

出國報告（出國類別：開會）

**參加 2024 歐洲地科學家與工程師學會
年會(EAGE Annual 2024)**

服務機關：台灣中油公司探採研究所

姓名職稱：林殷田 組長

派赴國家/地區：挪威/奧斯陸

出國期間：113 年 6 月 8 日至 6 月 15 日

報告日期：113 年 7 月 11 日

摘要

本次參加由歐洲地科學家與工程師學會舉辦之 EAGE Annual 2024 研討會於 6 月 10 日至 6 月 13 日在挪威奧斯陸舉行。會議選定的主題是“技術和人才，打造安全、可持續的能源未來”，此次由地主挪威國家石油公司 Equinor 作為主辦方，與會人數超過 6000 人，發表論文超過 1300 篇，算是相當成功且大型的研討會。從主題可看出油公司正在為能源轉型找出路，是非常適合正在轉型中的油公司參加研討，共同面對挑戰與找尋新出路。

在短期安全和負擔得起的石油和天然氣取得是不斷增長的全球人口福祉的先決條件。從長遠來看，以再生能源為主的能源系統過渡並減少剩餘碳排放，是為不斷增長的人口提供宜居星球。而參與的地球科學家和工程師提出各種為解決短期和長期難題做出貢獻，並試圖挑戰永續發展，這些努力將為我們的策略計劃提供重要的視角。與往常一樣，這次會議與各領域專家進行互動、分享和探索想法與論點，都協助建立我們應對未來挑戰所需的網絡。

此次任務主要為地熱相關的技術研討，但由於主題眾多且都相當精彩，因此除了地熱相關技術外，關於碳封存的議題，只要有空檔也盡量參與。除此之外，本次發現參與的油公司對氫能亦投入相當的精力進行研討，但憑己之力，當有衝堂時，無法全數參與，因此在氫能議題上參與不多。由於參加的並不是一般的學術研討會，成員幾乎多為油公司相關成員，因此在討論上會聚焦在在現有的公司成員架構及知識技術基礎上往前推進較為平衡的計劃，重點關注於整體解決方案的技術整合以及石油和天然氣、CCS、可再生能源和基礎設施地球科學之間的交叉融合。

在地熱技術上，地質、地物及地球化學方法皆有相關討論，針對不同地區的地熱系統模擬和評估，涵蓋了封閉迴路地熱系統、盆地規模地熱系統、地殼斷層區的水文熱循環以及紅海北部裂谷區的同位素證據。總體來說，許多論文都強調了地熱能在減少二氧化碳排放和提供穩定能源方面的重要性，但也指出了地熱開發中的挑戰，如地質結構不確定性、鑽井成本和熱傳導效率等。

關於二氧化碳地質封存的主題，探討了不同地區的地下儲層特性以及對碳捕捉和儲

存的應用。這些研究都針對不同的地質區域進行了深入的分析 and 建模，利用自行開發或商用軟體來進行優化計算和模擬，探討地下水流動、岩層壓力和溫度的分佈對儲層的影響。最重要的，這些研究都針對研究區域的地質地層、構造及地質特徵進行了研究，以評估地質存儲潛力，並提出建議和模擬結果，為碳捕捉和儲存提供了有價值的方法，並為未來的研究和應用提供了參考。

目 次

摘 要.....	1
目 次.....	3
圖目錄.....	4
一、目的.....	5
二、過程.....	5
(一) 本任務行程.....	6
(二) 研討會議程.....	6
三、具體成效.....	10
四、心得及建議.....	17

