

出國報告（出國類別：實習）

參加 PETROSYNC 舉辦之
碳酸鹽岩儲集層特性分析訓練課程

服務機關：台灣中油股份有限公司

姓名職稱：涂嘉勝 地質師

派赴國家：馬來西亞 吉隆坡

出國期間：103 年 5 月 4 日至 103 年 5 月 10 日

報告日期：103 年 5 月 23 日

摘要

在南海地區碳酸鹽岩儲集層是重要的儲集層之一，台灣西南海域屬於南海地區的一部分，為了充分瞭解碳酸鹽岩之成因、分類、沉積環境與儲集岩特性等，以建立未來儲集層探勘、地質建模及開發生產之重要技術，因此派員於 103 年 5 月 4 日至 5 月 10 日參與本訓練課程，藉以提升公司碳酸鹽岩儲集層特性分析與應用技術。

本訓練課程為期 5 日，由專業講師 Dr. Anthony (Tony) Kirkham 進行講授，講師在國際石油業界工作超過 40 年，主要負責技術評估、管理以及訓練，主要專長為油氣探勘開發地質、碳酸鹽岩儲集岩特性。本課程參訓學員共 14 位，來自許多不同的公司與國家，上課內容含蓋訓練內容主要分為：碳酸鹽岩的形成機制、分類與沉積環境；碳酸鹽岩相與層序地層；成岩作用與儲集層特性；古碳酸鹽岩層序；碳酸鹽岩探勘標的與油氣田案例研討。

目次

| | |
|-----------------|----|
| 摘要..... | I |
| 目次..... | II |
| 一、目的..... | 1 |
| 二、過程..... | 2 |
| (一) 出國流程..... | 2 |
| (二) 上課流程..... | 2 |
| 三、課程內容重點摘要..... | 9 |
| 四、心得與建議..... | 15 |

一、目的

南海地區目前已有許多碳酸鹽岩探獲大量油氣之案例，例如巴拉望盆地、沙勞越外海 Luconia 地區、珠江口盆地流花（Liuhua）油田等。台灣西南海域屬於南海地區之一部分，其演化特性及岩性變化複雜，為充分瞭解碳酸鹽岩成因、分類、沉積環境及儲集層特性等，做為未來儲集層探勘、地質建模及開發生產之重要技術，因此派員參與本訓練課程，藉以提升公司碳酸鹽岩儲集層特性分析與應用技術。

世界上傳統油氣田的儲集層主要分為碎屑岩（砂岩）及碳酸鹽岩兩大類，兩者在目前已發現之油氣田上皆各佔有一席之地，但在油氣儲集與生產的特性上卻有相當大的不同，希望藉由學習本項碳酸鹽岩儲集層評估與分析技術，將來可應用至油氣探勘及碳酸鹽岩儲集層之開發評估。透過本課程可以學習到：

- 了解影響碳酸鹽岩儲集層特性的主要因素
- 了解碳酸鹽岩及其相關蒸發鹽沉積環境的複雜性
- 分析後期環境改變（成岩作用）對碳酸鹽岩的影響
- 利用岩石物理方法進行碳酸鹽岩儲集層分析
- 分析儲集層沉積環境變化預測的不確定性
- 整合地質、地球物理與油層工程資料應用於碳酸鹽岩儲集層特性評估

二、過程

(一) 出國流程

出國期間：103 年 5 月 4 日~103 年 5 月 10 日，共 7 天。

出國行程：

- 1、103 年 5 月 4 日，啓程。
- 2、103 年 5 月 5 日~9 日，參加 PETROSYNC 舉辦之碳酸鹽岩儲集層特性分析訓練課程 (Carbonate Reservoir Characterization)，地點：Sheraton Imperial Kuala Lumpur Hotel，Be@M 會議室，為期 5 天。
- 3、103 年 5 月 10 日，返程。

