

出國報告（出國類別：開會）

參加 2019 年「美國石油地質師學會年會」報告

服務機關：台灣中油股份有限公司 探採研究所

姓名職稱：李沅銘 地質師

派赴國家：美國

出國期間：108 年 5 月 18 日至 5 月 24 日

報告日期：108 年 6 月 13 日

摘要

美國石油地質師學會 (AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGIST, 簡稱 AAPG)年會為世界地質界的盛會，集結展現石油地質界最新探勘新知識、新技術及世界各地探勘現況成果，助益本公司探勘技術瓶頸的突破。與會和各地石油地質測勘人員討論及交換油氣探勘經驗與探勘技術，蒐集石油地質界的新知識、新技術及世界各地探勘現況，以作為國內外石油探勘開發之參考。會場上亦會系統性介紹震測資料採集、盆地分析、地質建模、油層模擬等技術的研討及發展，一年一度經常性的參與年會及討論，可在探勘實務上與時俱進。

美國石油地質師學會 2019 年度大會與展覽會(AAPG, 2019 ACE), 結合其分支沉積地質學會(SEPM)、奧斯丁地質學會(AGS)和南德州地質學會(STGS)，一同於 2019 年 5 月 19-22 日在聖安東尼奧的 Henry B. Gonzalez 中心舉辦。大會期間提供高品質的油氣探勘技術課程，今年傳統主題包含矽質碎屑系統(Siliciclastic systems)、碳酸鹽儲集層、地球化學、構造和地球物理等方面，嶄新的方面包含人工智慧、機器學習和數位化等議題。

本次大會期間本人也有參加會議短期課程，課程分為上下兩個部分，分別為使用機器學習實現上游探採端對端工作流程的介紹，以及油氣探勘產業中針對非結構性資料與機器學習的入門。此次短期課程著重在非結構性資料轉為結構性資料的重要性、在探勘產業中使用機器學習用以預測尚未證實的資料和利用 Python 程式語言實現人工智慧(artificial intelligence)及機器學習(machine learning)的技術。有鑑於近年來硬體設備及運算速度大幅提升，AI 與數位化的技術除了可以提升工作效率外，更重要的是達到提升準確率、降低成本和經驗傳承的目的。

藉由參與本次會議瞭解國外大型油氣公司或是探採技術服務公司的最新技術，並且得知目前學界或業界的研究方向、資訊和探勘機會，將有助於未來工作中研究計畫的應用。

目錄

一、出國目的.....	5
二、過程.....	8
(一) 出國行程.....	8
(二) 上課過程.....	8
(三) 會議過程.....	12
三、具體成效.....	14
四、心得及建議.....	22

圖目錄

圖 1、會議中心平面圖與註冊中心照片	7
圖 2、短期課程所在會議室之標示牌	11
圖 3、短期課程資訊與開課狀態之標示牌。	12
圖 4、WellF.las 檔案原始資訊圖	15
圖 5、WellA – WellF 數據攝取圖	16
圖 6、WellA – WellF 數據前處理圖	17
圖 7、WellA 之預測 GR 值與實際 GR 值比較圖	18
圖 8、WellA 至 WellF GR 值比較圖	18
圖 9、Permian 盆地地理位置圖	21
圖 10、2019 AAPG ACE 展覽會與海報區全景照片	23

表目錄

表 1、本次專案所輸入的模組/套件及其概要說明	14
-------------------------------	----

一、出國目的

美國石油地質師學會 2019 年度大會與展覽會(AAPG, 2019 ACE), 結合其分支沉積地質學會(SEPM)、奧斯丁地質學會(AGS)和南德州地質學會(STGS), 一同於 2019 年 5 月 19-22 日在聖安東尼奧的 Henry B. Gonzalez 中心(圖 1)舉辦。大會期間提供高品質的油氣探勘技術課程, 今年傳統主題包含矽質碎屑系統(Siliciclastic systems)、碳酸鹽儲集層、地球化學、構造和地球物理等方面, 嶄新的方面包含人工智慧、機器學習和數位化等議題。

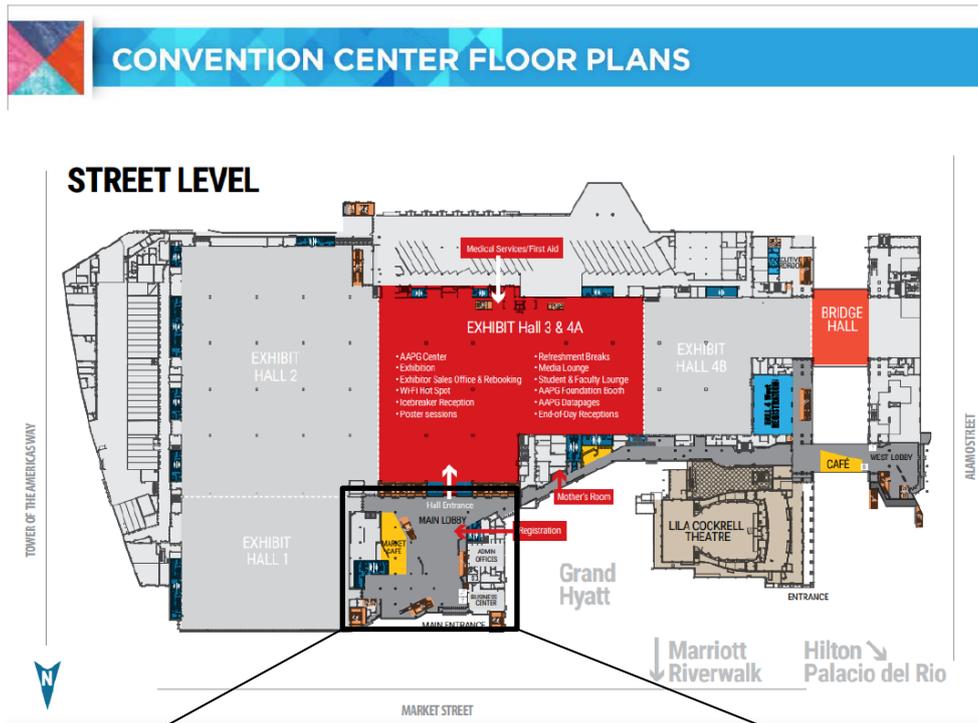
展覽會方面則是有來自工業界和學界的 400 個口頭報告與 500 篇海報展示, 以及來自 40 多個不同國家之世界級油氣公司所擺設的攤位, 提供近年來最新的探勘技術與創新的思維。本次大會舉辦於德州便歸功於近十幾年來非傳統油氣資源的進展, 地處非傳統油氣資源發展的重心, 本次其中一項主題便是 Permian Basin Source to Sink, 尤其是其中之 Delaware Basin 的 Wolfcamp Shale 和 Bone Spring Formation, 給予參加者近十年來此區域非傳統油氣資源研究的進展, 參與此次大會獲得的資料也能提供給公司作為非傳統油氣資源探勘開發的基本資料庫。