圖目錄

圖一、論文發表場地.....	7
圖二、可隨借隨還的個人電子設備.....	8
圖三、社群討論區.....	8
圖四、社交活動.....	9

一、目的

台灣地處環太平洋火山帶，從北投大屯山到宜蘭、花東分佈許多淺層及深層地熱。經濟部目標在 2030 年開發 200MWe 之地熱電廠，並規劃於 2040 年增長至 2GWe，中油挾著既有鑽井技術及團隊，在地熱開發具有優勢，成為領頭羊。本出國計畫與探採研究所 113 年研究題目「大屯山地熱概念模型」研究地熱流體、地質模型及水文概念模型相關。根據 2023 年的數據，挪威多達 99.04% 的電力來自低碳能源，未來亦規劃開發新的低碳技術以助於滿足未來電力需求的增長。因此在本次研討會中有許多地熱相關議題，內容亦包含地熱建模與資料同化、震測在地熱前景中的價值評估、熱液活動的同位素證據、地熱探勘促進永續能源生產等相關主題，其中「中低焓地熱儲層化學結垢的不確定性分析」更是能提供本公司土場地熱之借鏡。前往參與此研討會應能使本年度研究計畫有所助益，並提升中油公司地熱能開發之能力，以及掌握地熱開發先導研究之國際現況，並於行程中與相關單位，進行地熱探勘之經驗交流。

2024 年 EAGE 年會上的地熱相關論文展示了該領域的最新技術進展和研究成果，並強調了地熱能源在可持續能源轉型中的關鍵作用。這些研究和經驗對於台灣的地熱開發具有重要的參考價值，可以借鑒這些技術和方法來提高宜蘭和大屯山地熱區的開發效率和可持續性。。

二、過程

在 2024 年於挪威舉辦的 EAGE 年會上，許多地熱相關的論文和研究成果被展示，這些論文主要涵蓋了地熱能源的探索、技術創新、地質特徵分析等方面。本次參加由歐洲地科學家與工程師學會舉辦之 EAGE Annual 2024 研討會於 6 月 10 日至 6 月 13 日在挪威奧斯陸舉行。由地主挪威國家石油公司 Equinor 作為主辦方，與會人數超過 6000 人，發表論文超過 1300 篇，算是相當成功且大型的研討會。

(一) 本任務行程

6/8 出發，6/9 抵達挪威奧斯陸，開始準備本次出國任務，行程如下：

6/10~6/13 參加研討會，並針對此次預計任務，【地熱建模與資料同化、震測在地熱前景中的價值評估、熱液活動的同位素證據、地熱探勘促進永續能源生產】等聆聽口頭報告及討論交流，並穿插參加 CCS 相關議題。相關結果將於具體成效一節中闡述。

6/14 離開挪威奧斯陸。

6/15 抵達台灣。

(二) 研討會議程

本次研討會議程與過去參加的學術研討會感受有很大的不同，議程主要分為三大類。技術研討、社群討論、社交活動。以往參加研討會主要著重在技術研討的部分，但此次與會，主辦方安排的議程方式讓我感受的社群討論與社交活動都相當重要。而議程的場地安排也是首次見到如此的舉辦方式。

首先在技術研討議程的安排上，除了基本將相似類別技術研討集中在同一區域，不同技術類別的相互間則離得有點距離。場地間穿插社群討論的活動，讓與會者在穿插不同技術類別研討時，一定會經過社群討論區，增加社群討論曝光度。另外技術研討的場地除了傳統的會議室外，也別出心裁的(也可說是說充分利用空間)將無會議室空間利用布幕、隔板或帳棚隔開成為論文發表場地(圖一)。然而這樣場地的配置方式，可能會造成場地互相干擾、收音不佳或是被鄰人干擾而沒有接收到講者的完整訊息。主辦方則完美的利用出借個人設備解決上述問題，藉由個人電子設備(圖二)，不但可以將講者的內容收聽得更清楚，亦可阻絕場地或鄰人之干擾。

社群討論可視為技術研討的延伸，可在技術研討發表結束後，前去講者方的攤位進行更深入的討論。由於與會者以油公司或能源服務公司為主，因此大多都有展示攤位。每個攤位都布置得相當有特色，在發表完論文後，針對有興趣的與會者介紹其公司的服務、軟體或新發展之技術，並在固定時間有展示活動，無形中招攬了客戶也增加公司的曝光度(圖三)。