(二) 上課流程

本訓練課程為期 5 日，每日上課時間為早上 8:30 至下午 5:00，詳細課程表如下頁。第一天 (5 月 5 日) 早上 8:30 於上課場地 Sheraton Imperial Kuala Lumpur Hotel Be@M 會議室報到 (圖 1~圖 4)，待所有學員進入會議室入座後，首先由飯店的安環主任進行 10 分鐘的環境安全宣導及緊急事故逃生守則，接著課程主辦單位 PetroSync 公司 Ms. Carolyn Ng 及 Ms. Pauline Nadua 進行簡單訓練課程說明後，隨即由講師 Dr. Anthony (Tony) Kirkham 開始正式上課。Dr. Tony 開始先自我介紹後，便要求學員也先自我介紹，同時簡單說明工作經驗與資歷、目前工作項目或工作領域、有無碳酸鹽岩探勘經驗等，以利講師初步了解與認識學員背景，調整合適之課程內容。

上課除了使用簡報與講義 (圖 1~圖 5) 進行講授，也於上課其間穿插短片與實際練習，藉由讓實際拍攝的短片及分組討論練習，增加學習成效與發現問題。學員若有問題也可於上課期間隨時提出，講師實務與教學經驗豐富，針對學員問題皆可回答並提供相關資料。

5 天訓練課程結束後，講師提供教材電子檔案，供學員課後參考，並頒發每位完成所有訓練與練習的學員課程結業證書 (Certificate of Attendance) (圖 6)，作為學員完成參訓之證明。

表一、訓練課程表

| 日期 | 08:30 ~ 17:00 |
|-----|---|
| 5/5 | <p>第一天</p> <ul style="list-style-type: none"> - Introduction and agenda - Grain types and classification - with exercise - Carbonate analytical techniques - Lacustrine carbonates - Carbonate platforms - Quaternary and Recent sedimentation, Abu Dhabi - Quaternary and Recent sedimentation , Caicos and Great Bahama Bank |
| 5/6 | <p>第二天</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grainstone environments - Aeolian activity in an arid climate - Evaporites - Microbial mats and algae - Reefs - Bioturbation - Chalks - Re-sedimented carbonates - Carbonate source rocks |
| 5/7 | <p>第三天</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diagenesis - Karstification case studies - Exercises in predicting carbonate environments - 3D geological modelling - Petrophysics – with video - Fracture modelling approaches and case studies |
| 5/8 | <p>第四天</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sequence stratigraphy – with exercise - Lower Carboniferous carbonates of the UK - The Golden Lane plays, Mexico - Devonian reefal carbonates of Western Canada - The stratigraphy of the Triassic Sella Platform, Italian Dolomite Alps - Selected petroleum reservoirs of the Middle east – with exercise |
| 5/9 | <p>第五天</p> <ul style="list-style-type: none"> - Miocene sediments of the Sorbas and Nijar Basins, Southern Spain - Oligo-Miocene carbonates of Majorca - Aspects of Miocene carbonate sedimentation, Sardinia - Oligo-Miocene carbonates of Malta - Gulf of Suez Miocene reservoirs - Selected petroleum reservoirs of the Far East |

講師介紹：Dr. Anthony (Tony) Kirkham

Dr. Anthony (Tony) Kirkham 曾在 BP 公司擔任油氣探勘及開發地質師 (20 年)，阿布達比石油公司擔任專職地質師 (3 年)，Reservoir Characterization, Research & Consulting (RC)² 公司擔任管理主任 (4 年)，Petrel 公司擔任技術顧問 (2 年)，Schlumberger 公司擔任首席地質師 (8 年)，目前在 Sedimentology & Reservoir Development Ltd 公司擔任地質顧問一職，實務工作與教學經驗極為豐富。

學員介紹：

參訓學員共 14 位，大多來自馬來西亞國營石油公司 (Petronas)，簡單介紹如下：

- 1、Syed Ahmad Firdasus, Development Geologist, Mubadala Petroleum, from Malaysia.
- 2、Siti Nadia Ameer Hamazah, Reservoir Geophysicist, Petroliam Nasional Berhad (Petronas), from Malaysia.
- 3、Ong Swee Keoong, Geoscientist, Petronas Carigali Sdn Bhd, from Malaysia.
- 4、Farahani Hairon Nibzar, Geologist, Petronas Carigali Sdn Bhd, from Malaysia.
- 5、Nurfarbaheeda Omar, Geoscientist, Petronas Carigali Sdn Bhd, from Malaysia.
- 6、Noor Alyani Ishhak, Geoscientist, Petronas Carigali Sdn Bhd, from Malaysia.
- 7、Aziz Ehjan, Geoscientist, Petronas Carigali Sdn Bhd, from Malaysia.
- 8、Siti Aishwah Othman, Geoscientist, Petronas Carigali Sdn Bhd, from Malaysia.
- 9、Fatihah Moohd Shahari, Geoscientist, Petronas Carigali Sdn Bhd, from Malaysia.