本所石油地質組 108 年度研究計畫著重在四大項目, 分別為屏東平原區域構造演化分析與油氣潛能評估、台南盆地南部凹陷生油潛能研究、國外礦區石油系統研究和地熱資源研究。以上的研究計畫皆與本次大會有高度相關, 無論是構造演化、深海鑽探計畫、層序地層分析、生油岩評估、儲集岩之沉積環境架構還原和非傳統油氣資源評估等主題, 藉由國外學者或是世界級油氣公司的探勘研究分享, 可以提供給現階段研究的借鏡, 也給予未來拓展國外礦區業務之參考標的。

參加 2019 AAPG ACE 會議期間, 另外參加會議期間開辦的短期訓練課程「使用機器學習實現上游探採端對端工作流程, 以及油氣探勘產業中針對非結構性資料與機器學習的入門 (Implement an end-to-end upstream E&P workflow solution using machine learning / Beginner's guide to unstructured data and machine learning in oil and

gas)」，此課程於會期的第一天(5/19)開辦，課程內容依照主題分為上下午兩個時段，此課程沒有特別針對特定專業領域的人員而開設，無論是地質、地球物理、古生物、鑽採工程或是油氣藏模擬領域的背景，皆可以透過此課程了解人工智慧(AI)與數位化的技術如何應用在探採領域。隨著有多年探採經驗的資深人員陸續退休，新進的探採人力除了在資深人員退休前盡可能吸收知識與經驗外，還需要大量閱讀過去的探勘資料或報告，由於人力斷層所帶來的問題在這幾年內逐漸浮現，不僅是台灣中油公司也是世界上各大油氣探勘公司或機構所面臨的挑戰，因此引進此技術不僅僅是用來提升工作效率，更重要的是達到提升準確率、降低成本和經驗傳承的目的。

(a)



(b)

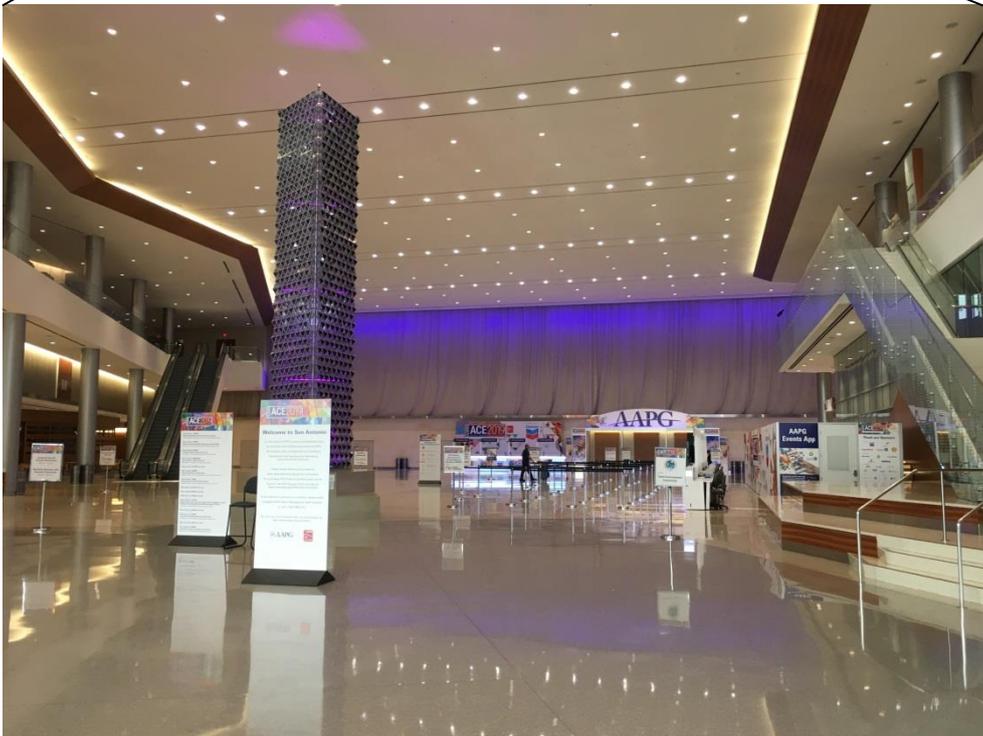


圖 1、會議中心平面圖與註冊中心照片。(a) Henry B. Gonzalez 中心平面圖 (b) AAPG ACE 註冊中心與會議展覽場地入口照片(平面圖黑框)，由於會議註冊時間為當地時間早上九點，但是短期課程早上八點開始，因此可以提早於課程開始前提前註冊，所以照片裡僅有少數工作人員在進行準備工作。

二、過程

(一) 出國行程

出國日期：2019 年 5 月 18 日至 5 月 24 日，共計 7 日。

出國行程：5 月 18 日，啟程。

5 月 19 日，參加 2019 AAPG ACE 短期課程，地點：Henry B. Gonzalez Convention Center River Level Room 006C, San Antonio。

5 月 20 日至 22 日，參加 2019 AAPG ACE 年會與展覽會，地點：Henry B. Gonzalez Convention Center, San Antonio。

5 月 23 日至 24 日，返程。

(二) 上課過程

本次短期課程主辦單位與協辦單位，分別是 AAPG (American Association of Petroleum Geologists)、SEPM (Society for Sedimentary Geology)、RMAG (Rocky Mountain Association of Geologists)、EMD (Energy Minerals Division)、PSGD (Petroleum Structure and Geomechanics Division) 和 PROWESS (Professional Women in Earth Sciences)，共開辦 15 個短期課程給專業人士、學者或是學生參與，並依照課程內容、場地規劃和預定開課人數進行課程日期安排。以下為短期課程主題與開辦單位：