最後，主辦方設計的社交活動更是令我大開眼界，過往參與的研討會並無太多由主辦方主導的社交活動，必須由自己主動出擊，頂多有個晚宴讓與會人員進一步交流。這

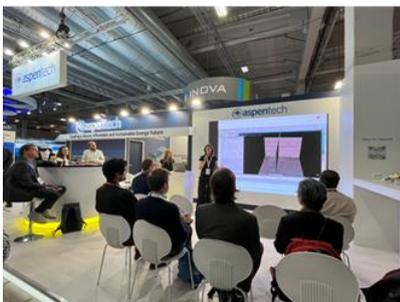
次主辦方則舉辦許多小活動，例如由專業攝影師協助拍攝個人求職或宣傳照(免費)。晚宴部分則是完全離開論文發表場地，將與會者利用船舶載往奧斯陸著名的博物館半島，活動一直進行到將近午夜(可提前自行返回市區)，期間可自由參觀半島上 3 個博物館，並在半島上隨處設置用餐區。自由取用，期間大家的交流比在研討會場上更熱絡，並實質讓與會者相互間更加熟稔，為日後合作可能性開啟契機(圖四)。



圖一、 論文發表場地



圖二、可隨借隨還的個人電子設備



圖三、社群討論區



圖四、社交活動

三、具體成效

(一)地熱

首先先針對參加本研討會前預計達成之目標進行分項闡述，最後再結合研討會中其他論文進行綜合比較並討論如何應用於台灣現有之地熱礦場。

1. 熱液活動的同位素證據：以《Isotopic Evidence for Hydrothermal Activity in the Proximal Rift Zone of the Northern Red Sea Basin》論文為例。

這篇論文主要利用了穩定同位素和放射性同位素的方法來研究紅海北部裂谷區的熱液活動。穩定同位素如氧同位素 ($\delta^{18}\text{O}$)、氫同位素 ($\delta^2\text{H}$)，以及同位素 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 被用來分析熱液系統中的水-岩相互作用和流體來源。利用同位素可以凸顯的特性有：(1) 熱液活動的溫度和來源：氧同位素 ($\delta^{18}\text{O}$) 和氫同位素 ($\delta^2\text{H}$) 比值可用來估算熱液活動的溫度。當水與岩石進行同位素交換時，交換反應的平衡狀態受到溫度的顯著影響，因此可以通過測量 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^2\text{H}$ 來推斷熱液流體的形成溫度。此外，還能用來追溯流體的來源，如區分深層水與天水的混合程度；(2) 水-岩相互作用：銨同位素 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 比值變化可以揭示水-岩相互作用過程中的岩石類型和來源。不同來源的岩石具有不同的銨同位素特徵，通過分析熱液流體中的銨同位素比值，可以了解流體在流經過程中與哪種類型的岩石進行了相互作用；(3) 熱液系統的動力學和演化：熱液系統中的同位素分化過程（即同位素在不同物理或化學過程中分佈的差異）可以提供關於熱液系統演化的動態資訊。例如，隨著流體的上升和冷卻，同位素比值會發生變化，這可以反映出流體流動路徑和系統的演變過程；(4) 區域地質環境的影響：通過對比不同地點的同位素數據，可以了解區域地質環境對熱液系統的影響。例如，不同裂谷區的同位素特徵可以反映出各自的地質背景和熱液活動特徵的差異。

研究結果顯示了古代和現代熱液活動的地球化學證據，發現深層水和地表水的交互作用導致了區域內不同類型的鹵水和次生礦物的形成。區域最低溫度達到 220°C ，表明了深層熱液活動的存在。透過利用穩定同位素和放射性同位素的方法，成功揭示了紅海北部裂谷區熱液活動的溫度、流體來源、水-岩相互作用過程及其演化動態，從而提供了對該區域地質和熱液系統的深入理解。這些同位素研究方法為探討其他類似地質環境中的熱液活動提供了寶貴的參考。而類似方法今年正應用於大屯山地熱水文概念模型，其經驗正好可以借鏡。

2. 中低焓地熱儲層化學結垢的不確定性分析：以《Uncertainty Analysis of Chemically Induced Scale Formation in Low to Medium Enthalpy Geothermal Reservoirs》論文為例。

