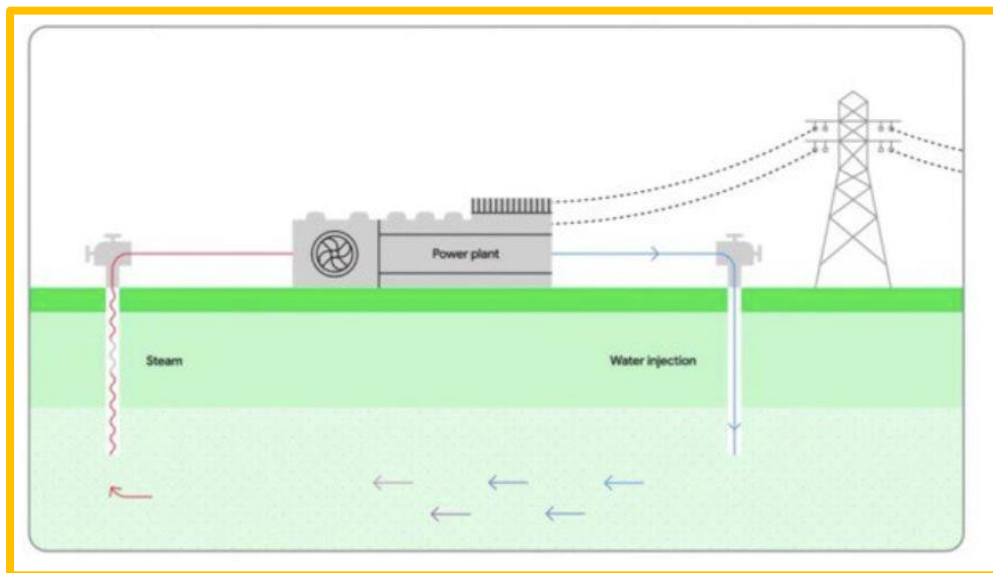


0.1%的地熱能源便可供全球使用 200 萬年，人類未來僅靠地熱便能生存？

據美國先進能源計畫署的預估，僅依賴全球 0.1%的地熱能源，就能讓全人類用上 200 萬年。地熱最大的優勢在於發電穩定，可作為基載能源且不受空間限制，不像風力、太陽能…等再生能源，只能建在開闊地區，而發電量受環境影響，非常不穩定，連帶需要大量的電力儲存設備以穩定供電量，地熱在使用上較其方便許多。

譬如 Google 在美國內華達州的數據中心以及準備興建的全新總部，便選擇地熱發電作為太陽能的輔助，以提升產電的穩定性並藉此推動綠能運作目標。

以在同樣時間內發電 5MW 計算，地熱發電只需 270 坪土地，約比一座網球場大一點，為太陽能所需土地面積的 1%，風力發電的 0.1%。然而目前即使在擁有 60 座地熱發電廠，使用地熱最廣泛的美國，仍然只有 0.4%電力來自於地熱，地熱的缺點究竟為何呢？

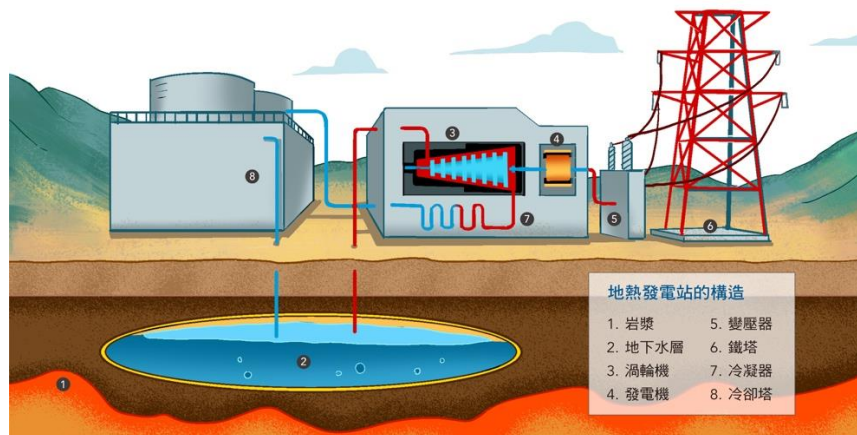


初期投資金額高昂且難以快速複製，導致地熱難以普及：

理論上只要挖掘夠深，全球都能生產地熱，然而實際上世界上使用地熱發電的國家只有 29 個。由於開鑿地熱井非常昂貴，且目前技術處於初期階段，因此難度極高，而目前天然氣、風力和太陽能等能源價格持續下降，因此在地熱拓展