1. 深水相沉積環境之沉積過程與產狀 (Deep-Water Depositional Environments: Processes and Products)。(SEPM)
2. 進階呈現儲集岩模型之地質異質性 (Advances in Representing Geologic Heterogeneity in Reservoir Models)。(SEPM)
3. 泥岩油氣儲集層之岩象 (Petrography of Mudrock Hydrocarbon Reservoirs)。(RMAG)

4. 機器學習 101 – 進階分析(Advanced Analytics – Machine Learning 101)。(PROWESS)
5. 傳統與非傳統裂隙型儲集岩結合地質、震測和油氣層工程特性之雙介質模擬(Integrated Geologic, Seismic and Reservoir Engineering Characterization for Dual-Media Simulation in Conventional and Unconventional Fractured Reservoirs)。(AAPG/PSGD)
6. 開設給研究生之層序地層學(Sequence Stratigraphy for Graduate Students)。(SEPM)
7. 基於探勘中非傳統油氣藏之基本要素(Essentials of Unconventional Play Based Exploration)。(EMD)
8. 震測探勘從區域性分析至初期礦區發展之範例(Exploration Seismology from Regional Analysis to Initial Field Development using a Case Study)。(AAPG)
9. 三角洲之沉積過程、地層學和儲集岩特性 – 岩心工作室(Deltas: Processes, Stratigraphy, and Reservoirs – Core Workshop)。(SEPM)
10. 北美頁岩油氣系統之有機質岩象應用(Applications of Organic Petrography in the North American Shale Petroleum Systems)。(EMD)
11. 使用機器學習實現上游探採端對端工作流程以及油氣探勘產業中針對非結構性資料與機器學習的入門 (Implement an end-to-end upstream E&P workflow solution using machine learning / Beginner's guide to unstructured data and machine learning in oil and gas)。(AAPG)
12. 應用於探勘中了解來源區結合多種工具與近年技術之綜合方法(Integrated Approaches in Provenance – Tools and Recent Advancements Applied to Exploration)。(SEPM)
13. 了解非傳統頁岩油氣藏之基本要素(Essentials for Understanding Unconventional Mudrock Plays)。(SEPM)
14. 進階地球化學方法(Advanced Geochemical Methods)。(SEPM)
15. 地質科學領域中資料科學與機器學習之介紹(Introduction to Data Science and Machine Learning in the Geosciences)。(SEPM)

以上 15 個短期課程中，粗體字代表課程報名人數額滿，底線代表報名人數沒有達到最低開課人數名額而取消課程，沒有任何標示的項目代表有達

到最低開課人數而正常開課，紅字標示則是本次參與的短期課程。今年開辦的短期課程主題大致可以分為五大類，分別為 1. 沉積與層序地層學、2. 非傳統油氣資源、3. 地球化學與定年技術、4. 地球物理之震測與地質模型建立和 5. 資料科學與機器學習應用在探勘領域的發展，從開課主題與報名人數可以得知，本次會議較熱門的短期課程為非傳統油氣資源和機器學習這兩門，代表著這兩門也是各國油氣探勘領域的專業人員、學術界的學者和學生相對感興趣的課程。

本次課程舉辦於當地時間 5/19 (日) 08:00 至 17:00，在會議中心內的會議室舉行(圖 2)，上課人數約 30 人，學員組成為地質師、油氣鑽採工程師、油氣公司經營人和研究生，在會議中心門口也有擺放著 15 個短期課程的地點與開課狀態(圖 3)。課程內容分為上下半部，上半部為使用機器學習實現上游探採端對端工作流程(Implement an end-to-end upstream E&P workflow solution using machine learning)，課程時間為 08:00 至 12:00，講師為 Sunil Garg，講師具有超過 20 年的上游探採經驗，過去在 Schlumberger 擔任軟體工程師、資料架構建立、大數據分析經理等職位並服務約 20 年，目前在 dataVediK 公司擔任執行長兼創辦人，主要提供油氣探勘產業、政府機構和學術界之大數據分析、資料處理和機器學習的服務，課程內容為在 Python 中輸入需要的組件、輸入電腦可以消化的資料、進行資料處理、進行機器學習、數據圖像化和由領域專家確認等面向，由於此半部的課程皆為上機實作，因此需要自行攜帶筆記型電腦，並且事前安裝好 Python 3.6 和 Jupyter Notebook，以及建議的 Python 庫文件包含 numpy、pandas、matplotlib、random 和 sklearn，課程實作中使用捏造的 6 口井之井測資料，其中 5 口井當作訓練數據(Training Data)，1 口井當作測試數據(Testing Data)，藉由 5 口井訓練數據的 Gamma Ray (GR)所對應的深度及經緯度，利用機器學習的演算去預測測試數據的 GR，所預測出來的 GR 再與實際所測量到的 GR 進行比較，並且計算這兩者的誤

差值。下半部的課程為油氣探勘產業中針對非結構性資料與機器學習的入門 (Beginner's guide to unstructured data and machine learning in oil and gas)，課程時間為 13:30 至 17:00，講師為 Alec Walker，專業領域為數據處理、油氣藏工程師和市場經理，目前在 Delfinsia 公司擔任執行長兼共同創辦人，主要在油氣探勘領域針對非結構性資料包含舊的探勘報告、數據報表和井測資料，提供客製化的數據庫整合技術服務，協助能源公司填補因為資深專業人員退休所造成的經驗傳承斷層，縮減重複性高且繁瑣的資料查詢工作，課程內容首先讓學員進行自我介紹，並將內容著重非結構性資料及結構性資料的解釋，以及整合成結構性資料的重要性，另外透過分組討論進行非結構性資料的整理並解釋。