- 10 · Liew Guo Hoong, Geoscientist, Petronas Carigali Sdn Bhd, from Malaysia.
- 11 · Nur Qistinau Salim, Geoscientist, Petronas Carigali Sdn Bhd, from Malaysia.
- 12 · Hendra Irianshyah Darnawan, Senior Geologist, Petronas Carigali West Glagah Kambuna Ltd, from Malaysia.
- 13 · Andreas Lukman Setianwan, Geologist, PT Saka Energi Indonesia, from Indonesia.



圖 1、訓練課程場地照片-1



圖 2、訓練課程場地照片-2



圖 3、訓練課程場地照片-3



圖 4、訓練講義與所需文具



圖 5、講師訓練情形

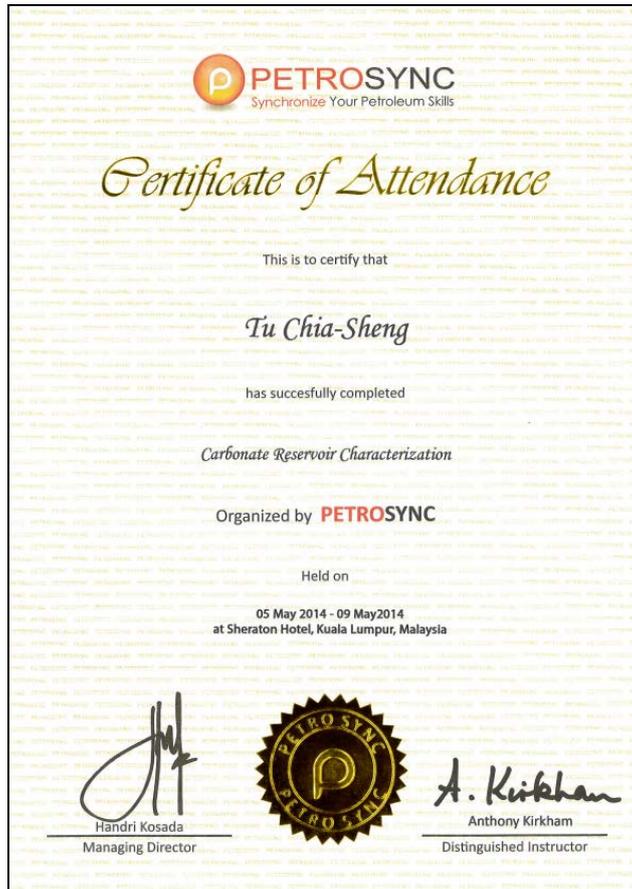


圖 6、完成訓練證書

三、課程內容重點摘要

本訓練課程資料及圖片版權為講師所有，未經講師書面同意不得任意轉載或散播，因此本章節將以不附圖方式簡要說明課程內容。

碳酸鹽岩主要由沉積而形成的碳酸鹽礦物組成（主要成分為方解石、aragonite）的岩石，其主要的岩石類型為石灰岩（方解石含量 > 50%）和白雲岩（白雲石含量 > 50%）。在油氣探勘中碳酸鹽岩是重要的生油岩和儲集岩，根據目前統計，世界上以碳酸鹽岩為儲集層的油氣田數量約佔總數的 35%，但其總可採量可達世界總蘊藏量的 50%，顯示碳酸鹽岩氣田的儲油氣規模與產能都比碎屑岩來的大很多。碳酸鹽岩的沉積環境、後期作用的影響、儲油性質以及探勘方式都與碎屑岩有相當大的不同，碳酸鹽岩沉積物大部分都是在海洋環境中形成，僅有少部處於湖相沉積環境，現代碳酸鹽岩形成的環境中約有 90% 都是在海洋環境中生成。