較困難的地區便沒有經濟利益上的開採動機。GreenFire 能源公司執行長席勒便因此指出：「預估全球 98%的地熱能源無法使用傳統的地熱開採技術取得。」

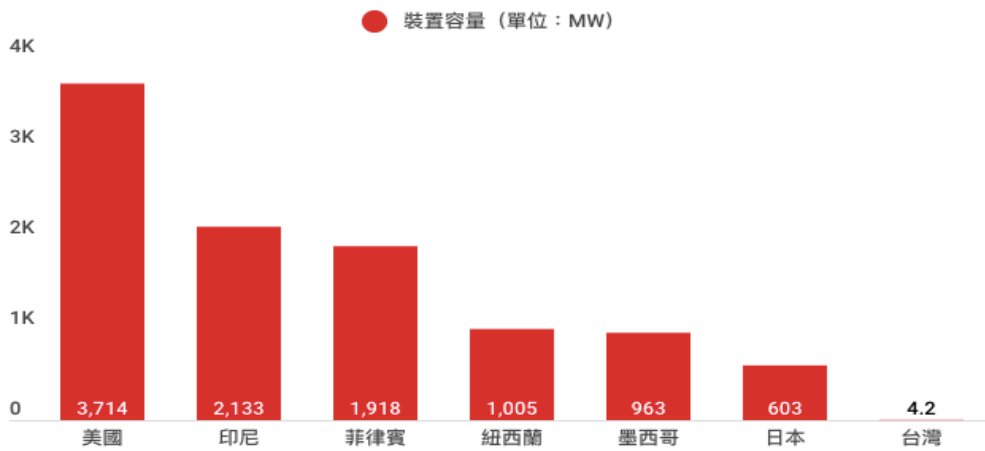
除了初期投資金額高昂，導致許多地區卻步外，地熱仰賴地底地形結構的開發方式，使其難以快速複製，因此目前市場預期地熱市場成長較為緩慢，未來 10 年的複合成長率（CAGR），僅約 4~6%。



雖然地熱的初期建設成本高，為風電、太陽能的 1~2 倍，但其後續發電成本低廉（低於離岸風電，約略等同於太陽能），因此在部分國家具有高度競爭優勢，台灣便是其中之一，目前位於太平洋火環帶上的所有國家中，唯獨只有台灣沒有商業規模的地熱發電，台灣地熱資源豐富，全島已發現超過 100 處溫泉與地熱潛能區，此外地熱發電佔地面積小的特性，正能解決台灣迫切發展綠能卻又受限於土地面積的困境。