圖 2、短期課程所在會議室之標示牌。

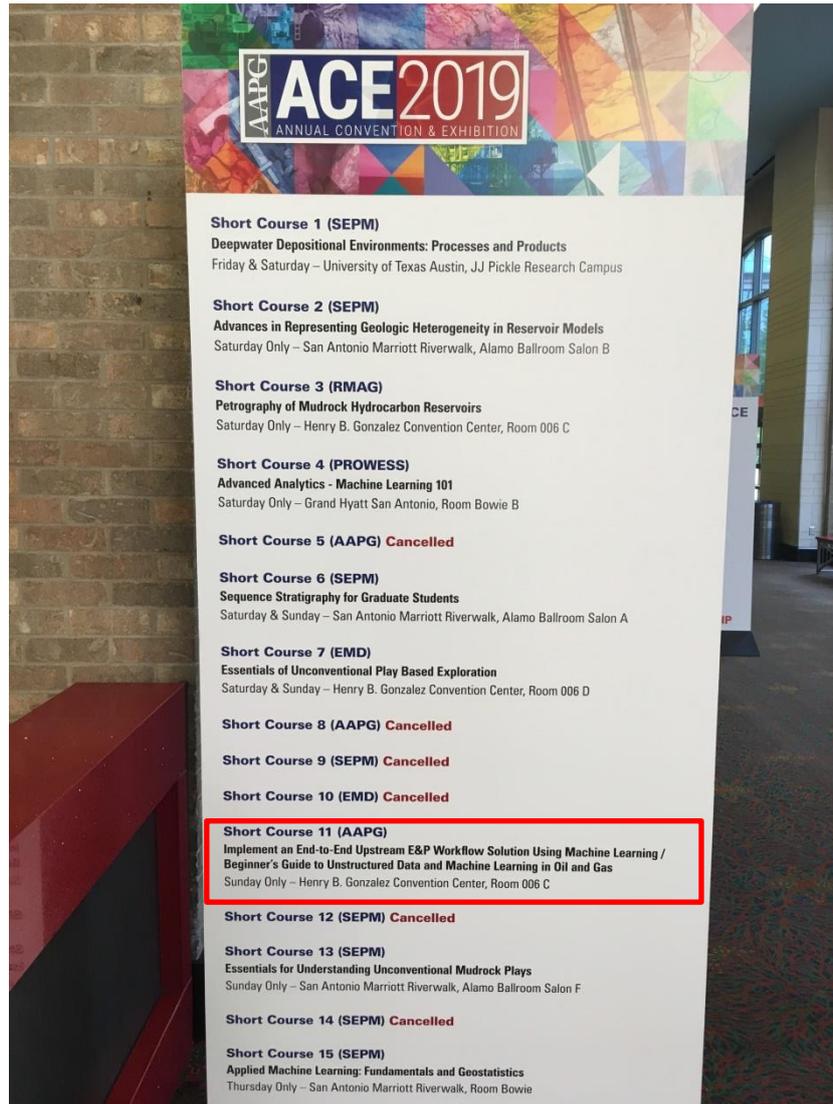


圖 3、短期課程資訊與開課狀態之標示牌。本次會議 15 個短期課程資訊與開課狀態，紅框標示為本次所參與的短期課程。

(三) 會議過程

2019 AAPG ACE 舉辦於當地日期 5/19 (日) 至 5/22 (三) 共四天，第一天為開幕式以及一場口頭演講，主題為石油地質學歷史性的挑戰與技術性的突破之大躍進(Step Changes in Petroleum Geology: Historical Challenges and Technological Breakthroughs)，由於會議第一天與短期課程日期重疊，因此無法全程參與第一天的開幕式。

緊接著的三天分為口頭演講、海報展示和展覽會同時舉辦，整個會議期間約有 400 個口頭報告與 500 篇海報展示，口頭報告分為十大項主題：

1. 矽質碎屑主題(Siliciclastic Systems)
2. 碳酸鹽類、蒸發岩及其混合體系主題(Carbonates, Evaporites and Mixed Systems)
3. 地球化學、盆地模擬和石油系統主題(Geochemistry, Basin and Petroleum Systems)
4. 地質構造、地體構造和地質力學主題 (Structure, Tectonics and Geomechanics)
5. 非傳統油氣資源主題(Unconventional Resources)
6. 能源永續性和環境主題(Energy Sustainability and the Environment)
7. 地球物理－有哪些新技術與創新？(Geophysics – What’s new and Innovative?)
8. 結合數據與學科之深度學習主題(Deep Learning Integration of Data and Disciplines)
9. 探勘前鋒、能源礦物和行星地質學主題(Exploration Frontiers, Energy Minerals and Planetary Geology)
10. 商業、經濟和規章架構主題(Business, Finance and Regulatory Framework)

以上口頭演講十大項主題皆再細分並聚焦於特定子題目，海報展示除了學生研究成果展示的部分以外，大致上也和口頭演講的項目相關。展覽會的部分除了世界知名的油氣能源公司所擺設的攤位外，也有油氣探勘技術服務公司、不同地球科學領域的學會、相關科系的大學和主辦單位的攤位，在展覽會場其中一個區塊是國際油氣探勘礦區展示區，依照探勘許可階段(Licensing Rounds)、開放面積及當前探勘活動(Open Acreage and Current Activity)、探勘機會(Exploration Opportunities)和新數據可得性(New Data Availability)的條件，進一步了解目前國際上不同國家、不同礦區及不同條件下的探勘標的。由於口頭演講、海報展示和展覽會同步進行的緣故，因此僅能選擇最感興趣的主題參加。

三、具體成效

本次參加 2019 AAPG ACE 的具體成效分為短期課程和會議過程兩部分說明，短期課程名稱為「使用機器學習實現上游探採端對端工作流程，以及油氣探勘產業中針對非結構性資料與機器學習的入門 (Implement an end-to-end upstream E&P workflow solution using machine learning / Beginner's guide to unstructured data and machine learning in oil and gas)」，此課程分為上下半部，分別為上機實際操作機器學習用來預測井測資料的部分，以及解釋非結構性資料與結構性資料差異的部分。在此半部機器學習上機實作中建立一項預測 Gamma Ray (GR)的專案，並且給我們捏造的 6 口井測數據檔案(WellA-WellF，副檔名為.las)，以及這 6 口井所對應的經緯度(副檔名為.csv)，於 Python 3.6 的步驟大致上分為輸入所需要的模組/套件、數據攝取為能夠進行以下數據處理的格式、數據前處理、機器學習和數據結果視覺化與分析，每一個步驟的概要說明如下：

輸入所需要的模組/套件(Import the Required Modules/Packages): 在此專案中輸入 os、numpy、pandas、sqrt (math 模組其中的一個)、matplotlib.ensemble、RandomForestRegressor (sklearn.ensemble 套件其中的一個)、r2_score、mean_squared_error (sklearn.metrics 套件其中的兩個) (表 1)。

