



編者的話

柳志錫

主題：地質能源與減碳之大地工程

翻開人類發展史，因為工業革命導致產業快速發展，加上人類過度使用化石燃料，已影響到全球氣候且發生了快速的變化，時至今日，減碳已變成一個全球人類無法迴避的議題，從1997年的京都議定書，其目標是將大氣中的溫室氣體含量穩定在一個適當的水準，到2016年巴黎協議中，努力目標為將全球氣溫上升控制在1.5度內，並指出2050年全球必須達成淨零碳排，以減輕氣候變遷可能導致的災難性影響。而隨著相關議題的持續演進及發酵，除了鼓勵產業主動減碳外，歐美等先進國家也將透過碳稅的機制來降低碳排放，因此淨零轉型已經不只是環保議題，更會是影響產業國際競爭力之經濟議題。時值2022全球氣候高峰會COP 27在埃及夏姆錫克(Sharm El-Sheikh)召開之際(開會期間為2022.11.06-18)，減碳議題又再度受到全球人們的關注，此時地工技術174期以地質能源與減碳之大地工程為主題，共有11篇論文及1篇工程報導，內容涵蓋國家地熱資源調查策略、探勘及開發技術發展、及民間地熱電廠建置實務簡介；在去碳技術方面，則有與二氧化碳封存相關之場址調查、安全監測、數值模擬及注儲井鑽鑿等技術之介紹，上述這些減、去碳技術均與大地工程息息相關，恰好凸顯地工技術在全球及國家未來淨零碳排的發展路徑上也可以扮演更積極的角色，共同為世紀減碳大計畫一份心力。

地熱發電是將地球內部的龐大熱能透過天然或人為的方式導引至地表來進行發電，是一種可以循環利用的基載型潔淨能源，且

臺灣位於太平洋火環帶上，地熱資源豐富，因此是繼太陽光電與風力發電以後，第三個國家重點再生能源發展項目。但是因為地熱開發的風險在於地下資源的不確定因素高，需要完整的調查及探勘加以配套方可降低開發風險及吸引投資，針對這一部份，中央地質調查所陳勉銘組長等作者詳述國家的地熱資源調查策略，強調須透過多元地質科學探勘及相互驗證，方能建構合理的三維地熱地質概念模型，並提高地熱開發的成功率，近年來也完成大屯山、宜蘭、花蓮、臺東等區域的場址探勘，且透過地熱探勘資訊平台公開相關資料，是國內地熱電廠建置開發重要的參考資訊。另外也提及非技術性的障礙如土地取得、與利害關係人的溝通也是開發上的重點議題。

地熱資源型態可概分為火山型及裂隙型，台灣中油公司張璋倫研究員等指出火山地區地溫梯度高，地底若有裂隙及水源可能發展成有潛力的地熱儲集層，然而因岩漿庫含有鹽酸蒸氣、硫化氫蒸氣等腐蝕物質，其和地層礦物或流體反應後最終可能形成嚴苛的腐蝕環境，若要進行開採，建議可透過抗腐蝕材料的選用或對流體進行酸鹼中和來開發。

裂隙型的地熱系統主要分布在變質岩區，存在地下深部之熱液會沿著地質裂隙構造外擴或上湧，因此開發時之重點為釐清地下之裂隙構造系統，而在相關的探測技術中，大地電磁法是最常被應用的關鍵技術，但臺灣的地熱區常位於高山峻嶺間，調查作業困難度高，工研院董倫道博士等作者指出透過順推與逆推模擬，顯示如果三維網格無法

2 編者的話

妥善模擬真實地形，將導致逆推的地下電性結構受到扭曲，無法用於後續地熱構造解釋。因此其研究提出逆推模擬三維網格需符合：邊界距離要足夠遠，測點處第一層的厚度要足夠小及水平網格要適當小等條件，並據以模擬真實地形及降低靜態偏移，該方法已成功應用於臺灣東部地熱潛能區的地熱潛能探勘。另外陳宜琪副研究員認為對於變質岩裂隙型地熱，瞭解熱儲集層溫度是開發潛能評估的重要參考依據，並介紹透過地球化學調查可以瞭解泉質，做為熱液來源以及結垢趨勢之研判，亦可推估地熱流體於儲集層之溫度，論文中也針對臺灣花東地熱潛能區做初步的統整說明。

