



地熱電廠建置與運轉工程經驗談

環台地熱股份有限公司營業部協理 / 黃峻彬

關鍵字: 金崙地熱、地熱井、井下泵浦、ESP (Electrical Submersible Pump)、LSP (Line Shaft Pump)、big hole

摘要

本文主要是分享個人過去在地熱產業界進行金崙流域地熱發電廠的開發經驗，這個專案在臺灣的地熱產業有兩項領先引入國際地熱規格及設備的項目，包括採用大口徑 (big hole) 地熱井，以及引進臺灣第一組井下泵浦 (ESP, Electrical Submersible Pump)，建立國內首座以 ESP 增產防結垢的地熱電廠。地熱發電作為基載能源，國內已併網案場已可展現其 24 小時長期穩定運轉的能力，展望未來，引進國際鑽井技術將國內鑽井量能大幅提升，改善土地難以取得的問題後，我國地熱發電裝置容量達到數個 GW (百萬瓩) 將是指日可待。

一、前言

地熱發電產業在國際上是一個已經發展百年以上的產業，全球第一個地熱發電廠是於 1904 年由義大利科學家 Piero Ginori Conti 發明建構，從那以後各國陸續發展，根據 Think GeoEnergy 網站統計 [1]，到 2025 年 1 月的全球地熱發電裝置容量來到 16,873 MW (千瓩)，為了便於讀者了解國際上地熱發電產業的發展，以下節錄 Think GeoEnergy 網站上 2025 年跟 2015 年的各國地熱發電裝置容量統計圖表作為對照。十年以來有兩個國家呈現突飛猛進的發展，印尼從 1,345 MW 提升到 2,653 MW，增加了 1,308 MW；土耳其從 539 MW 提升到 1,734 MW (2021 年底就已經 1,710 MW 了)，增加了 1,195 MW。其他大多數國家都呈現小幅成長，僅墨西哥與義大利小幅萎縮 (圖 1 及圖 2)。

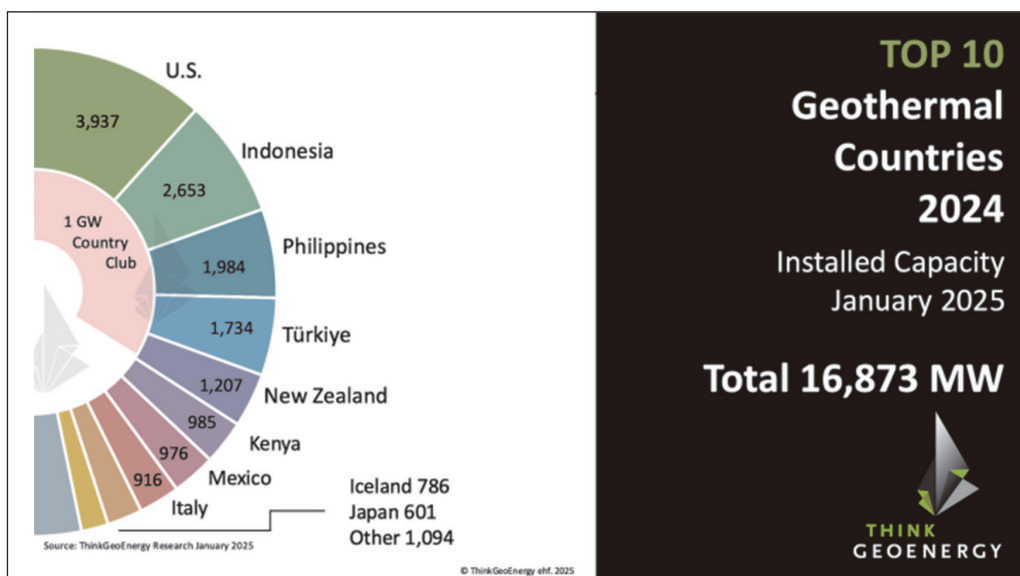


圖 1 2025 年前十大地熱發電國 [1]