這篇研究透過不確定性分析，探討了地熱系統中化學誘導的沉積物形成的關鍵因素。評估了九種常見水組分和溫度對總沉澱固體礦物的影響。使用了專門用於水化學計算的開源軟體 PHREEQC 進行建模運算，這也是本公司在計算水化學平衡中常用的軟體。在地熱儲層中， HCO_3^- 、Si、 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 離子對固體沉澱的影響是相對顯著的。研究結果顯示，地熱儲層中 HCO_3^- 和 Si 離子含量較低或顯著高的情況下，固體沉澱較少； Ca^{2+} 含量較低的地熱儲層更容易產生較少的固體沉澱。關於溫度變化及其對地熱系統中固體沉澱的影響，研究的關鍵發現， SO_4^{2-} 離子的存在也對固體沉澱產生影響。在低於 20°C 的溫度下，高濃度的 SO_4^{2-} 會對固體沉澱產生負面影響；而在較高溫度下，低 SO_4^{2-} 值也可能產生負面影響。研究結果對地熱廠的營運提供了寶貴見解，指出了地熱儲層中固體沉澱的潛在風險。並建議不同地熱廠應針對區域性的水化學組成和溫度進行建模運算，並動態調整地熱電廠的營運模式。由於宜蘭地熱過去曾有結垢造成發電量降低，因此這也是本所對於土場地熱區正在進行的重點研究之一。

3. 地熱建模與資料同化：以《Simulation of Closed-loop Geothermal Systems》及《Improving Regional Geothermal Reservoir Characterization Using Forward Stratigraphic Modelling on the Danish Gassum Formation》進行討論。

《Simulation of Closed-loop Geothermal Systems》這篇文章主要針對深層封閉迴路地熱系統進行的模擬研究。研究中使用了三種主要的模擬工具，分別是 GWellFM、GTW 和 COMSOL Multiphysics®。這些工具被用來模擬深層同軸鑽孔換熱器的性能，以評估封閉迴路地熱系統的可行性和效率。

三種模擬工具的特色分別為：

(1) GWellFM (Geothermal Well Flow Model)：開發者為 IFP Energies nouvelles (IFPEN)，主要進行穩態 1D 非等溫軸對稱兩相流模擬器。解決岩石中的 2D 瞬態熱流問題，假設流體處於穩態熱狀態。流體處於熱力學平衡，集成多種狀態方程以提供熱力學性質。與 3D 裂隙流模擬器 FraXim 耦合，用於對流熱傳導和裂隙中流體流動的情況。

(2) GTW (Geo-Thermal-Well)：開發者為 Institute for Energy Technology (IFE)，主要進行單相和半瞬態地熱模擬器，使用圓柱座標。解決岩石中的熱傳導冷卻問題，流體流動平行於井筒時的熱對流問題。使用能量守恆有限體積法解決岩石和井筒中的能量守恆。流

體的連續性和動量方程假設為穩態一相流，使用表格化熱力數據。

(3) COMSOL Multiphysics®：開發者為 VITO，主要特色基於有限元法的商業軟體，用於多種物理和工程應用。允許用戶設計數值域，耦合不同物理過程，求解所得偏微分方程並對結果進行後處理。

在基準測試中，與其他模擬器和 Ramey 的解析解進行比較，顯示出良好的一致性。這些模擬工具被用於設計能夠提供 1 MW 熱水的地熱系統，並展示了當地熱梯度為 30 °C/km 時，至少需要 3 公里深的井和 3 公里長的水平段。模擬結果顯示，隨著時間的推移，能量產出的下降非常緩慢，可能持續超過 100 年，注入溫度為 30°C，輸出溫度在 50 年後仍保持在 70°C 以上（除最淺的測試井外）。這些模擬方法和工具通過詳細的數值模擬和基準測試，提供了對深層封閉迴路地熱系統性能的深入理解，為地熱能的開發和優化提供了重要依據。