碳酸鹽岩礦物成分

碳酸鹽岩礦物成分主要為方解石和白雲石兩種碳酸鹽礦物組成，還含有非碳酸鹽自生礦物及陸源碎屑混入物等。現代的碳酸鹽沉積物中的主要礦物為霰石（aragonite）、方解石為主要成份，高鎂方解石（High-Mg calcite）、白雲石及其他礦物為次要。

現代的海相方解石多含有高量鎂離子，因此稱為高鎂方解石，其鎂含量在海水中很穩定，但易受埋深影響而轉變成低鎂方解石。霰石在海水中也很穩定，但是容易受溶解或再結晶作用轉變成低鎂方解石，因此古代的石灰岩多含有低鎂方解石而且也常會轉變成白雲岩（ $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ）。

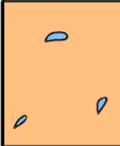
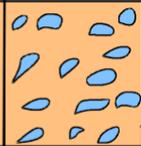
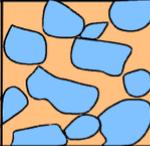
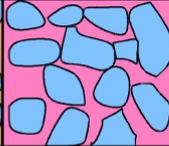
碳酸鹽岩顆粒

碳酸鹽岩中的顆粒是指沉積盆地內化學、生物化學、生物作用形成的碳酸鹽沉積物在波浪、岸流、潮汐等作用下原地沉積或經短距離搬運再沉積而形成的一系列碳酸鹽顆粒，碳酸鹽岩顆粒常被稱為 allochemical grains 或 allochems（異化

顆粒)，其種類大約可分為 Bioclasts (生物屑骸)、Pellets (泥團)、Intraclasts (內碎屑)、Ooliths (鮞石)、Grapestones (葡萄石)、Peloids (團石)。而 allochems 又會經常與霏石或方解石化泥岩相混雜，或者經成岩作用後變成碳酸鈣、白雲岩或蒸發鹽，因此其結構組成與變化相當複雜，這也增加了儲集層特性的複雜度。

碳酸鹽岩的分類

碳酸鹽岩可先按成分劃分為石灰岩和白雲岩兩大類，另外再細分為許多過渡類型，此外其與粘土、碎屑岩之間也常存在過渡。碳酸鹽岩中還可混入其它陸源碎屑物質和矽質礦物成分，同樣也可組成碳酸鹽岩與碎屑岩或矽質岩之間的一系列的過渡岩石類型。根據碳酸鹽岩顆粒種類及其間膠結物之含量，可將碳酸鹽岩進行分類，一般常見的分類有 Dunham (1962) (圖 7) 及 Folk (1962) 分類法。另外針對礁體一般則常用 James (1983) (圖 8) 之分類法。

| Depositional Texture Recognizable | | | | | Depositional Texture Not Recognizable |
|---|---|---|---|--|---|
| Components Not Bound Together During Deposition | | | Original Components Bound Together During Deposition | | |
| Contains Mud (clay and silt size particles) | | Lacks Mud, Grain-Supported | | | |
| Mud Supported | | | Grain Supported | Boundstone | |
| <10 % Grains | >10 % Grains | | | | |
| Mudstone | Wackestone | Packstone | Grainstone | | Crystalline Carbonate |
|  |  |  |  |  |  |

(modified from Dunham, 1962)

