒武一泥盆系，上部 Gothlandian 一下部石炭系和上部二疊系-下部三疊系砂岩。Ghadames 盆地的原油比重介於 33。AP1~39。AP1 之間蠟質含量低，志留紀 Gothlandian 黑色頁岩是主要的生油岩。

Gothlandian(Llandovery)Tanezzuft 頁岩層是封閉環境較深水海相沈積，含腐泥型產油有機質，為灰色頁岩，部份為粉砂、含砂岩薄層，厚度 400 公尺，下部為較好生油岩，埋藏深度 3,000-4,000 公尺，愈南埋藏愈深，地溫梯度 23.5。C/km。

主要生油岩 Tanezzuft 頁岩除了在 Ghadames 盆地北部邊緣受海西期造山運動(Hercynian Orogenic Movement)抬升而被侵蝕外，在盆地大部份地區都有分佈且甚厚。

Husky 公司曾以佳德美斯盆地 NC-162 礦區內各井地溫梯度計算 Tanezzuft 頁岩之溫度，劃出此生油岩分佈圖，礦區內 B1-26 和 01-26 兩井的 TT1 模型顯示該處 Tanezzuft 頁岩於白堊紀中期進入產油初期階段，可生成少量未成熟原油，隨即進入主生油期，可生成大量成

熟原油，白堊紀末期以後，因地層不再埋深，成熟度不再快速增加，因此大部份生油岩保持於主生油期至今，而埋藏較深處則漸漸進入晚生油期，產生原油及天然氣。根據盆地內產油構造顯示，原油自生油岩移棲到儲油岩的主要通道是古生代斷層，若斷層近到中生代，則原油有可能順著斷層面漏失，另志留紀的下部 Acacus 砂岩為主要儲油岩之一，直接覆蓋在 Tanezzuft 頁岩上，其原油研判是由 Tanezzuft 頁岩垂直直接移棲進入儲油岩內。中部 Acacus 頁岩可為良好蓋層，另外 Gothlandian 下部泥盆系的 Acacus 層亦為主要生油岩，是淺水沈積環境，含腐泥型產油有機質和混合型有機質，為黑色有機質頁岩夾砂層，在泥盆系中轉變成中粒砂岩，其中夾有植物殘骸。本層覆蓋在整個撒哈拉地台，厚度達 300 公尺，下部為較好生油岩，埋藏深度 3,000-4,000 公尺，愈往南埋藏愈深，地溫梯度為 23.5。C/km。

Ghadames 盆地陸續發現近十個中、小型油田，油田分佈集中在盆地的南部與西北部區域，盆地中最大油田為東南邊之 ELHAMRA 油田，油氣產自泥盆紀下部砂岩層。盆地生油岩沈積以志留紀頁岩為主，在盆地中心屬過成熟-成熟階段沿上傾地層及斷層通道移棲進入儲集層內，移棲方向大體沿東南及西北向進行。儲油岩以古生代地層為主，在盆地多數地區皆有生產，而中生代地層則以盆地北部為主，以三疊紀蒸發岩為蓋層，並向盆地北邊潛能漸增。構造封閉為多數油田之封閉型態，向盆地邊緣地區則地層封閉型態漸增加，亦為探勘重點。

Ghadames 盆地含括了 200,000 平方公里的面積，它位於利比亞的西北部，盆地的北部與南部與以兩種構造為邊界，它們都與古早非洲，佳里冬，海西寧及後期海西寧之構造運動事件有關。北緣是 Tatahouine-Nefusa arch 向西延伸進入突尼西亞，它的位態與深凹的 Jeffara 斷層帶大致相同。它被定義為北緣，南緣是 Zegher-Qarqaf 軸，它分隔了 Ghadames 盆地與 Murzuk 盆地，東緣是地塹型式的斷層隔開了 Sirte 盆地的沉積地區，只有西邊沒有明顯的構造隔間，Ghadames 盆地的沉積序沒有被擾亂持續地進入到突尼西亞南部及阿爾及利亞東部的 Illizi 與 Saharan 之三疊紀盆地。

探勘這裡起源於 1955 年的通過石油法，打開利比亞領土的國際石油公司的探勘，從 1957 年開始鑽進第一口野貓井，兩年後第一次發現具商業價值的井，雖然 1960 年代完成了數百口的也貓井的鑽探，獲得數千公里的震測資料，主要的石油公司經過油氣評估後都非常喜愛之。1969 年利比亞革命到來及 Sirte 盆地的石油潛能開發及快速發展，造成 Ghadames 盆地的探勘緩慢向下及焦點遠離的情況發生，在 1980 年代又再一次被提起而許多的國際的公司是不再積極的在利比亞，地質學的和地球物理學的評價變成國際石油公司的任務，雖然某些非利比亞的探勘者（諸如 Boco- Rompetrol - 和 Braspetro -）也參加進行，在修訂過的許可正安排下，各大油公司仍然繼續對該區域極度關注。