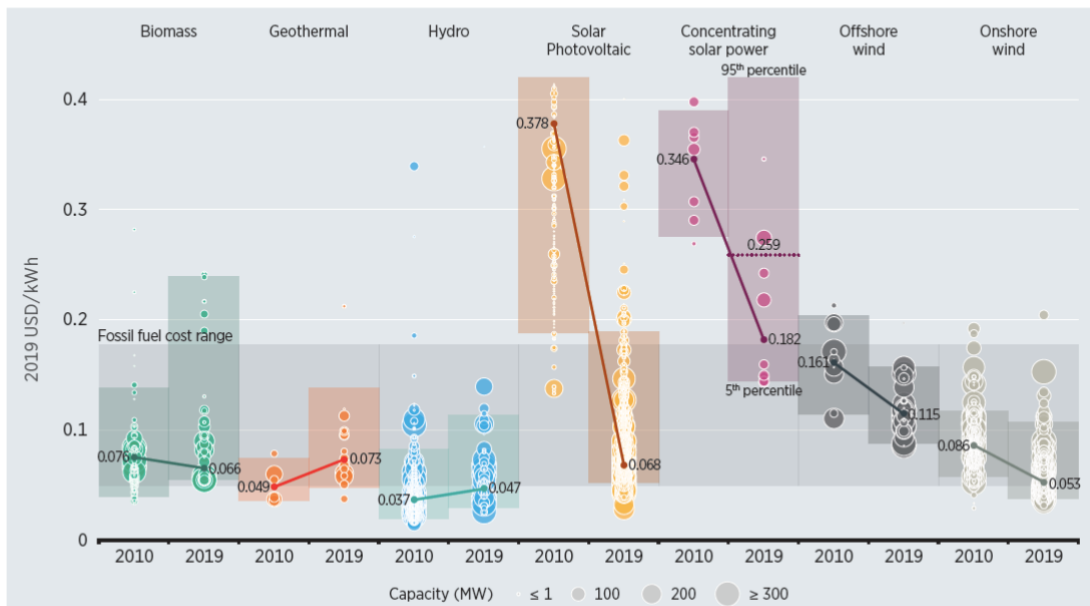
然而目前台灣地熱開發法規相當落後且程序繁雜，過往多仰賴國營事業開發，效率不佳。在地熱發電較成熟的國家，例如美國、冰島、紐西蘭，都有政府單一窗口專門處理地熱發電，幫開發業者做橫向溝通。台灣因為沒有《地熱法》，開採地熱同時牽涉《溫泉法》與《礦業法》，但業管單位有交通部又有經濟部，業者需要自己摸索流程，導致許多時間都花在溝通與試錯。

環太平洋國家地熱裝置容量（截至2020年）



資料來源：TGE Research (2021)

Figure 1.2 Global LCOEs from newly commissioned utility-scale renewable power generation technologies, 2010-2019



Note: For CSP, the dashed bar in 2019 shows the weighted average value including projects in Israel.

新技術持續投入，未來或許將突破瓶頸：

由於地熱的開發與頁岩油鑽井有部分關聯，對於在電動車浪潮下，面臨轉型問題的傳統油商們，地熱便是達成綠能轉型的一大契機。兩大能源巨擘 BP 與雪佛龍皆在 2021 年宣布將持續投資地熱能源，並宣稱正在研發的相關技術有望徹底改變再生能源市場。

目前地熱技術的革新，主要聚焦在流量擴增與可複製性兩大面向，近年在新技術的持續導入下，單一地熱井的能源產量已有長足的進步。Fervo 能源公司執行長拉提摩表示：「目前地熱井開採的流量跟傳統技術相比提高到四倍之多，使得單位成本大幅下降，未來將可以在更多地區開發地熱。」

目前也有許多新創公司相繼投入可複製性的地熱模組系統開發，如下圖便是 Baseload Capital 開發的地熱模組，相比對於地底結構要求較嚴格的傳統地熱井，新型的地熱模組對地底結構要求較少，在安裝上也較為輕便。



熱電共生與地熱高度相關，值得一同關注：

地熱發電的核心原理在於將來自地底的熱能轉為電能，因此技術也可用於其他相關產業，如熱電共生。前段提及的 Baseload Capital 除了地熱產業外，便同時發展航運以及重工業所需的廢熱回收設備，由於郵輪運行與鋼鐵冶煉時會產生大量的廢熱，這些熱能過往常常直接任其排放，有時甚至會造成環境的負擔，然而透過廢熱回收設備，反而得以轉化為綠能的推手。

結論

未來幾年地熱整體市場快速成長的機會不大，然而地熱市場目前沒有獨立 ETF 追蹤，且投資機構關注度低，極可能存在價格錯誤。在個別具備優勢的地區或產業中，可能存在被低估的標的，如台灣熱能產業、美國原油生產商、油田服務商…等。

地熱的應用前景無窮，然而目前主要受限於技術上難以複製，因此建議關注相

關新創公司的技術突破與其成本下降曲線，若達到轉折點，或許將出現類似於鋰電池與太陽能革新的新地熱時代。