表 1、本次專案所輸入的模組/套件及其概要說明。

模組/套件(Module/Package)	說明
os	用來調用作業系統命令，給予在作業系統中建立、編輯、存取文件的權限
numpy	主要用於資料處理，能夠快速操作多重維度的陣列
pandas	提供高效能、簡易使用的資料格式，讓使用者可以快速操作及分析資料

sqrt

在 math 模組中用來對數值進行開根號的函數

matplotlib.pyplot

主要用於資料視覺化上，並針對資料進行後續的處理和特徵選取

RandomForestRegressor

在 sklearn.ensemble 套件中的機器學習演算法，在工業界中廣泛使用的機器學習工具之一，稱之為隨機森林

r2_score

在 sklearn.metrics 套件中用來對數值進行決定係數計算的函數

mean_squared_error

在 sklearn.metrics 套件中用來對數值進行均方差計算的函數

數據攝取：在此專案中將數據攝取為接下來進行數據處理的格式，以 WellF.las 檔案為例(圖 4)，在檔案中包含版本資訊、鑽井資訊和參數說明等資料，但在接下來的步驟中只需要深度和井測數據值，因此在此步驟使用 os 和 pandas 模組/套件進行數據攝取，並且多一列井代號(WellID)合併至數據中，最後再將對應的經緯度置入，因此在此步驟中會有這 6 口井 WellID、Depth、GR、Latitude 和 Longitude 五個參數(圖 5)

```

~Version Information
VERS-      2.0: CNLS Log ASCII Standard - VERSION 2.0
WRAP-      NO: One line per depth step
~Well Information Block
START_FT  6.0000: START DEPTH
STOP_FT   9781.5000: STOP DEPTH
STEP_FT   0.25000: STEP
NULL-     -999.25000: NULL VALUE
WELL-     WELL-E: WELL
~Curve Information Block
DEPTH_FT  0 000 00 00: Depth
GR.GAP-   : Gamma Ray
AMPS3FT_UW : AMP3FT Amplitude
TT3FT_USEC : 3FT Travel Time
AMPMIN-   : Minimum Sector Amplitude
AMPMAX-   : Maximum Sector Amplitude
AMPAVG-   : Average Sector Amplitude
ATT3_DB/FT : Attenuation from 3'Amplitude
BONDIX-   : Bond Index
~Parameter Information Block
~A
Depth    GR      AMP3FT    TT3FT    AMPMIN    AMPMAX    AMPAVG    ATT3    BONDIX    .CCL
6.0000   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
6.5000   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
7.0000   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
7.5000   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
8.0000   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
8.5000   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
9.0000   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
9.5000   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
10.0000  -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
10.5000  -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
11.0000  -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
11.5000  -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
12.0000  -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   2.0000
12.5000  -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
13.0000  -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
13.5000  -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
14.0000  -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
14.5000  -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
15.0000  -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
15.5000  -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
16.0000  -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   -999.2500   0.0000
16.5000  -999.2500   4.7583   332.0000   3.9551   4.1194   4.0692   -8.2406   0.6460   0.0000
17.0000  -999.2500   4.7917   332.0000   3.9966   4.2677   4.0672   -8.2204   0.6444   0.0000
17.5000  -999.2500   4.8810   332.0000   3.8546   4.1991   4.0735   -8.2143   0.6459   0.0000
18.0000  -999.2500   4.7990   332.0000   3.9157   4.0993   4.0146   -8.2160   0.6440   0.0000
18.5000  -999.2500   4.7783   332.0000   3.8462   4.1254   4.0285   -8.2285   0.6450   0.0000
19.0000  -999.2500   4.7290   332.0000   3.9840   4.0790   4.0128   -8.2519   0.6460   0.0000
19.5000  -999.2500   4.7272   332.0000   3.9611   4.0811   4.0277   -8.2596   0.6475   0.0000
20.0000  -999.2500   4.7593   332.0000   3.8670   4.2310   4.0427   -8.2400   0.6450   0.0000
20.5000  -999.2500   4.7835   332.0000   3.8846   4.1520   4.0134   -8.2287   0.6444   0.0000
21.0000  -999.2500   4.7977   332.0000   3.9423   4.1894   4.0589   -8.2167   0.6441   -2.0000
21.5000  -999.2500   4.7708   332.0000   3.9492   4.1556   4.0726   -8.2267   0.6450   0.0000
22.0000  -999.2500   4.7267   332.0000   3.9611   4.1894   4.0669   -8.2538   0.6470   0.0000
22.5000  -999.2500   4.7134   332.0000   3.9611   4.1121   4.0273   -8.2681   0.6481   0.0000

```

圖 4、WellF.las 檔案原始資訊圖。

	WellID	Depth	GR	Latitude	Longitude
0	WellF	6.0000	-999.2500	48.04030	-102.4166
1	WellF	6.5000	-999.2500	48.04030	-102.4166
2	WellF	7.0000	-999.2500	48.04030	-102.4166
3	WellF	7.5000	-999.2500	48.04030	-102.4166
4	WellF	8.0000	-999.2500	48.04030	-102.4166
5	WellF	8.5000	-999.2500	48.04030	-102.4166
6	WellF	9.0000	-999.2500	48.04030	-102.4166
7	WellF	9.5000	-999.2500	48.04030	-102.4166
8	WellF	10.0000	-999.2500	48.04030	-102.4166
9	WellF	10.5000	-999.2500	48.04030	-102.4166
10	WellF	11.0000	-999.2500	48.04030	-102.4166
11	WellF	11.5000	-999.2500	48.04030	-102.4166
12	WellF	12.0000	-999.2500	48.04030	-102.4166
13	WellF	12.5000	-999.2500	48.04030	-102.4166
14	WellF	13.0000	-999.2500	48.04030	-102.4166
15	WellF	13.5000	-999.2500	48.04030	-102.4166
16	WellF	14.0000	-999.2500	48.04030	-102.4166
17	WellF	14.5000	-999.2500	48.04030	-102.4166
18	WellF	15.0000	-999.2500	48.04030	-102.4166
19	WellF	15.5000	-999.2500	48.04030	-102.4166
20	WellF	16.0000	-999.2500	48.04030	-102.4166
21	WellF	16.5000	-999.2500	48.04030	-102.4166
22	WellF	17.0000	-999.2500	48.04030	-102.4166
23	WellF	17.5000	-999.2500	48.04030	-102.4166
24	WellF	18.0000	-999.2500	48.04030	-102.4166
25	WellF	18.5000	-999.2500	48.04030	-102.4166
26	WellF	19.0000	-999.2500	48.04030	-102.4166
27	WellF	19.5000	-999.2500	48.04030	-102.4166
28	WellF	20.0000	-999.2500	48.04030	-102.4166
29	WellF	20.5000	-999.2500	48.04030	-102.4166
...