地熱井是地熱開發過程中最重要角色，但井的生產量與岩層裂隙及導水能力息息相關，如何改善或提升原有裂隙之功效，或更進一步創造新的裂隙通道變成地熱能開發之重要課題。陳柏翰副工程師等作者透過對地熱井之激勵技術進行通盤比較，考慮臺灣之現況資源利用可行性及社會面情況，認為熱破裂技術應可被用來改善裂隙導水能力，進而提升注水能力之最佳處理模式；另外亦建議應盡快引進水力液裂技術，對於未來發展深層地熱也可及早佈局。而岩層的水力液裂技術與岩體的材料、應力及組構行為關聯密切，以臺灣東部常見之板岩地熱區而言，岩體存在複雜的異向性，陽明交通大學翁孟嘉教授等作者提出全新的異向性岩石破壞準則，並建立熱力-水力-力學耦合模型進行模擬，可模擬異向性岩體在不同注水率下引致剪應力、壓力場及應變場產生的變化，結果顯示當注水量大於安全閾值時，儲集層岩體具顯著破裂之可能性，這項結果可作為未來國內發展水力破裂技術的重要參考。

在地熱電廠建置開發實務方面，本期之工程報導由黃峻彬經理介紹位於臺東縣金崙之全陽地熱金崙電廠開發案例，介紹該電廠

之建置過程，包括申設過程、生產井鑽鑿與產能測試、及運轉發電，其成功經驗值得產業界參考。

地殼深度介於5公里至35公里之間，是地球最外層的結構，主要由不同岩石所構成。其深部除了龐大熱能可供運用外，也可找到合適的孔隙空間用以儲存人為的液體、氣體或固體，二氧化碳地質封存即是重要的應用標的之一。臺灣大學劉廷毅先生等作者介紹位於日本北海道的苫小牧海域碳封存示範場址，其在2017-2019年間，已成功注入約30萬噸的CO₂，並仍持續監測中。並提到日本METI透過7種關鍵條件評估碳封存場址，並發展及應用不同地物探勘技術，及整合鑽井分析資料發展模擬技術等，而透過2018年Mw 6.6的北海道地震案例分析，也驗證了地物技術整合井下資料的必要性與海域碳封存未來發展的可行性。但至今為止，二氧化碳封存的最高障礙仍為人們對於安全性的質疑，因此為了能安全有效進行地質封存，對封存場域進行監測為不可或缺的工作。工研院楊雅梅博士等人分析本世紀起國際間產官學研展開碳封存的各類監測研究，及已出版監測相關的實務手冊、標準指引與資料庫，並介紹最新國際上應用於封存場址的各類監測技術，及涵蓋場址安全操作所需之核心技術以及環境管理所需之保障性監測技術，有助於讀者對二氧化碳封存場之監測技術有基本的認識。

二氧化碳地質封存與二氧化碳油氣增產技術的工程原理相似，因此成功大學謝秉志教授等作者指出油氣增產技術中的地質與岩石物理學分析、數值模擬技術、以及與注入井相關的任何技術都可以應用於二氧化碳地質封存。但也需要瞭解碳封存與二氧化碳油氣增產仍有些許相異性，這包含生產井的技術應用、計畫經濟性、專案計畫的時間尺度、以及對監測技術的應用度。

與地熱發電相似，二氧化碳地質封存最重要的工作是鑽井工程，中興工程顧問社俞旗文博士等作者介紹位於彰濱工業區崙尾區之探勘井案例，該井以泥漿工法深鑽3000m並取得岩心1379m。而透過深鑽取心，可確認二氧化碳地質封存目標層層序與各層頂部高程與厚度，並取得必要評估參數，從而建立新的碳封存發展所需之區域地質模型。

無論是地熱發電或二氧化碳封存，都是運用地球本身的地質條件達到減碳或去碳的目的，臺灣位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊碰撞聚合邊界，是活躍的板塊交界帶，地震事件頻繁，彭筱涓研究員等作者指出透過密集地震觀測及相關調查分析成果可應用於地熱及二氧化碳封存場址之調查與監測，並介紹如地震定位、地層速度成像及地震活動度分析等技術應用實例。

從各種研究資料均顯示地球各角落正面臨氣候變遷的衝擊，近期為實現氣候正義，碳權的概念也逐步落實在全球人類的生活，淨零碳排將不只是政府或排碳大企業的事，而是各行各業應重視的事。大地工程師有幸對於地球資源的開發與應用有較深入的認識，因此在地質能源與減碳議題上，應更有發揮的空間，希望透過這一期地工技術的專題介紹，能讓大家有更深入的瞭解，共同投入淨零碳排救地球的行列。

本期尚有王俊翔、黃俊鴻先生介紹關於離岸風機基樁軸向承載力計算方法，對於國內離岸風電之開發具有工程面之參考價值；另外專欄：薪傳～由陳正興名譽教授現身說法勉勵地工界的朋友們，啟示大地工程師承先啟後的永恆價值。

最後則感謝地工技術基金會的邀請，及各篇受邀作者百忙之中辛勞的專業創作，也感謝各位審稿人之專業斧正，及在眾人的協助下才能讓本期內容更加完善並得以順利出刊及嘉惠各領域的讀者，均在此一併致謝。