

美國路州中部礦區 Claiborne 群 之油氣蘊藏潛能評估

陳雅雯、溫振宇、周昆瑩、蔡文瑜、王興桂、

鄭鈞元、黃寶賢、鄭力璋、黃寶林

台塑石化股份有限公司

摘要

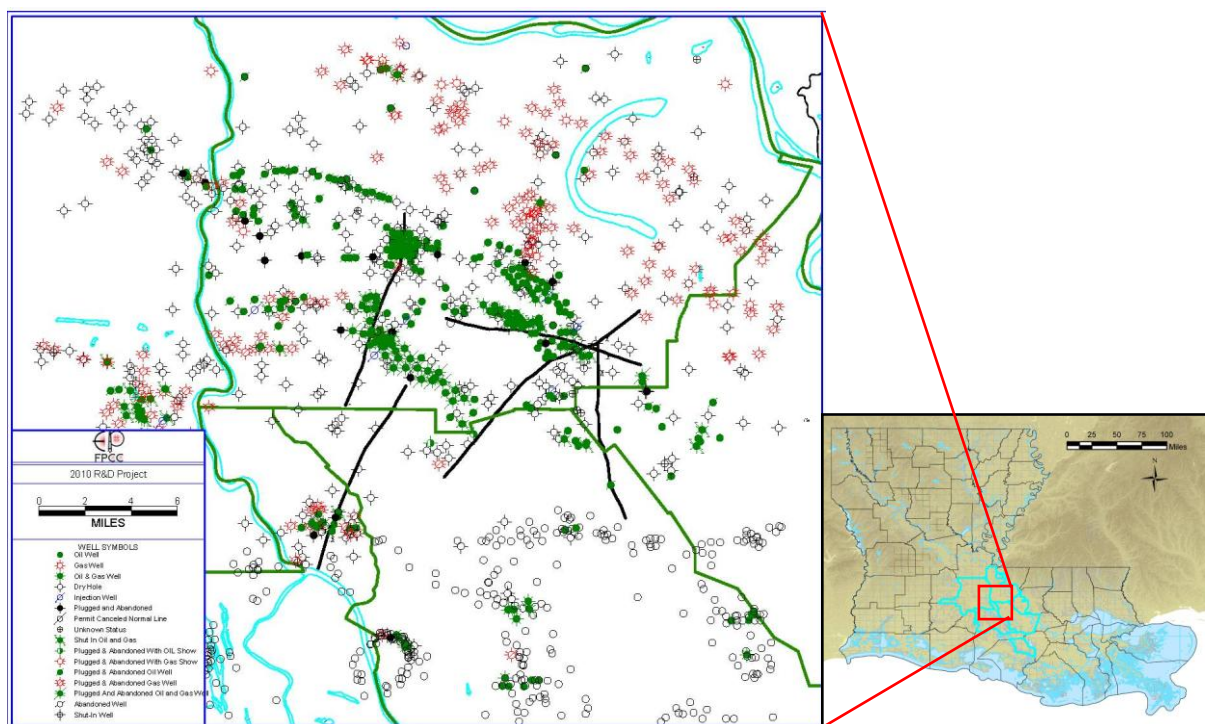
本年度計畫目標延續前一年度計畫，利用已建構之路州中部資料庫，依據先前 Wilcox 群的研究模式，對舊有油氣田的儲層型態、生產資料、生產開發與探井設計等資料進行分析，尋找區域中於 Claiborne 群儲層內仍有油氣潛力的區塊。路州中部之歷史生產層分布在整個新生代地層之中，除了古新統之 Wilcox 群之外，上部始新統的 Claiborne 群和漸新統的 Frio 層均為主要生產儲層，研究區域中最深的油氣儲層則是白堊系中期的 Tuscaloosa 層。本計畫以淺層的 Claiborne 群為主要的研究標的，雖然此區域為開發歷史久遠的礦區，倘若可循序分層的進行仔細分析，將可對研究區域之空間架構與各層沉積形態有更深入的了解，亦可尋獲更多富含潛力的區塊。