《Improving Regional Geothermal Reservoir Characterization Using Forward Stratigraphic Modelling on the Danish Gassum Formation》這篇文章展示了利用地層建模的方法來改進丹麥 Gassum 層的地熱儲層特徵。該方法整合了地質、地球物理和岩石物理數據，以增強對儲層特性的理解，提高探勘成功率。丹麥 Gassum 層是一個重要的地熱儲層，但具有複雜的地質結構，此模式提供了詳細的沉積過程和儲層結構。數據來源包括鑽孔記錄、震測數據和岩芯樣品，提高了模型的準確性。使用 3D 震測成像等地球物理調查方法識別關鍵結構特徵；岩石物理分析幫助確定儲層特性，如孔隙度和滲透率。此研究強調了理解沉積環境對儲層特徵的重要性，模型預測了 Gassum 層內地熱資源的空間分佈，並改進的儲層特徵化導致更高效的探勘和生產策略，該方法可應用於具有類似地質環境的其他地熱儲層。

4. 震測在地熱前景中的價值評估：以《Geophysical Survey to Investigate the Deep Structure and the Geothermal Potential of Methana Volcano, Greece》及《VOI Geothermal Seismic- an assessment of the value of seismic survey in geothermal prospects》進行討論。

《Geophysical Survey to Investigate the Deep Structure and the Geothermal Potential of Methana Volcano, Greece》這篇研究通過地球物理調查探索了希臘 Methana 火山的深部結構和地熱潛力。Methana 火山位於希臘東北部 Peloponnesus 地區，主要由安山岩和英安岩組成。研究目的是通過分析火山和地熱活動的控制斷層，確定最有潛力的地熱勘探區域。研究使用了舊的航空磁力數據和新的地面重力和磁力數據，結合 3D 逆推技術生

成地下結構模型。航空磁力數據顯示出火山穹丘的位置和範圍，地面數據則提供了更多細節，特別是在半島南部。磁力異常分佈與地質圖高度一致，顯示火山穹丘的存在。3D 逆推模型顯示了地下火山結構的空間和深度範圍，特別是在東西向上。

這些模型還顯示了火山活動的主要區域，這些區域對地熱勘探最有潛力。Bouger 異常圖顯示地熱活動影響了風化形成的密度，低重力值區域顯示出地熱活動的影響。研究發現，Methana 火山的地熱潛力集中在幾個主要區域，這些區域的地質和構造特徵有利於地熱能的提取。結合地質和地球物理數據，研究確定了最有潛力的地熱勘探區域，並建議在這些區域進行地熱勘探鑽井。總結來說，Methana 火山具有顯著的地熱潛力，地球物理調查結果與地質分析結果相一致，確認了主要地熱勘探區域。這項研究強調了綜合使用地球物理方法來評估地熱潛力的重要性，為 Methana 火山的地熱資源開發提供了重要的數據支持。

《VOI Geothermal Seismic- an assessment of the value of seismic survey in geothermal prospects》這篇研究評估了在地熱勘探中使用震測調查的經濟價值，主要探討了不同情境下 3D 震測數據的應用價值。研究使用了 VOI (Value of Information) 理論，將其應用於震測數據，並比較了有無震測數據情況下地熱系統模型的經濟價值。

研究結果表明，在大型勘探項目和缺乏可靠資訊的情況下，3D 地震調查具有經濟可行性。特別是在多井規劃和缺乏先前資訊的情況下，3D 震測數據能顯著降低井設計的風險，提供更準確的地下結構資訊。研究強調了在地熱勘探中使用震測數據進行風險評估的重要性。VOI 方法通過比較有無震測數據情況下的經濟價值，提供了一個標準化的評估框架。研究結果顯示，3D 震測數據在多井規劃和缺乏可靠資訊的情況下，具有較高的經濟價值。而在激勵生產情境下，需要更加謹慎地評估震測數據的經濟效益，在多井規劃和缺乏可靠資訊的情況下，具有顯著的價值。研究建議在地熱系統評估中標準化 VOI 分析，並將其擴展至其他測量技術，如被動地震數據，以進一步提升地熱勘探的準確性和經濟效益。