Ghadames 盆地的地質系列是被一套古生代岩石支配，這套岩石的總厚度 3000-3500 公尺，它是有順序的，出現在盆地中心，盆地中心位於盆地的中西部距盆地邊緣有 2000m 遠，迅速的厚度減少出現在兩個陡峭的軸心附近地區。古生代後期的沉積序雖然常常出露於地表面，包括了利比亞西半部的大範圍，（早白堊紀 Nubian Sandstones 為例），在此無法形成重要石油潛能標的，中生界的岩層相當薄，亦以陸相沉積為主。

Ghadames 盆地的未來展望是與生油岩、儲集岩、埋藏深度及發生移棲及困油的時間息息相關的，該盆地地盾內的成岩作用意味著構造運動各種事件都與主要的造山運動有關聯，形成了頻繁的不整合面，它使得地層柱更複雜化，這段期間侵時作用或沒有沉積。全區從北到南都海相與陸相交互影響著沉積相從盆地的這邊到那一邊。

盆地原始的生油岩單位是由含有機質豐富的頁岩 Tanezzuft 層和 Acacus 層形成，它們相當於志留系，志留系大約有 500-1000m 地層厚度，特別有貢獻是位於盆地南半部的 Aouinet Ouenine Group，它相當於泥盆紀中到晚期，雖然全區的頁岩厚度都比志留系少，也有一些貢獻被認為是來自白堊系的基底段 Mrar Formation，雖然這頁岩含有很多源自植物的有機質，而且被認為生產有限量的氣態烴類。

儲集岩-尤其是志留系沉積序，在 Ghadames 盆地它與生油岩交替

呈現，鄰近的大陸的影響確保持續的供應粗的碎屑材料從南部來，局部從高區來，而且砂岩主控儲集岩的岩性，通常，砂質的與泥質的單位重複出現，該單位岩性有足夠的厚度能形成有效的儲集層在前，有效的蓋層在後。

當沉積柱豐富呈現，Ghadames 盆地儲集岩的岩石物理性顯示相當大變化，粉砂質的或石英質的膠結能抑制孔隙率強力影響滲透率，而一些特定的裂隙在更深埋的砂岩中能加強能力，最深的儲集層被驗證是晚奧陶紀的 Memouniat Formation 之鄰近冰河的砂岩，在盆地內主要標的是晚志留紀時期的 Acacus Formation 砂頁岩互夾層的砂岩，在這些層中是該區主要的油氣藏。另一層形成於早泥盆紀的 Tadrart Formation，它構成盆地東南部產油地，在一般偏南的 Ghadames 地區泥盆紀中期之 Aouinet Ouenine Group 的 F-4 與 F-3 砂岩就像泥盆紀晚期 Tahara Formation 的 F-2 砂岩一樣，提供儲集層能力，相關的有生產的區段在東阿爾及利亞的鄰邊之 Illizi 盆地。

儲油封閉型式可能是背斜式或斷層圈合的構造，二擇一地儲油型式可以是沉積現象和截頭的、透鏡的或尖滅的型式，所有都傾向於垂直方向圈閉及一個有限的範圍，最多達 30-40 平方公里。

在 Ghadames 盆地已經證實具商業價值的油氣藏有許多，在盆地的中西區、北緣及靠近 Zegher-Qarqaf 軸的南區總共出現 140,000 平方公里，只有東半部是缺乏油氣田，因為非常靠近複雜的斷層，Ghadames 盆地的探勘成功率算高的接近 50%，雖然都朝向是中等大小的積聚，可能除 Alrar-East 氣藏之外，它延伸穿越利比亞-阿爾及利亞邊界。

Ghadames 盆地位於三個國家境內，包括利比亞、突尼斯以及阿爾及利亞。Ghadames 盆地往南延伸是 Illizi 盆地，兩盆地中間隔著一個隱伏的構造隆起。在這隆起之上方，具有一超大油氣田 Tin Fouya-Tabankort 油田，Ghadames 盆地的北側是 Djefara 隆起，此隆起應是屬於亞特拉山脈造山帶的一部份。以三條主要地質剖面來解釋 Ghadames 盆地的特性，在盆地中心沉積著鉅厚的古生代地層，盆地深度達到 7000 公尺，在三疊紀之後盆地迅速往地中海方向大規模