計畫藉由岩心、岩屑標本的觀察結果，配合數位井測所進行的岩石物理分析，針對 Claiborne 群之各儲層進行更為詳盡的沉積形態分

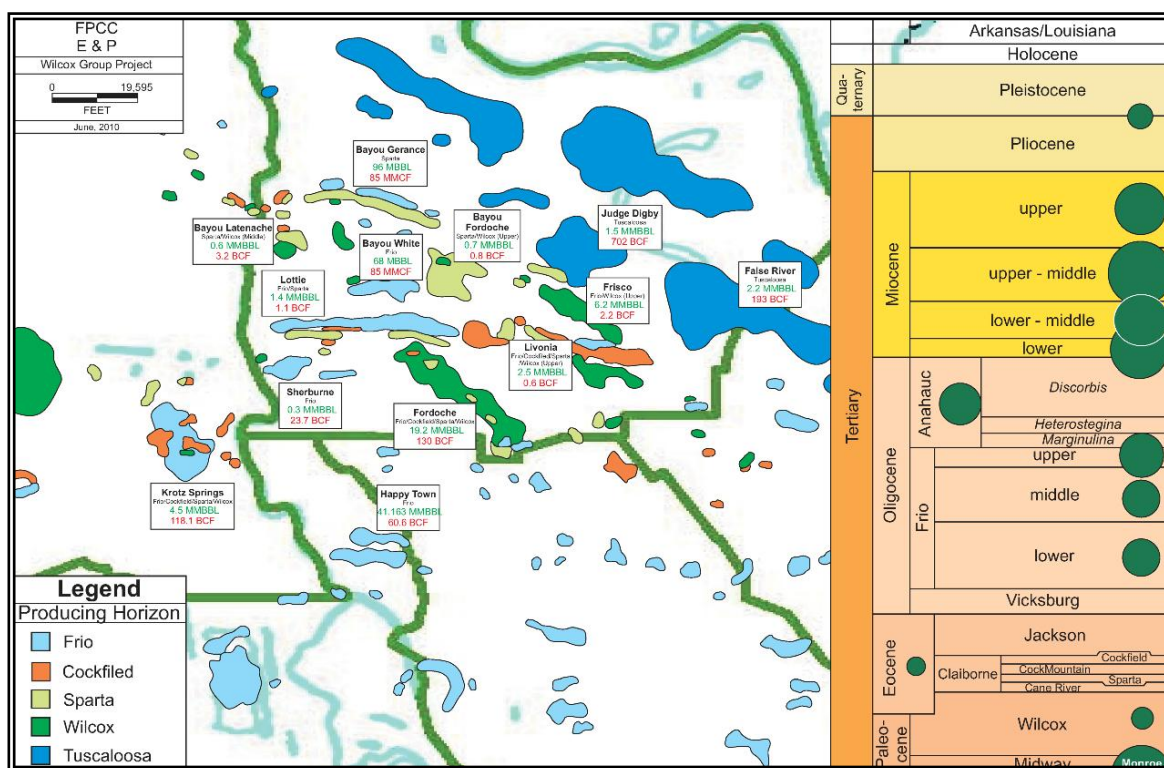
析；並藉由岩石物理所分析的地質參數與實際岩屑標本的觀察結果相比對，推估其成岩作用之影響程度。收集生產油田之舊有資料來歸納統整儲層之地質參數，配合沉積形態推估可能之油氣潛能區域，並評估儲層之儲集能力。整合各項資料後，即可圈選出最具油氣開發潛力之好景區，計算其油氣資源量並評估經濟效益，估算其地質風險成功率用以作為本公司未來的探勘目標。藉由延續性的研究分析過程，將有助於本公司團隊成員之相互溝通協調，更能掌握礦區評估與探勘標的之選擇方向，奠定本公司後續探勘工作的基礎。