5. 地熱勘探促進永續能源生產：《Groundwater Hydrothermal Circulation Modeling in Crustal Fault Zones- Geothermal Systems Uncertainty and Risk Assessment》這篇論文主要討論了地殼斷層區中的水文熱循環模型及其對地熱系統的不確定性和風險評估。雖然重點是深層地熱系統，但文中也提到了淺層地熱的重要性，特別是在早期地熱資源開發和風險評估中的角色。

(1) 淺層地熱系統的特性：淺層地熱系統主要指在地表下數百米到幾公里深度範圍內的

地熱能資源；這些系統通常利用地表或近地表的高滲透性裂縫和斷層進行熱傳導和對流；在淺層地熱系統中，地熱流體通過滲透性較高的斷層或破碎帶向上流動，並在地表形成熱泉或蒸汽孔，這些現象顯示存在活躍的地熱系統。然而，淺層地熱系統的風險評估較深層地熱系統更為複雜，因為淺層系統受地表條件和淺層地質結構的影響較大，這些因素的變化會顯著影響地熱資源的可開發性。但其投資成本較低，適合小規模和分散式的地熱利用，如家庭供暖或小型商業設施且回收期較短，但能量產出有限，難以滿足大規模的能源需求。

(2)深層地熱系統的特性：深層地熱系統通常指地表以下幾公里至數十公里深度範圍內的地熱能資源。這些系統的開發需要更高的技術和經濟投入，但也帶來了更大的能量產出和經濟效益。深層地熱系統通常具有更高的溫度和壓力，因為地殼深處的地熱梯度較大，能夠提供穩定且高效的能量來源；這些系統能夠支持大規模的發電和供熱應用，如城市集中供暖或大型工業設施的能源需求。但其投資成本較高，涉及深井鑽探和高壓設備，但具有更高的能量產出和長期經濟效益，能夠支持大規模的發電和供熱系統，具有更高的經濟回報潛力，特別是在能源需求高且能源價格昂貴的地區。

6. 火山沉積層序：《The reservoir characteristics of volcano-sedimentary sequences along the NE Atlantic margins》這篇論文探討了位於 NE 大西洋邊緣的火山沉積序列的儲集特性，從 Rosebank Field 的矽質碎屑砂岩儲集到 Kolga High 在挪威中部的最新綜合大洋鑽探計劃(Integrated Ocean Drilling Program, IODP)科學鑽探結果。這項研究突顯東北大西洋離岸火山沉積序列的多樣儲集潛力，主要探討二氧化碳封存的潛力，同時也探討其在能源轉型中的可能作用。由於大屯山地熱區主要為火成岩系統，因此特別參加此場研討，討論其在地熱上應用可能性。筆者將於下節進行各地實例與台灣現況及沉積岩、變質岩與火成岩系統的綜合討論。

7. 綜合討論：本次會議展示了來自全球不同地區的地熱開發案例，包括歐洲、北美和亞洲等地。這些案例研究提供了寶貴的實踐經驗，對於其他地區的地熱開發具有重要的參考價值。總體來說，各篇論文都強調了地熱能在減少二氧化碳排放和提供穩定能源方面的重要性，但也指出了地熱開發中的挑戰，如地質結構不確定性、鑽井成本和熱傳導效率等。

地下特徵對地熱專案的經濟可行性有重要影響。通過準確瞭解地下岩層的特性，包括岩性、斷層屬性和儲層岩性等，可以幫助確定地熱資源的分佈和可利用性，從而影響

專案的開發方案和經濟效益。地下特徵的不確定性可能導致對地熱資源量、產能和開發成本的錯誤估計，進而影響專案的盈利能力和可持續性。因此，通過全面的地下特徵表徵，可以降低開發風險，優化開發方案，提高地熱項目的經濟可行性。