圖 7、Dunham (1962) 碳酸鹽岩分類法

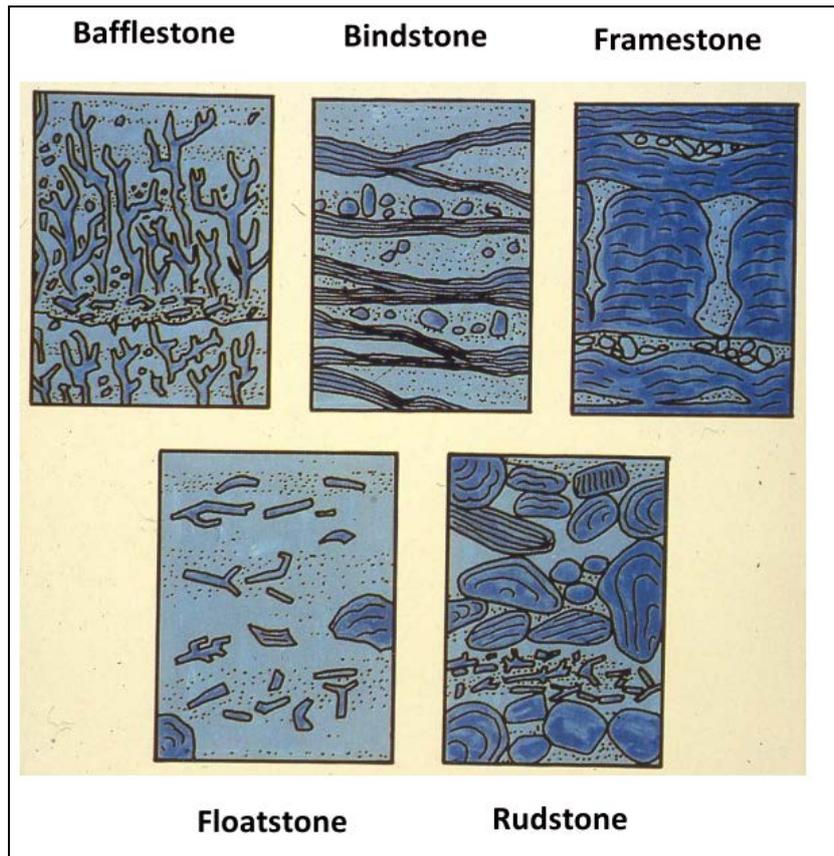


圖 8、礁體分類法 (James, 1983)

碳酸鹽岩的組構 (Fabric)

碳酸鹽岩的沉積構造類型決定在碳酸鹽岩形成時的沉積作用方式，主要受機械搬運作用控制形成的碳酸鹽岩，可形成與碎屑岩類似的沉積組構。主要由生物作用影響的碳酸鹽岩，則具有生物成因組構。大致上可以分為：

- 1、疊層 (Stromatolitic) 組構，由藻類生長和膠結捕獲的碳酸鹽顆粒形成亮、暗紋路，層理在垂直方向上有規律的疊置組成。疊層構造可有各種形狀，主要取決於它們所處的局部環境。按其形態可分為球狀、半球狀、錐狀、柱狀和波狀等。一般認為，層狀形態疊層構造的生成環境水能量較弱，多屬潮間帶上部的產物；柱狀形態疊層構造生成環境的水能量較強，多為潮間帶下部及潮下帶上部的產物。
- 2、鳥眼 (Birds eye) 組構，這是一種高 0.5~3.0mm，寬 1~12mm，扁平、橢圓或不規則透鏡狀孔洞，被亮晶方解石或硬石膏所充填，形狀類似鳥眼。

多分佈於微晶或細小球粒灰岩或白雲岩中，常平行層理排列。一般認為，鳥眼構造有物理、化學、生物作用等多種成因，鳥眼構造多形成於沉積石期，多位於於潮上及潮間帶。

- 3、帳篷（Tepee）組構，是一種碳酸鹽潮坪(tidal-flat)環境形成的脊型背斜構造，具有柱狀裂隙和極大的乾裂狀多角形斷面，略呈不諧和的褶皺和類似尖頂狀的褶皺。
- 4、古喀斯特（Paleokarst）組構，這是當碳酸鹽沉積物與大氣降水的接觸溶解而產生的不規則凹面。大氣淡水的溶解作用對孔隙的形成很重要，古潛山油藏的形成與此有關。
- 5、層序（Geopetal）組構，是指碳酸鹽岩的孔洞、生物體腔內孔的下方先被微晶或細碎屑碳酸鹽沉積物充填，而上部剩下的空間被亮晶方解石或鹽類充填。充填的微晶與亮晶之間界面平整並與沉積層理平行，亮晶部分指示上層，微晶或細粒碳酸鹽部分指示下層，這種能指示地層層序的組構就稱為層序組構。