一、 背景說明

本年度計畫將研究區域縮小至目前已建立的井測資料庫範圍內（圖一），初步依主要生產儲層進行分類，藉由舊有油氣田中之穿孔試產資料，圈選出最具代表性之區塊進行了解。整體而言，本研究區域生產儲層的分布趨勢可由東北向西南進行劃分，儲層年代由白堊系中期的 Tuscaloosa 層漸進至漸新統的 Frio 層（圖二），前一年度所執行的 Wilcox 群儲層研究，目標為 Fordoche、Frisco、Livonia、Bayou Grosse Tete 等四個油田，本年度研究區域亦位於圖中央的帶狀範圍內，與 Wilcox 群生產儲層之位置相互交錯重疊，挑選以 Claiborne 群（Sparta 層與 Cockfield 層）為主的油氣田進行研究，選定 Livonia、Fordoche、Bayou Fordoche 等三個油氣田。



圖一、本公司所擁有之影像井測位置圖。右圖之紅色方框範圍即為研究區。



圖二、路州中部的主要油田位置與其產量圖。圖右為美國路易斯安那州與鄰近地區地層柱（修改自 Bebout et al., 1992）。

研究區域之東南方為路州政府所規劃的野生動物保育區，美國陸上除了某些受控於特定環境考量區域（Areas of Critical Environmental Concern; ACECs）、荒漠研究區域（Wilderness Study Areas; WSAs）、野生動物保育區（Wildlife Refuges by U.S. Fish and Wildlife Service; USFWS）等之開發限制，其餘具有油氣開發潛力的區域，均依據一般礦權租賃條例開放探勘。近年於密西西比河沿岸陸續開放部分保育區供石油探勘工作進行，故提供相當良好的機會，藉由持續性的研究評估，可大大的拓展我方於石油探勘界之發展規模。

二、 研究技術說明

（一）、井測與岩石物理分析

由去年度已建構之影像井測資料庫為基礎，比照文獻資料所記載的井測對比依據，進行主要生產儲層的層面判讀，再藉由研究區域內之已開發油氣田之穿孔深度與生產資料，找出 Claiborne 群中之 Cockfield 層頂部與 Sparta 層頂部，對整個研究區域的層位深度分不有所了解，在缺乏較佳震測資料的情況下，對儲層與區域構造間之關係有所了解。

配合已建立的資料庫架構，增加部份數位井測資料用以進行岩石物理的計算分析，挑選具有中子、密度、聲波、伽瑪等近期測量之數

位檔的油氣井，藉此計算儲集層的各项岩石物理參數，作為評估儲層特性之參考依據。

(二)、標本分析

為進一步了解 Claiborne 群儲層之沉積型態與岩石特性，與上述岩石物理性質相對比，進行各項數值校正，積極收集可得標本進行分析，利用詳細的岩性描述與標本分析結果，做為區域性 Claiborne 群沉積型態之分析依據。

計畫中之標本取得方式，除了自行鑽井採集岩屑標本外，另外並與德州政府所屬之地質調查所接洽，對當地油公司所捐贈的岩心標本進行觀察紀錄；此外，藉由本公司所參與合作的探勘計畫資料，分析其岩屑之岩性與組成，配合井測資料所進行之岩石物理相互比對佐證，以井測正演模擬進行資料校正；另針對此處的生油岩來源推估，亦規劃地球化學分析工作，作為釐清依據。

(三)、地質儲層參數

統整上述數位井測所進行之岩石物理性質所得參數，比對岩心、岩屑標本之測試結果，提供部分礦區之 Claiborne 群儲層之詳細參數（岩性、淨砂岩厚度、孔隙率、含水飽和度），然而資料範圍則可能侷限於標本可取得區域，因此仍需積極收集區域內部各項報導與文獻

資料，擴大資料範圍與種類；經過 99 年度之計畫執行過程，了解路州政府資料庫系統亦提供各項鑽井、完井過程之申請報告，因此亦可藉由多方面的文獻閱讀工作，整合推估本區域之最適沉積模型；除此之外，由其沉積型態、孔隙率、滲透率、標本觀察等數值為依據，作為本區域儲層是否已受到成岩作用之影響評估，而此些儲層參數對於估計好景區資源量時，將是最主要的控制因素。