沉降。Ghadames 盆地的西側以 Hassi Messaud 高地與 Oued Mya 盆地為鄰，在 Ghadames 盆地之西側地層，石炭系與三疊系之間存在著大不整合面。南北方向的 CC' 地質剖面能代表的特性，在石炭系與三疊系之間亦存在著一大不整合面。中生代的地層厚度超過 1500 公尺，Ghadames 盆地的石油系統生、儲、蓋等條件與 Murzuq 盆地類似。

有關於 Ghadames 盆地的演化分析，在海西寧不整合面(約 300 百萬年前)時期，盆地北側有大規模的侵蝕，在盆地的中南部則產生一隆起(是 Tin Fouye 油田的位置)。在往前推至志留系頂部、奧陶系頂部以及寒武系頂部，是屬於穩定的地質凹陷沉降方式。

Ghadames 盆地中心愈範圍即已超過兩萬平方公里，整個盆地範圍並延伸至鄰近之突尼西亞及阿爾及利亞，涵蓋範圍達 20 萬平方公里之廣，近年來證實可採蘊藏量已達 50~60 億桶油當量。目前利比亞境內部份探勘鑽井雖不多，但 27 口探井已在北方上部志留系 Acacus 砂岩及中區三疊系及上部志留系 Tahara 砂岩鑽獲油氣。

盆地內具有二個世界級 Type II 之生油岩：下部志留系 Tanezzuft 層及中部至上部泥盆系 Uennin 層，該兩層平均 TOC 3~5%，近 300 米至 700 米厚。其油窗範圍內兩層之有效生油岩厚度達 2800 米~4000 米，埋藏深度分別為約 4000 米~4800 米及 2700 米~4000 米左右。

Tanezzuft 層生油岩自晚期三疊紀至早期白堊紀為主要生油時期，Uennin 生油岩則在早期~晚期白堊紀階段生油，至今 Tanezzuft 頁岩仍在濕氣及乾氣之生成階段，Uennin 生油岩則已達產油高峰。

而本區之封閉構造主要形成於海西寧構造運動，有些則在加里東造山運動所形成，由近距離側向及藉斷層垂向移棲聚集。

上部志留系 Acacus 層及下部泥盆紀 Tadrart 層、Kasa 層為本區主要之儲集層。Acacus 層儲集岩砂岩淨厚 130 米至 430 米，平均孔隙率達 16%以上。Tadrart 及 Kasa 層儲集岩砂岩淨厚 100 米至 230 米，平均孔隙率 14~15%以上，本區上述儲集層分佈甚廣，埋深為 2700 米至 4200 米之間，目前鑽至此探勘標約僅北部數口，探勘程度仍相

當低。Ghadames 盆地主要生產層 Acacus 層之等厚圖及頂部構造見圖 3.4.15 及 3.4.16。

另有三個較淺之目標儲集層，包含中部泥盆紀之 Uennin 砂岩，最厚有 100 米；上部泥盆紀之 Tahara 層，砂岩淨厚近 80 米；及三疊紀 Ras Hamia 層，其儲集砂岩淨厚 70 米至 230 米，具良好孔隙率，平均達 14~18%。

而位於儲集砂岩之上的 Acacus 頁岩則為良好有效蓋層，雖然某些地區缺失，但與其上面之 Tadrart 層聯合，其間之頁岩層皆可充當蓋岩以封阻 Tadrart、Kasa、F-3 相當層及 Tahara 砂岩等儲集層。盆地除南部某些地區外大部份地區存在頁岩、碳酸岩、蒸發岩等有效封阻足以充當 Ras Hamia 儲集岩之蓋層。

綜合而言，Ghadames 盆地石油系統亦非常完整。

Ruth Underdown 及 Jonathan Redfern 2008 曾對 Ghadames 盆地進行二維盆地模擬，探討其油氣生成及移棲。其經過本盆地東西向與南北向長剖面，由其盆地層序、時代地層及石油系統分析，並進行模擬所用之地層模式岩層特性及流体特性，應用熱流及地溫梯度；依此進行埋藏史及熱史分析，並研究其盆地數值模擬，可知在利比亞境內之 Ghadames 盆地中心偏東南構造應為下一步需特別注意之目標礦區。

柒、結論與建議

本次時間雖然極為短促，(由於經費所限及公務提前返國，所有此行蒐集、查閱及參訪工作僅 2 天)，但由於事先皆有密切聯繫，故前往本公司利比亞分公司除拜會研討外，亦帶硬碟拷回許多井下及震測礦區資料，帶回探探研究所，除充實利比亞礦區資料外，並進行分析研究，並獲致一些成果。本次亦特別敦請分公司探勘經理陪同赴利比亞最大亦是唯一之國營石油公司(NOC)，拜訪掌理有關中油經營 162 區塊之主管部門，並與之研討，瞭解最新資訊。而利比亞石油研究院(LPI)為利比亞國內最具權威之石油探勘開發生產之研究機構，此行亦順道進行參訪及技術交流。