碳酸鹽岩沉積後環境的影響

碳酸鹽沉積後常會因後期的各種作用而改變其內部結構、孔隙、礦物組成等，影響此作用的關鍵因素為孔隙水或孔隙中流體的成分。與碳酸鹽沉積物或岩石經常接觸的流體有海水、大氣淡水和深部地下水。每一種流體都以特殊的方式與沉積物或岩石發生反應，並留下特殊的紀錄。根據流體的特徵及其是否充滿孔隙，可將碳酸鹽沉積後的環境分為五種基本類型：

- 1、海水環境，又可分海水潛流（underflow）和滲流（underground flow）兩種次環境。
- 2、大氣淡水環境，又可分為淡水滲流和潛流兩種次環境。
- 3、海水-淡水混合環境；
- 4、埋藏環境，又分淺埋和深埋兩種次環境；
- 5、地表環境，碳酸鹽岩被埋藏後，在構造作用下抬升，使其處於地表環境中。地表作用一般以地下水面為上界，主要有溶解作用、孔隙及裂縫的

充填或膠結作用以及置換作用。

成岩作用

成岩作用是指沉積物的物理、化學或生物變化轉變成為沉積岩的一種過程，同時會因此而改變岩石原本的礦物組成及其組織。在沉積後，由於受到上覆沉積物的埋壓造成礦物溶解而產生膠結形成岩石，在成岩作用過程中，除了某些礦物溶解或因含有油氣而使孔隙壓力過高之情形外，岩石孔隙率通常會因此大幅縮減。以下幾項因素主要控制著成岩作用強弱：(1) 孔隙中流體的化學成分；(2) 礦物溶解強度；(3) 流體流經孔隙的速度；(4) 流體與岩石交互作用時的溫度與壓力狀態；(5) 油氣是否存在於孔隙中（若有，則會降低成岩作用速率）。

碳酸鹽岩實際野外露頭

課程除了提到許多碳酸鹽岩理論的成因之外，也以現代實際案例配合野外露頭照片與岩石薄片來進行講解，主要案例有 Arabian Gulf、Bahamas、Florida Keys、Belize、Shark Bay (Australia)、Great Barrier Reef (Australia)、Yucatan Peninsula、Red Sea。

碳酸鹽岩油氣田案例

- Zeit Bay Field, Gulf of Suez
- Ras Fanar Field, Gulf of Suez
- Arun Field, North Sumatra, Indonesia
- Krisna Field, offshore South Sumatra, Indonesia
- Kampang Buru Field, Sulawesi, Indonesia
- Madura Field, East Java Sea, Indonesia
- Porong and Kangean BD Fields, Madura Straits, Indonesia
- Walio and Kasim Fields, Irian Jaya, Indonesia
- Luconia Province, offshore Sarawak, Malaysia
- Lihua Field, Pearl River Mouth Basin, China

- Nido Fields Reef Complex, offshore Palawan, Philippines
- Sarap Field, offshore Palawan, Philippines
- Da Nang Carbonate Platform, offshore central Vietnam

四、心得與建議

在中油公司任職已 7 年多，在此期間參加過許多由公司內部資深專業人員擔任講師的訓練課程，但因本公司主要探勘標的大部分多以碎屑岩（砂岩）儲集層為主，對於碳酸鹽岩探勘案例較少，可是碳酸鹽岩的組成與特性卻比碎屑岩更為複雜多變，因此為了充分了解碳酸鹽岩儲集層的特性，乃報名參加本訓練課程。本訓練課程介紹了碳酸鹽岩的沉積環境、分類與儲油氣特性、沉積環境主要控制因素、沉積後期物理與化學作用之影響、岩石物理特性、三維地質模型建立方法、碳酸鹽岩儲油氣類型與案例等，課程內容相當豐富且講師也常利用其自身實務經驗及實際野外露頭照片舉例，以增加學員理解與說明實際探勘遭遇問題。

經過這次 5 天訓練課程之後，瞭解以前許多對碳酸鹽岩不懂的地方，收穫很多，而且除了專業上的收穫外，在上課討論與休息時間中可與不同公司的人員進行交流，經驗分享，瞭解不同公司目前的探勘目標及現況，增廣見聞。

建議公司往後可考量多編列訓練預算，讓更多人員可參與類似訓練課程，充實專業知識與評估技術，同時也可藉由在受訓期間與各國不同石油公司人員交流中，提升公司專業人員國際觀與公司能見度。