（四）、資源量與地質風險成功率評估

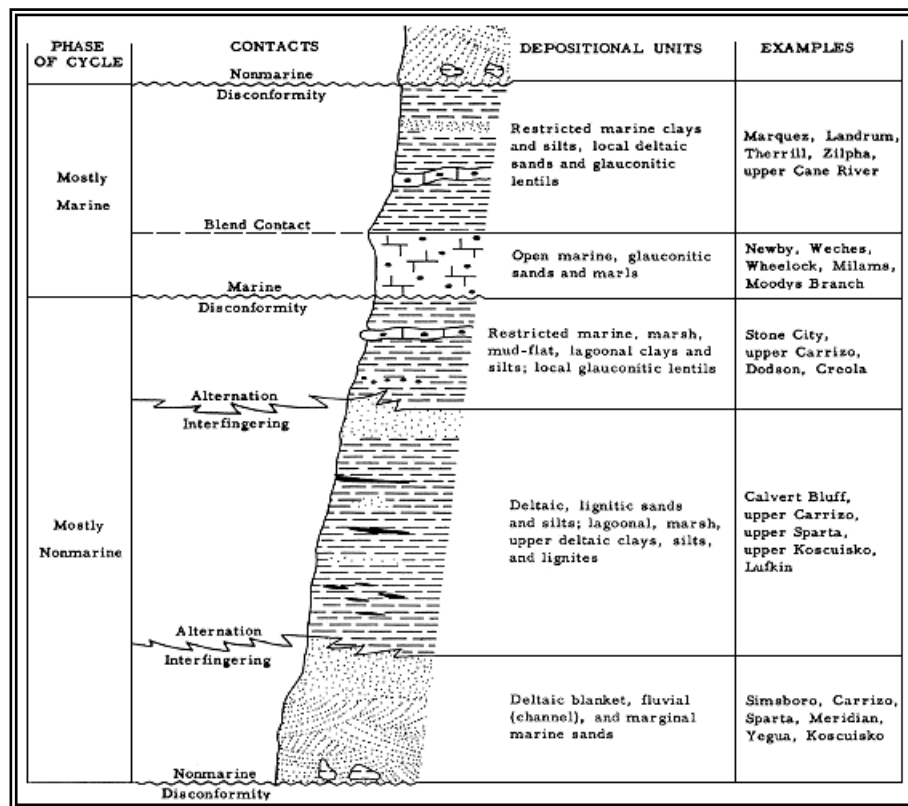
為了解潛力礦區之油氣資源量，除了眾多的鑽井資料與前述之地質架構與石油系統外，利用上述所建立之地質模型為基礎，了解儲集層之孔隙率與滲透率的分布情形，即可在尚未正式執行探勘並獲得實際生產資料時，估算礦區之油氣儲藏量，並標定此礦區之最佳鑽井位置。

然而，實際影響探勘信心之地質風險評估工作則為探勘計畫催生最重要的因素，因此以 98 年度計畫之地質風險成功率的評估方式為執行步驟，推論本計畫潛力礦區之生油岩（Source）、儲集層（Reservoir）、構造（Structure/Closure）、封閉（Seal）等四項地質條件作為其地質風險成功率（Geologic Chance of Success）的評估依據，藉由本年度的延續性計畫執行，預期可找出後續公司投資探勘之目

標，並累積本研究團隊成員之實際執行經驗。

三、 研究成果

根據文獻記載 (Fisher, 1964; 圖三)，墨西哥灣海岸盆地北部的始新統沉積循環乃起因於反覆的海進海退作用而造成的，整體的沉積形態與現今相似；藉由始新統沉積層之露頭觀察，可知沉積循環包含海進時期的海相沉積物（開放海域泥岩、海綠石、泥灰岩等）與海退時期的河相至沿岸沉積物（砂質沉積物）兩類，封閉型態則是以簡單的斷層封閉或是沉積尖滅等構造為主，整體區域是一個相當成熟的常規型油氣蘊藏區域。