蒐集及攜回礦區及測勘資料，經大地構造分析釐清利比亞所屬非洲大陸與鄰近地塊的演化關係，對於西非及北非的典型盆地的演化已有更進一步的認知，且藉由分析張裂盆地之特性，可協助建立研究區內陸海域張裂盆地之油氣儲聚機制、模式及探勘技術，並整合其油氣儲聚特性及石油系統，運用其規律，擴大對國內外張裂機制控制時期之油氣儲聚探勘空間。

由蒐集資料研究結果顯示以前陸盆地的演化模式預測北非利比亞北部盆地的地層特性及石油系統，為重要探勘方向之一；並經進行 Murzuq 盆地之精密反剝分析，發現奧陶系及寒武系的地層較沒有大型之交角不整合，生油岩的保存條件良好，因此往下層寒武系的評估亦為重要探勘方向，值得進一步注意。

由於近來 Ghadames 盆地陸續發現多個油氣田，集中在盆地的南部與西北部區域，油氣產自泥盆紀下部砂岩層。盆地生油岩沈積以志留紀頁岩為主，在盆地中心屬過成熟-成熟階段沿上傾地層及斷層通道移棲進入儲集層內，移棲方向大體往盆地邊緣進行。儲油岩以古生代地層為主，在盆地多數地區皆有生產，而中生代地層則以盆地北部為主，以三疊紀蒸發岩為蓋層，並向盆地北邊潛能漸增。構造封閉為多數油田之封閉型態，向盆地邊緣地區則地層封閉型態漸增加，亦為探勘重點。其油氣模擬顯示在利比亞境內之 Ghadames 盆地中心偏東

南構造應為下一步需特別注意之目標礦區。

北非利比亞 Murzuq 盆地位於西南部地區，與 Ghadames 盆地隔著 Qargaf 穹起相鄰，沈積環境亦與 Ghadames 盆地相似，原是古生代時期北非洲內陸凹陷盆地之一，亦受到三段時期的造山運動所影響，其最重要的儲集岩包括 Memouniat 砂岩、奧陶紀 Haouaz 砂岩、志留紀 Tempestite 砂岩以及泥盆紀 Aouinet Ouenine 砂岩，其中以冰磧沉積盆地 Memouniat 砂岩最為重要。

新模擬分析顯示盆地為封閉式的古生代盆地，在盆地中心仍存有變形構造，在盆地中心保存有良好奧陶系及志留系頂部具有之油氣潛能高區，具生儲蓋組合，且石油系統存在，值得進一步探勘研究。

配合公司在利比亞經營的 162 號礦區業務，進一步評估利比亞 Murzuq 盆地的石油系統發現 Murzuq 盆地是封閉的背凸盆地，最佳生油岩存在於盆地中心，最佳生油岩包括志留紀及奧陶紀頁岩並未出露於地表，由於多重古生代之不整合面影響，深部地層傾角趨緩並未出露於地表，生油岩得到較佳的保存，進而排除了原先多位專家認為受到天水作用致使生油岩受到風化作用，而不具潛能觀念。並由其新炸震測解釋結果，發現存在多個潛能構造，值得進一步探勘研究。

另外，此次與利比亞國營石油公司(NOC)專家研討，談及石油系統相關研究，而其中基本邏輯及理念並未多作改變，不同的是我們經營中之礦區，其中部份因子研究的改進及地域性的石油系統需重新評估，故評估研究時其因子或係數精確性之改進是我們應當特別努力的部份。況且經此次與利比亞石油研究院(PRI)相關專家研討，除趁機審視一些相關井之寶貴岩心外，對於儲集層油藏描述與模擬，有待進一步克服及研究的難題還有很多，諸如：層次界面分析；地層架構和流体架構空間結構研究技術；建立精細地質模型技術；地質資料庫建立和應用技術；三維油藏模型精細預測技術；剩餘油氣評估技術；裂縫預測技術；薄層檢測和解釋技術；流体單元空間結構研究技術；微構造和細微地質界面研究技術；儲集層物性動態變化空間分布規律研究技術；適應不同類型儲集層的地質統計學預測方法和軟體；多功能綜合三維油藏描述軟體；開發震測技術和解釋方法；四維震測技術；

油氣直接探測分析技術；其它井間定量檢測技術和方法等。目前儲集層油藏描述及模擬必然趨向微觀化、定量化、預測化和系統化方向發展。其顯著特點是整合多項學科、多項專業的高度綜合技術，並藉各種數學理論和方法的大量引進，電腦技術的大量應用，以及各種新技術和新方法的進行使用，方能成功而降低探勘風險並提高油氣田採收率。