圖 5、WellA – WellF 數據攝取圖。共 6 口井進行數據攝取，留下 WellID、Depth、GR、Latitude 和 Longitude 這五個參數圖。

數據前處理：在此步驟將 Depth 和 GR 兩個參數確認為浮點數的格式，若是默認為字串的格式則需要轉換為浮點數的格式，以便進行下一個步驟的數據演算，轉換格式後再將 WellID 和 Depth 進行排序，並且將偏差值去掉，在圖 5 中可以發現深度較淺的 GR 值皆為-999.2500，這樣的數值會影響到後面的演算，所以在此專案中去除 nan 以及取 0 至 400 這個區間(圖 6)。

機器學習：在本專案中將 WellA 當作測試數據，而 WellB-WellF 當作訓練數據，並且使用 numpy 進行數據處理及陣列轉換，接著使用 RandomForestRegressor 進行機器學習(以下簡稱為 RF)，RF 在近幾年被大量運用在機器學習應用中，除了容易使用外，其效能和預測能力都很好，與一般決策樹(Decision Tree)不同的地方在於 RF 是結合多個平行的決策樹所組成，這種方法比較不會有偏差或是高度適合的情況。簡單來說，決策樹所分類的特徵需要不斷的針對錯誤的部分加強學習，經由不斷的訓練以及新數據的餵取，逐步訓練成準確率較高的決策樹，但缺

點是數據的品質要高，效率沒有 RF 來得好；RF 可以針對多種資料產生高準確度的分類器，同時可以處理大量的輸入變數，即便在資料品質參差不齊的條件下，仍可維持準確度。在此專案中輸入的訓練數據(WellB-WellF)參數為 Depth、Latitude 和 Longitude，輸出的訓練參數為 GR，而輸入的測試數據(WellA)參數同樣為 Depth、Latitude 和 Longitude，輸出的測試參數為 GR。