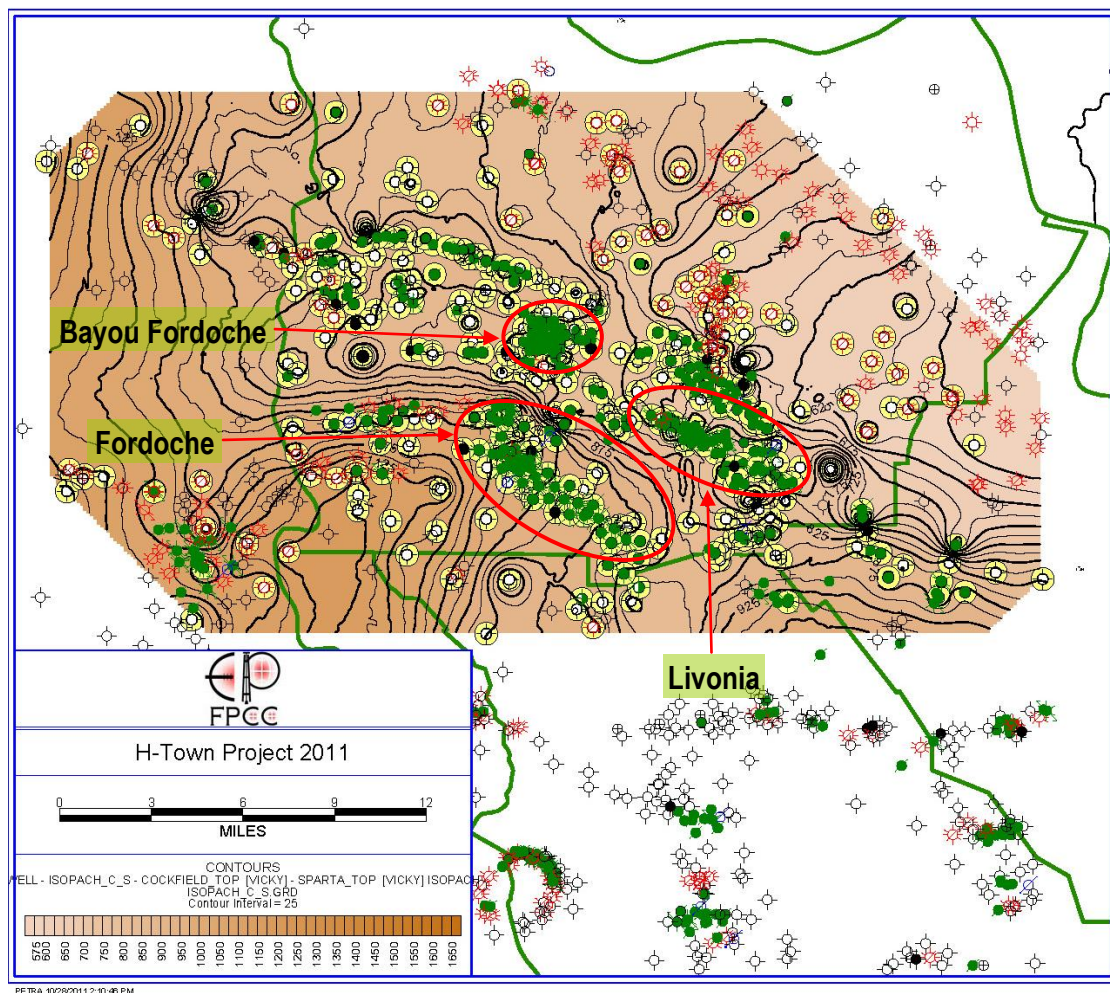
圖三、墨西哥灣海岸平原北部地區典型的始新統沉積循環與其相對應產狀 (摘自 Fisher, 1964)。

利用井測資料庫中之影像與數位井測資料，逐一比對並進行校正，配合穿孔深度與歷史生產層位來確定主要生產砂層，並於資料庫中進行迴旋對比，完成目前 Claiborne 群的主要生產層之層面摘選工作。本區域始新世的地層包含 Jackson 層與 Claiborne 群，位於本研究區域範圍的主要生產層，則是 Claiborne 群中的 Cockfield 層與 Sparta 層；而兩層之間以細顆粒至泥質沉積物為主的 Cook Mountain 層與 Cane River 層相分隔。