用於評估地熱系統不確定性來源的三個關鍵績效指標包括：累積產生的能量、系統壽命和經濟產出。這些指標可以幫助衡量地熱項目的整體表現，並讓決策者在面對不確定性時制定有效的發展策略。通過綜合考慮這三個關鍵績效指標，可以更全面地評估地熱系統的不確定性，並為可靠的地熱開發預測提供支援。

在地熱開發中考慮跨不同層次和績效指標的綜合不確定性是非常重要的。這是因為地熱專案涉及多個方面的不確定性，包括地下特徵、開發選項和經濟參數等。通過綜合考慮這些不確定性，可以更全面地評估地熱系統的風險和潛在影響，從而制定更可靠的開發策略和決策。同時，綜合分析不同層次和績效指標的不確定性可以幫助優化資源利用、降低開發成本，並最大程度地提高地熱專案的經濟效益和可持續性。

不同沉積系統在地熱開發應用之異同及其開發可行性討論如下：

- (1) 火山層積序列主要利用火山岩中的熱能，而沉積岩系統則依賴地下沉積岩層中的熱能，變質岩系統則是依靠地殼深部的高溫高壓環境。
- (2) 火山岩通常具有較高的熱傳導性，有利於熱能的傳遞和利用；而沉積岩和變質岩的熱傳導性較低。
- (3) 火山層積序列中的火山岩可能存在較高的地熱潛力，但也受到火山活動的影響；而沉積岩和變質岩的地熱潛力相對穩定。
- (4) 火山層積序列的地熱開發可能面臨地質風險，如火山噴發或地震等；而沉積岩和變質岩系統的地熱開發風險相對較低。
- (5) 火山層積序列的地熱開發技術相對較新，需要更多的研究以提高開發效率；而沉積岩和變質岩系統的地熱開發技術較為成熟。
- (6) 火山層積序列的地熱開發可能對周邊環境造成較大影響，需要更嚴格的环境監測和管理；而沉積岩和變質岩系統的地熱開發對環境影響相對較小。
- (7) 火山層積序列的地熱開發成本可能較高，但若能有效利用火山岩中的熱能，可能帶來可觀的經濟效益；而沉積岩和變質岩系統的地熱開發成本相對較低。

總體來說，火山層積序列在地熱系統上的應用具有獨特的特點和挑戰，需要綜合考慮地質特徵、技術成熟度、環境影響和經濟效益等因素，以確定其開發可行性。

國際案例可參考性如下:

- **Gran Canaria 案例研究：**
 - 地質測繪和地球物理調查：可以採用 **Gran Canaria** 研究中使用的地質測繪和地球物理方法（如磁測和震測方法）來識別和繪製地熱區的地下結構，特別是裂隙系統。
 - 地球化學分析：對於地熱區的溫泉和地熱井水進行地球化學分析，以了解地熱流體的組成和特性，有助於評估地熱潛力。
 - 環境和經濟可行性：考慮 **Gran Canaria** 研究中對環境影響和經濟可行性的評估，制定地熱開發計劃。
- **丹麥 Gassum 層研究：**
 - 地層建模：地層建模技術仍可應用於理解裂隙系統的分佈和連通性，提升地熱儲層特徵化的準確性。
 - 數據整合：整合多種地質、地球物理和岩石物理數據，提升模型的準確性和對儲層特性的瞭解。
 - 儲層特徵化：應用岩石物理分析方法，確定地熱區裂隙系統的孔隙度和滲透率，提升儲層特徵化。
- **大盆地地區研究：**
 - 隱藏地熱系統識別：大盆地研究中使用的間接地球物理方法（如重力測量和磁測）可識別隱藏的裂隙系統和地下熱源。
 - 3D 地質建模：利用 3D 地質建模技術，建立地熱區的詳細地下模型，以提高對裂隙系統的理解和地熱資源的評估。