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
Int64Index: 111233 entries, 0 to 111232
Data columns (total 5 columns):
WellID      111233 non-null object
Depth       111233 non-null float64
GR          111233 non-null float64
Latitude    111233 non-null float64
Longitude   111233 non-null float64
dtypes: float64(4), object(1)
memory usage: 5.1+ MB
['WellA' 'WellB' 'WellC' 'WellD' 'WellE' 'WellF']
WellID Depth GR Latitude Longitude
58196 WellA 6.0 52.4380 48.05511 -102.4166
58197 WellA 6.5 50.4452 48.05511 -102.4166
58198 WellA 7.0 45.8620 48.05511 -102.4166
58199 WellA 7.5 43.8419 48.05511 -102.4166
58200 WellA 8.0 46.4392 48.05511 -102.4166
58201 WellA 8.5 51.9861 48.05511 -102.4166
58202 WellA 9.0 60.2026 48.05511 -102.4166
58203 WellA 9.5 66.0303 48.05511 -102.4166
58204 WellA 10.0 62.1702 48.05511 -102.4166
58205 WellA 10.5 53.0339 48.05511 -102.4166
58206 WellA 11.0 36.9665 48.05511 -102.4166
58207 WellA 11.5 20.1278 48.05511 -102.4166
58208 WellA 12.0 12.0784 48.05511 -102.4166
58209 WellA 12.5 8.4738 48.05511 -102.4166
58210 WellA 13.0 5.7166 48.05511 -102.4166
58211 WellA 13.5 4.3863 48.05511 -102.4166
58212 WellA 14.0 4.1223 48.05511 -102.4166
58213 WellA 14.5 5.5796 48.05511 -102.4166
58214 WellA 15.0 6.7041 48.05511 -102.4166
58215 WellA 15.5 5.7590 48.05511 -102.4166
58216 WellA 16.0 3.8241 48.05511 -102.4166
58217 WellA 16.5 2.8677 48.05511 -102.4166
58218 WellA 17.0 4.4093 48.05511 -102.4166
58219 WellA 17.5 4.6227 48.05511 -102.4166
58220 WellA 18.0 3.4160 48.05511 -102.4166
```

圖 6、WellA – WellF 數據前處理圖。

數據結果視覺化與分析：最後即是將機器學習所預測之 GR 值的結果與實際上測量出來的數值做比較，在此步驟中使用 numpy 進行數據處理、sqrt 進行平方根運算、mean_squared_error 進行均方差運算、r2_score 進行決定係數運算和 matplotlib.pyplot 繪製數據圖，在此專案所預測的 GR 值與實際測量出來的 GR 值(圖 7、圖 8)，平均絕對差為(Mean Absolute Error)約為 15.32，均方根差(Root Mean Square Error)約為 21.25，而決定係數(Coefficient of Determination)約為 0.43，從這些數據得到的結果指示 GR 值預測的結果雖然跟實際測量值還是有差異，而造成差異的原因可能是樣本數不足、資料品質不佳或 RF 內默認的平行運算決策樹不夠多，

但是預測的結果與實際測量的結果趨勢相似，若是能有更多的樣本或是在 RF 中調整參數，相信預測結果能夠更趨近於實際測量的結果。

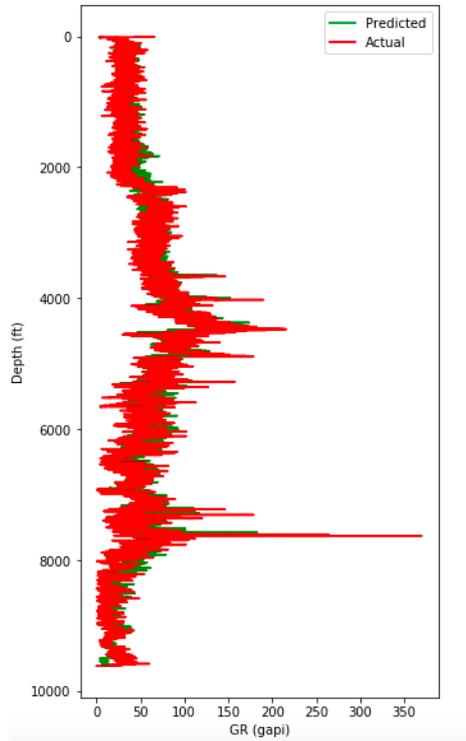


圖 7、WellA 之預測 GR 值與實際 GR 值比較圖。

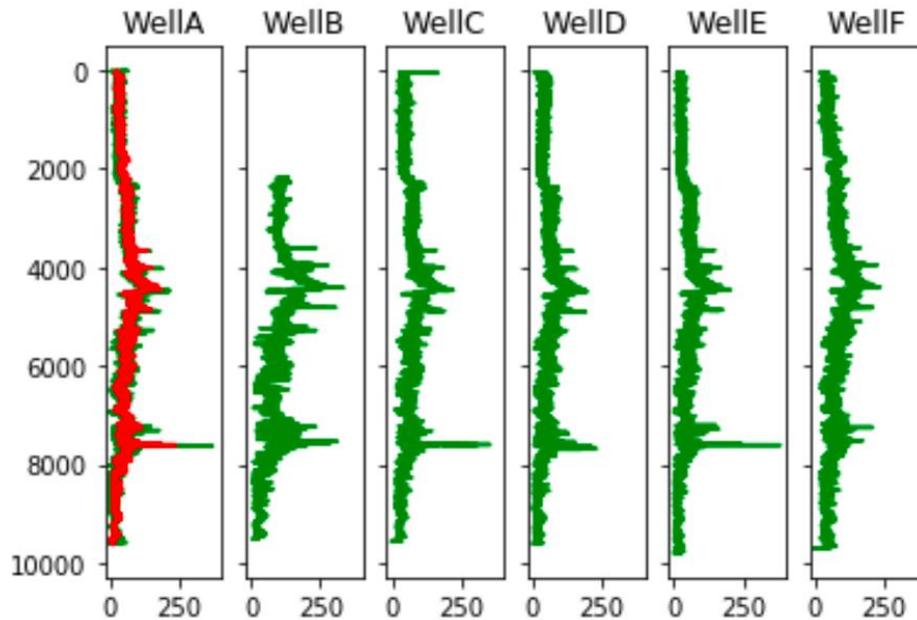


圖 8、WellA 至 WellF GR 值比較圖。

短期課程的下半部為油氣探勘產業中針對非結構性資料與機器學習的入門，雖然主題帶入機器學習的入門，但是因為時間不足的緣故加上上半部已經實際進行上機實作，所以此半部針對油氣探勘產業中非結構性資料進行深入的講解，所謂的非結構性資料，以本單位為例即是舊有的鑽井報告書、探採研究彙報、台灣石油地質、所內研究報告、石油基金報告、未公開的數據資料和礦區評估資料等等，這些資料是長年累積下來的科技結晶，對於長期經手特定礦區資料抑或是這些資料的作者本身，勢必對於特定礦區的探勘風險、探勘成功率、生油岩評估、儲集岩特性和封閉條件等有長期經驗累積下來的見解，此外，資深的專業人員對於資料的存放位置、取得方式和重點摘要皆有其獨特的方法，從以前到現今的經驗傳承，大多也是透過非結構性資料的傳遞而進行。

然而，隨著資深的專業人員一個接著一個退休，新進的職員若無法循序漸進得到資深專業人員的經驗傳承，就勢必要大量搜尋並閱讀舊有的資料，以達到特定技術或是特定礦區特性的理解。在此半部課程中，講師將學員們依照座位位置分組，並給予數張礦區評估報告和礦區生產表現報表，接著透過組員們各自分配閱讀並研究其內容，再經由討論後決定本組所選定的礦區、哪一個生產層、水平井長度和生產方式等選項，由於這些礦區皆有生產表現的資料，只是講師在選項中先隱藏起來，而各組再透過以上的選項組合，講師再回饋給各組所選擇的選項組合其生產表現，經由各組約 40 分鐘的討論達成共識後，每一組所選擇的選項組合不盡相同，因此所得到生產表現也不一樣。講師透過傳遞非結構性資料給學員，再經由分組討論而決定鑽井位置，就像是各大油氣探勘公司長年來在執行的事情，無論最後的生產表現結果是否有達到預期，在解讀這些非結構性資料的過程中便需要多人分工研究並討論，雖然不一定會花費很長的時間，但是這些非結構性資料的取得以及整理，或許就會比研究所花費的時間還要多，因此講師透過分組討論的目的在於若是能夠將資料建立成一個資料庫，由非結構性資料轉為結構性資料，透過資料庫可以快速取得特定礦區的研究報告、特定參數和過去生產