區域範圍內的第三紀地層具有相當好的碳氫化合物潛能，探勘活動至今從未間斷，主要生產層位包括漸新世的 Frio 層、始新世的 Cockfield 層、Sparta 層以及古新世到始新世的 Wilcox 群。針對 Claiborne 群的研究則選定 Livonia, Fordoche, Bayou Fordoche 等三個油氣田進行分析，利用影像井測資料，摘選出之 Cockfield 頂部與 Sparta Lime 頂部作為主要的層面參考依據。依井位中 Cockfield 頂部層面的深度圖，可知本區域的 Cockfield 頂部層位是由北而南逐漸加深，深度分布在 8,500~11,000 呎，配合去年度所購買的二維震測資料，推論出區域內的主要構造線（西北—東南向）仍為沉積物分布的主要控制因素；但在計算等深線時受控於資料密集的影響，無法於深度圖中判斷出主要構造線的位置。

就此三個油氣田的生產紀錄與穿孔深度來看，主要以 Livonia 與

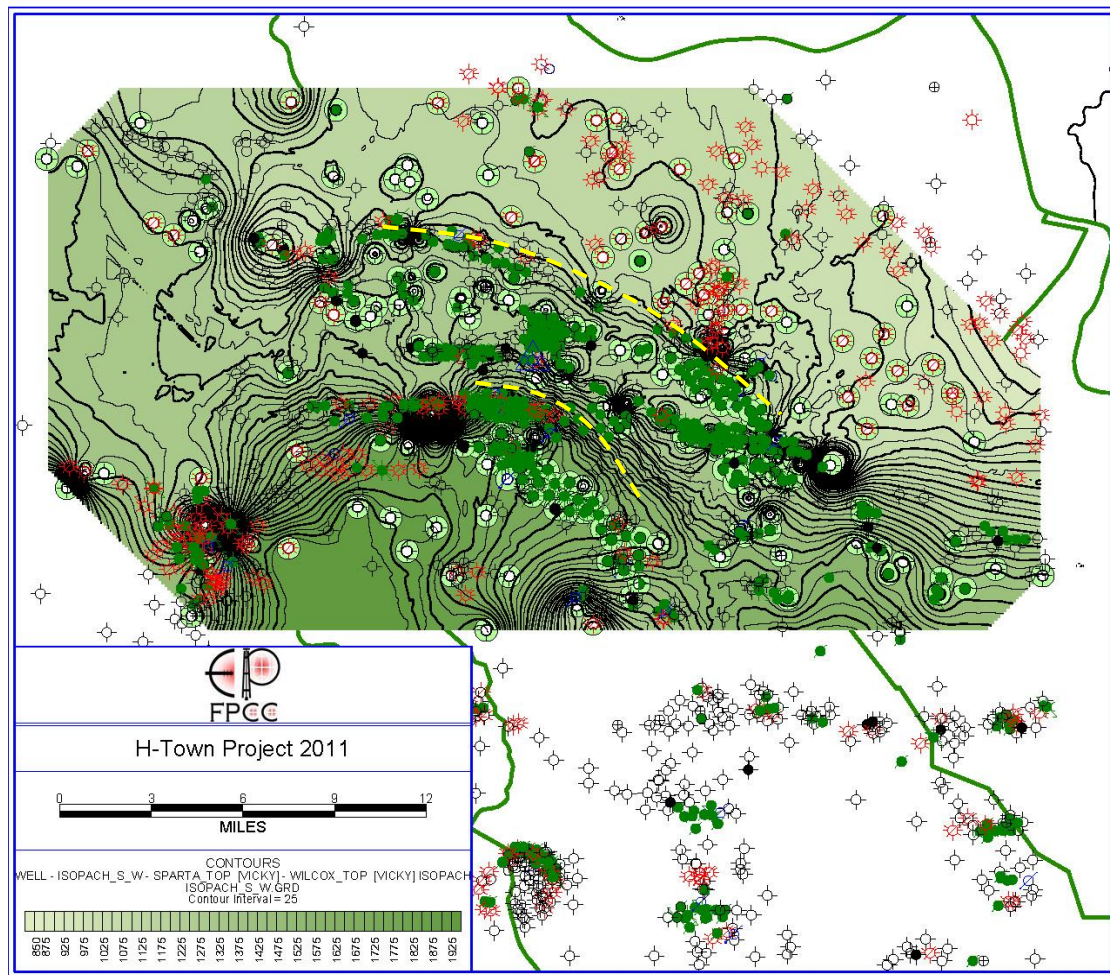
Fordoche 東北方的井位才具有 Cockfield 生產儲層，故直接影響資料區域性的分布，並且在靠近斷層區域更是沒有任何井位資料，因此在利用資料庫軟體的分析工具描繪深度圖時，則多以平均數值外推衍伸為主，無法明確顯示出構造位置；以 Cockfield 層頂部至 Sparta Lime 頂部之等厚圖（圖四）來看，亦無法歸納出本區域的斷層構造方位與沉積物運移方向，僅能大致判斷厚度由東北向西南變厚。