(二)二氧化碳封存

由於二氧化碳封存非本次主要任務，筆者將只簡述此次研討會之重點，此報告中不進行細部討論。關於地質儲層存儲的主題，探討了不同地區的地下儲層特性以及對碳捕捉和儲存的應用。首先，這些研究都針對不同的地質區域進行了深入的分析 and 建模，以研究二氧化碳封存的潛在應用。其次，這些論文中都使用了各種數據分析技術和模型，如 **MATLAB Reservoir Simulation Toolbox**，來進行優化計算和模擬，來探討地下水流動、岩層壓力和溫度的分佈以及對儲層的影響。最後，這些研究都對地區的地質地層、構造及地質特徵進行了研究，以評估地質儲存潛力，並提出建議和模擬結果，為碳捕捉和儲存的實踐提供了有價值的信息。總的來說，這些研究都對地下儲層儲存有所助益，並為

未來的研究和應用提供了參考。

相關論文展示了最新的研究成果和技術進展。主要集中在以下幾個方面：

- 1. CCS 監測技術：**此次研討會特別強調了 CCS 項目中 CO₂ 注入與移棲的監測技術，包含了科學性數據和應急措施，以及如何在成本效益和數據準確性之間取得平衡，以確保在合適的時間獲取正確的資訊。
- 2. 數位地層模型的應用：**許多論文探討了數位地層模型在 CCS 中的應用，特別是在海上可再生能源容量增加的背景下。這些模型有助於提高地下結構的理解和預測能力，從而支持碳封存的實施和監控。
- 3. 地球物理技術的融合與應用：**AI 技術與地球物理數據解釋的結合成為了一大亮點。研究顯示，通過融合人類專業知識和 AI 的進步，可以顯著改進地震解釋和儲層表徵，從而提升 CCS 的效率和效果。
- 4. 挑戰與策略：**部分論文深入探討了 CCS 項目中面臨的技術挑戰及其應對策略。這些挑戰包括高解析度速度模型的生成、反射波的解釋問題以及模型參數耦合的問題。討論了多種解決這些問題的方法和未來的研究方向。
- 5. 人才培養與教育：**針對能源轉型背景下的 CCS 技術需求，研討會強調了人才培養的重要性。多所歐洲大學和主要行業公司共同討論了應對氣候變化挑戰所需的新地球物理監測方法，以及教育和研究需要如何適應這些變化。

四、心得及建議

職很榮幸能代表中油探採研究所參加本次 2024 歐洲地科學家與工程師學會年會 (EAGE Annual 2024)，內容非常豐富，除了聆聽最新研究動態之外，會中各自提出案例，藉由各專家其豐富之實務經驗給予建議及應對方案，透過交流增加合作機會。整體心得整理如下：

地熱能源的技術創新：多篇論文探討了地熱能源技術的最新進展，尤其是在探勘和開發技術方面。研究展示了如何利用新創技術提高地熱能源的探勘效率，如高精度震測成像技術和新型鑽探技術，這些技術有助於更準確地定位地熱資源並降低探勘風險。

地質特徵分析：一些研究重點介紹了不同地熱系統的地質特徵及其對地熱開發的影

響。例如，有論文對變質岩系統和火山系統的裂隙特徵進行了詳細分析，這些研究對於了解地熱資源的分布和開發潛力具有重要意義，且可借鏡於我國土場地熱(變質岩系統)及大屯山地熱(火山系統)。

可持續發展與環境影響：許多論文探討了地熱開發對環境的影響及其可持續性。研究指出，通過採用更環保的技術和方法，可以最大限度地減少地熱開發對環境的負面影響，並強調了地熱能源在全球能源轉型中的重要作用。

案例研究：本次會議展示了來自全球不同地區的地熱開發案例，包括歐洲、北美和亞洲等地。這些案例研究提供了寶貴的經驗，對於其他地區的地熱開發具有重要的參考價值。例如，有論文介紹了丹麥和西班牙的地熱開發經驗，這些經驗對於宜蘭和大屯山等台灣地熱區的開發具有啟示作用。

多學科交叉與合作：本次會議強調了地熱能源研究中的多學科交叉和國際合作的重要性。多篇論文展示了地質學、工程學、環境科學等多學科的協同合作如何推動地熱能源的發展，並強調了國際間的經驗交流 and 技術合作在提升地熱能源開發效率和可持續性方面的作用。