表現，將有助於未來所面臨的人力斷層所造成的經驗傳承不足之問題。

透過統計世界各大油氣探勘公司的人力結構，大約平均每兩個資深的專業人員退休，僅會有一位新進職員進入油氣探勘產業，隨著越來越多資深人員的退休，經驗傳承的問題也會日漸浮現出來，因此將過去的非結構性資料整合為結構性資料是目前各大油氣探勘公司都在著手進行的項目。

會議部分由於口頭演講和海報展示數量眾多，因此選擇其中一項口頭演講進行描述，此項口頭演講歸類在十大項主題中的第二項，碳酸鹽類、蒸發岩及其混合體系主題(Carbonates, Evaporites and Mixed Systems)，其細項則是 Permian 盆地的沉積學與地層學之沉積物來源與沉降(Permian Basin Source to Sink Sedimentology and Stratigraphy)，題目為 Detrital Zircon U-Pb Data from the Permian Basin – Implications for Pangea Assembly, Southern Provenance and Sediment Routing，作者為 Daniel Stockli, Graham Soto-Kerans, Li Liu, Ningjie Hu, Xavier Janson, and Jacob Covault。

此研究目的為了解位於德州 Permian 盆地古生代地層的構造及地層演化過程，研究方法使用鋯石的鈾鉛定年(U-Pb Dating)，實驗樣本之鋯石採自 Glass Mountains, S Delaware 盆地從 Mississippian 至 Late Permian 時期地層的露頭岩樣，鋯石之定年數量共有 1720 筆，以及採自 Midland 盆地 Early Permian (Wolfcampian 至 Leonardian) 時期地層的井下岩樣，鋯石之定年數量共有 3016 筆，Permian 盆地、Delaware 盆地和 Midland 盆地相對位置如圖 9。此研究藉由定年所得到的數據可以指示 Pangea 的碰撞事件以及 Permian 前陸盆地演化時期的沉積物來源區和搬運路徑，過去研究大多認為這些矽質碎屑沉積物來至 Ancestral Rocky Mountains (ARM)或是沿著 Alleghenian-Ouachita 造山帶，而此研究針對 Mississippian-Pennsylvanian-Permian 時期造山到後造山盆地沉積階段，在此區域提供不同且更精細的數據。

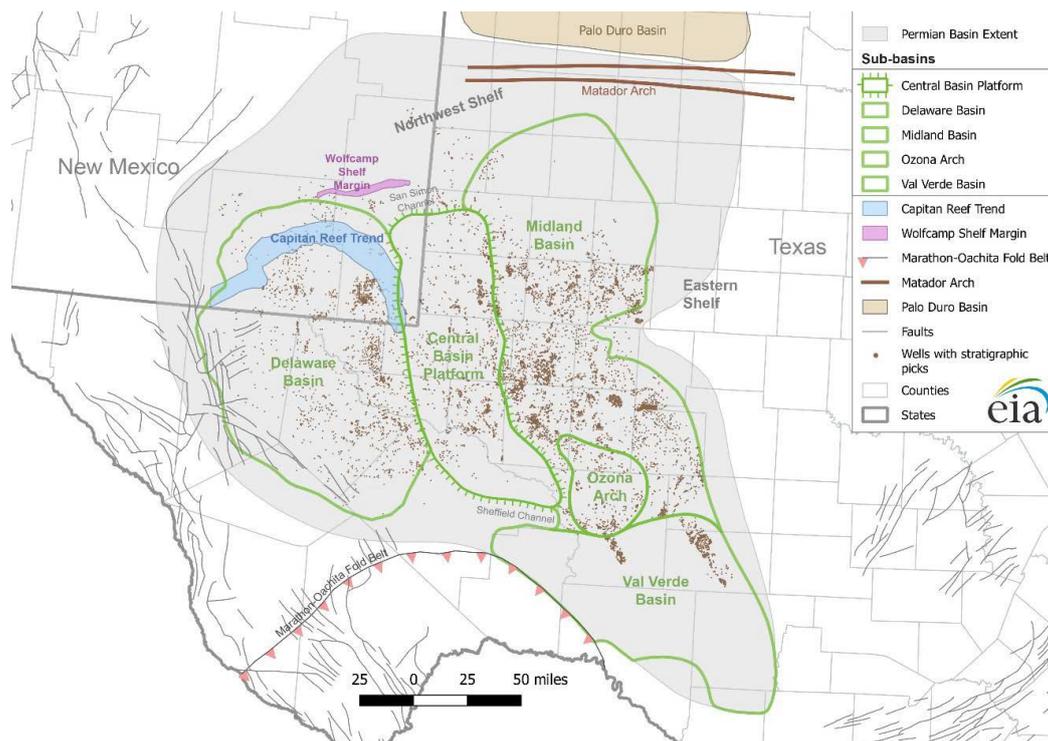


圖 9、Permian 盆地地理位置圖。灰色區塊為 Permian 盆地，西側綠色區塊為 Delaware 盆地，東側則為 Midland 盆地(圖片出處：U.S. EIA)。

Mississippian 時期 Tesnus 地層碎屑銼石定年的結果指示沉積物源來自碰撞事件前南方的來源區，而 Pennsylvanian 時期 Haymond 地層則是指示 Laurentian 大陸邊緣及 Rodinian 地殼張裂之火山碎屑沉積物；向上之地層所得到的定年結果，年代落在 Grenville 時期(1300-920 Ma)有向上減少的趨勢，而落在古生代時期則有向上增加的趨勢，指示從碰撞時期的造山高地的沉積物來源轉變為後期構造活動平緩時期 Gondwanan 內陸的沉積物；年代落在 early-middle Permian 時期代表沉積物來源自構造活動靜止並且為 Cordilleran 造山帶之火成岩。整體而言，碎屑銼石的年代所指示的來源區為 Gondwanan、Rodinian 和 Amazonian，而沒有 ARM 的年代，在南 Delaware 盆地沉積物來自 Marathon 造山帶和 Gondwanan 內陸，而 Midland 盆地則混雜更多 Alleghenian-Ouachita 和 Gondwana 的沉積物。儘管透過同位素定年可以得知沉積物來源，但是需要更多的定年資料、地層研究和層序分析，用來建立複雜的沉積物供應路徑和 source-to-sink 模型。

四、心得及建議

本次參與 2019 AAPG ACE 包含短期課程共四日，有別於學生時期參加的國際研討會，AAPG 在地質科學領域更專注在石油地質、探勘新思維和新技術的發展，透過各個研究主題增添探勘成功機率，能夠參與此盛會對我獲益良多，以下為此次與會心得及建議：

1. 大數據與機器學習在探勘領域的發展：近年來各國熱門的話題便是大數據應用及人工智慧在各領域的發展，隨著硬體效能增加及軟體演算法的精進，這項技術已經是未來應用在探勘方面的趨勢，目的不外乎便是增加探勘成功率、增加工作效率、降低探勘成本和專業知識經驗傳承，即便本身不是資工專長，透過短期課程的訓練與入門讓機器學習及井測資料做結合，也能提供未來公司研究方向新思維，並著手規劃下一步技術發展。
2. 資料庫規劃建立的必要性：隨著越來越多資深人員的退休，經驗傳承的問題也會日漸浮現出來，因此將過去的非結構性資料整合為結構性資料，即是統一格式並且資料與資料之間能夠透過類別或名稱能夠相互連結和比較，花費時間與金錢建立資料庫帶來的未來效益為增加工作效率、減少搜尋的時間成本和資料保存的完整性，這也是目前世界各大油氣探勘公司正在執行的項目。
3. 增加參與國際研討會的機會：本次參加國際研討會，自己能夠得到不僅是開拓視野，也能夠藉由國際學者與專業人員的交流得到新想法，並且跟上國際性嶄新的技術進展，對於自己也能獲得寶貴的經驗。
4. 語言能力的精進：此次短期課程有一個環節是分組討論，即便自己的英文聽力能夠了解講師授課內容或是討論時對方想要表達的意思，但是遇

到最大的問題在於無法流利的闡述心中的想法，閱讀研究報告及報表時也不如母語人士能夠快速吸收及消化內容，因此在分組討論中感到很吃力，建議未來可以多增加國外培訓或是外語訓練課程，讓有興趣精進外語能力的同仁能夠多一些學習的管道，也因為外語能力是需要長期累積的成果，因此也建議需要有長期且多次的培訓計畫，在未來不僅能順利跟外語人士交流，也能加速跟國際創新思維與技術接軌。



圖 10、2019 AAPG ACE 展覽會與海報區全景照片。