圖四、Cockfield 頂部至 Sparta Lime 頂部之等厚圖；井位具外框著為等厚圖之數據來源。

由 Sparta Lime 的頂部深度圖可知，沉積物分布趨勢與 Cockfield

層相同，深度範圍從 9,500~12,000 呎。然而其深度分布趨勢，則可發現 Bayou Fordoche 油氣田周圍之 Sparta Lime 頂部較為平坦，若同時考量 Cockfield 與 Sparta Lime 頂部之深度趨勢，則可知此區域的 Sparta 層受到較強的斷層作用影響，使 Sparta 層的沉積分布並不如 Cockfield 層來的平均，當沉積物穩定的由東北至西南方向供應運移，Bayou Fordoche 油氣田下方之地層因斷層構造影響而隆起，因而形成主要的封閉構造儲集油氣，此概念可藉由歷史生產資料加以佐證。



圖五、Sparta Lime 頂部至 Wilcox 頂部之等厚圖。黃色虛線則為推估之斷層位置區域；井位具外框著為等厚圖之數據來源。

本區域中在 Sparta 儲層生產油氣的，以 Bayou Fordoche 油氣田最為顯著，自 1977 年至 2010 年之累計產量為 7 百萬桶原油與 38 億立方呎天然氣（圖五），推論本區域之油氣蘊藏潛力仍以斷層構造為主要控制因素，下方之油氣生成供應量均大於可儲集之空間，因此在後續探勘評估過程中，則是以尋找區域構造封閉位置為主要的探勘方向。

由 Fisher (1964)、Lock & Voorhies (1988)、Galloway et al. (2000) 之研究指出，Cockfield 層砂岩於路州附近為開放性的大陸棚環境所堆積的砂質碎屑物，然可能因暴風所導致的強勁水流，致使砂體被重新搬運，而成不連續性的分布。Sparta 層砂岩為厚層頁岩中所夾的少數砂岩層，而對於其沉積環境則是眾說紛紜，由於其中均可發現淺海大陸棚環境的海相化石碎屑，推論是由河流搬運至大陸棚，因暴風拍打而送回近岸處堆積 (Bebout et al., 1992; Lock & Voorhies, 1988)；Lemoine et al. (1988; 1989) 與 Krutak et al. (1991) 則將此處之砂岩層歸類為障避島—瀉湖相的環境，以鑽井所得之岩心資料加以佐證。

藉由直接進行的岩心觀察工作，選取 AMOCO 公司於 1985 年所鑽取的 Wilkinson et al. 二號井，其岩心段深度是位於 10,325 呎至 10,413 呎的 Cockfield 層；經由觀察所得之岩相組合與沉積特徵，則可歸納出五種沉積相：靜水湖相或海灣相、決口扇相、分流水道相、

分流水道口砂洲相、前三三角洲相，然而與前人歸納之開放性大陸棚相出入，推測此結果符合 Galloway et al. (2000) 之結論，Cockfield 層於路州附近為一個非常狹窄的大陸棚，三角洲相與濱海相環境便是在此狹窄區域中發育的，仍會受到河流與暴風等之影響而導致分類上的差異。

另收集鑽井岩屑進行地化分析，標本為 Sparta 層下部的頁岩與 Cane River 層頁岩，利用有機碳測定 (TOC; Total Organic Carbon)、有機富集度 (Organic Source Richness)、有機物類型 (Organic Source Type) 和熱成熟度 (Thermal Maturation) 等分析，來評估是否已具備生油潛能，來作為釐清此處儲集層中所聚集之油氣來源。經由分析可知，其有機質富集度並不算良好，但由 TOC 值則顯示 Sparta 層下部的頁岩與 Cane River 層頁岩仍具有良好的潛力；然而由熱裂解分析參數結果來分析其所屬之生油岩種類，則可將此處深度較淺的 Sparta 層頁岩歸屬為主要以產氣為主的有機物類型，而深度較深的 Cane River 層頁岩則是介於產氣與生油潛能之間；比對 Sassen (1990) 之推論，可知研究區域內之生油來源仍以下部的 Wilcox 群為主。

藉由舊有油氣田之累積生產量的分析，可知 Livonia 油氣田中於 Cockfield 與 Sparta 兩儲層中均有石油的產出但無天然氣產出，油田中有 39 口井於 Cockfield 層穿孔生產，但油管壓力相對較低，日產量

相對較小。Fordoche 油氣田中，亦於 Cockfield 與 Sparta 兩儲層中均有產出，然而是以 Sparta 層為主要生產儲層，17 口井中自 1986 年至 2009 年累計生產出油 2,565,934 桶、氣 1,509,163 仟立方呎。Bayou Fordoche 油氣田中則僅僅於 Sparta 儲層中生產油氣，然而 36 口井中則是以天然氣之產出較為顯著，油管壓力相對較高。三個油氣田之儲層品質仍以 Fordoche 油氣田最佳，其砂層厚度亦為其餘兩油氣田之 2~3 倍。統整歸納上述成果，可知研究區域中之 Cockfield 儲層之分布並不連續，並無明顯受到區域構造位置之因素所控制，因此在尋找具有潛力的區塊與預估其品質與資源量方面，仍具有相當大的困難。而 Sparta 儲層之砂層分部較為連續，並且由其等厚圖可推測其厚度受到區域構造位置所控制，因此未來執行礦區尋找時，將須配合較佳的震測資料，尋找構造邊緣之殘存探勘機會。

四、 參考文獻

- Bebout, D.G., White, W.A., Garrett, C.M., T.F. Hentz, eds., 1992. Atlas of Major Central and Eastern Gulf Coast Gas Reservoirs: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, p. 88.
- Fisher, W.L., 1964. Sedimentary Patterns in Eocene Cyclic Deposits, Northern Gulf Coast Region. In Merriam, D.F. (Ed), Symposium on cyclic sedimentation: Kansas Geological Survey, Bulletin 169, 151-170.
- Galloway, W.E., Ganey-Curry, P.E., Li, X., Buffler, R.T., 2000. Cenozoic depositional history of the Gulf of Mexico Basin. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin 84, 1743-1774.
- Krutak, P.R., Kimbrell, W.C., 1991. Sparta B sandstones (Eocene), Fordoche Fieldm Point Coupee Parish, Louisiana – A Compartmentalized, Barrier-island Oil and Gas Reservoir. Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions 41, 383-404.
- Lemoine, R.C., Moslow, T.F., Ferrell, R.E., 1988. Facies control on reservoir

properties within a Barrier Island Complex, Sparta Formation, Pointe Coupee Parish, Louisiana. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin 72, 211.

Lemoine, R.C., Moslow, T.F., Sassen, R., Ferrell, R.E., 1989. Sparta Sandstones: Future exploration potential in South-Central Louisiana. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 73, 379.

Lock, B.E., Voorhies, S.L., 1988. Sequence stratigraphy as a tool for interpretation of the Cockfield/Yegua in southwestern Louisiana: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, Vol. 38, 123-131.

Sassen, R., 1990. Lower Tertiary and Upper Cretaceous source rocks in Louisiana and Mississippi : Implications to Gulf of Mexico Crude Oil. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin 74, No. 6, 857-878.