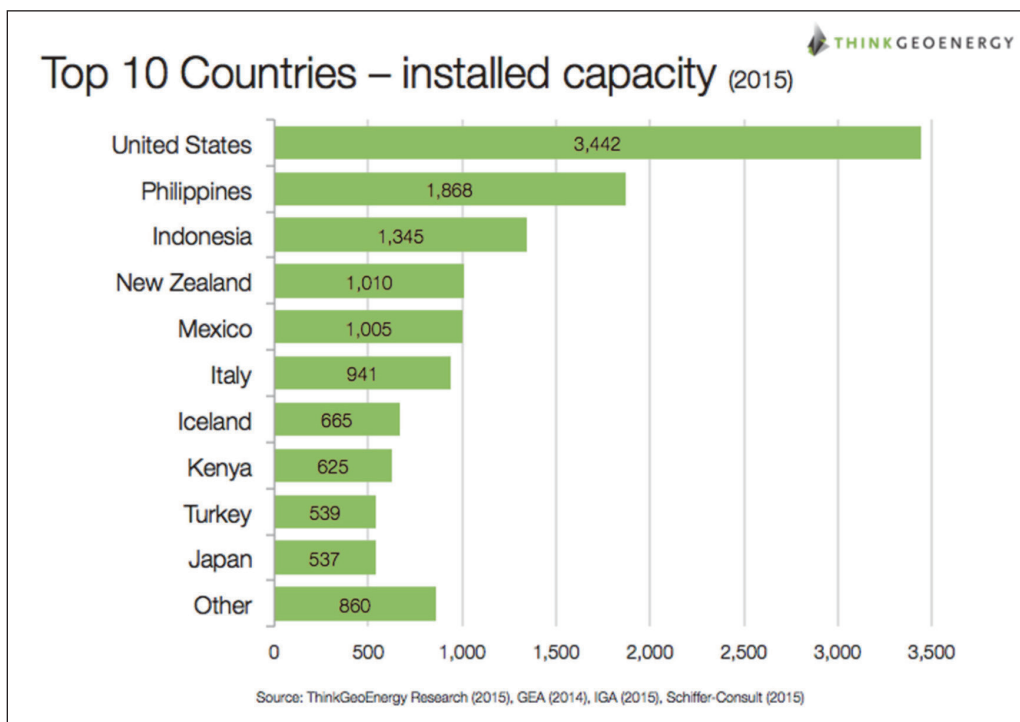


圖 2 2015 年前十大地熱發電國 [1]



由印尼與土耳其的經驗來看，當環境條件（熱源、開發技術、法規環境等等）成熟時，地熱發電的裝置容量其實是可以很快提升的，其中土耳其與臺灣地熱條件相近，以變質岩地熱為主，其裝置容量可以在 5、6 年之間快速提升 1 GW 以上，實可做為臺灣地熱產業見賢思齊的模範。

地熱發電作為我國再生能源的一員，在 2009 年再生能源發展條例元年就訂有躉購費率，然而由於涉及到的技術門檻較高，一直到 2016 年第四季宜蘭清水地熱 BOT（Build-operate-transfer）+ ROT（Rehabilitate-Operate-Transfer）案決標後，國內始有民間企業投入地熱電廠建置。秉持對地熱發電產業的熱情，個人任職的前公司 2017 年在工研院綠能所地熱團隊的建議下，即開始投入金崙地熱發電專案。在克服新產業面臨的諸多難題後，終於在 2022 年 1 月併聯試運轉開始發電，為臺灣的地熱發電產業史開啟了新的一頁。從 2017 年 3 月開始找地租地到 2022 年 1 月併聯發電，耗時將近 5 年，說起來是個相當漫長的開發建置過程，但從這個過程中所學

習、克服的種種，目前看來對於臺灣地熱產業的推展是有相當的助益。關於該地熱電廠建置及營運過程的一些個人認為值得一提的心得，以下就以科普的方式野人獻曝，供各界先進參考指教。

二、地熱井

國際上地熱井的規格主要是沿用油氣井產業美國石油學會（API，American Petroleum Institution）的規格，以 API 規格的鑽頭及井管建置地熱井，因此大致可依照套管口徑的不同分為標準井（standard hole）、大口徑井（big hole）、微孔井（slim hole）三種，standard hole 顧名思義是油氣及地熱井的標準規格，因此早期投入臺灣地熱產業的團隊，大多採用 standard hole 規格的地熱井。標準井（standard hole）、大口徑井（big hole）、微孔井（slim hole）之鑽孔及套管規格詳見圖 3 [2]。

隨著各個早期投入團隊的 standard hole 地熱井陸續完工，有些問題陸續浮現，比較

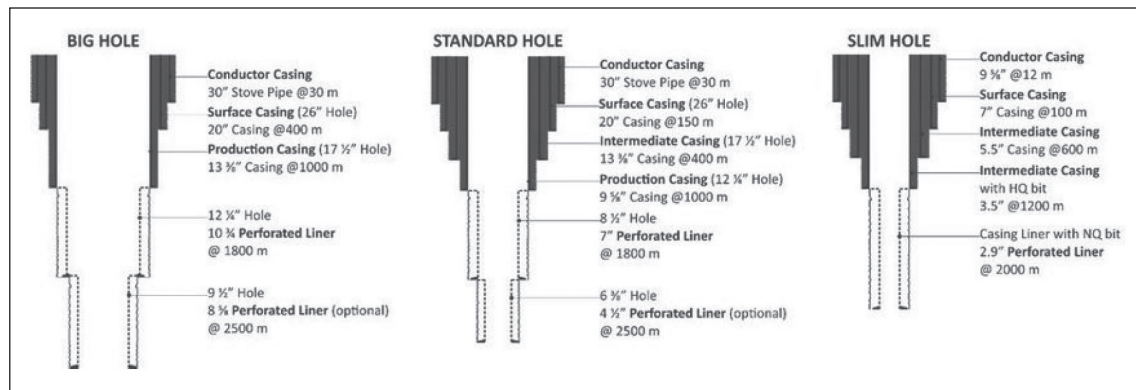


圖 3 標準井（standard hole）、大口徑井（big hole）、微孔井（slim hole）之鑽孔及套管規格 [2]



廣泛的問題是出水量測試的結果大多不理想，經濟效益偏低。以個人在前專案時經歷的第一口地熱井為例，從工研院的產能測試報告看來，井下的地熱水溫度介於攝氏 115° ~ 150°，井頭溫度最高也可達攝氏 135°，算是可以發電的溫度，且地層的熱水通道相關測試數據狀況看來應該是可以產生適宜發電的水量，但水量測試結果就是很低，所以推測是這口地熱井的施作工法有一些需要改善的部分，才會使實際產生的水量顯著低於應有水量。後續了解其他團隊的 standard hole 地熱井，看來問題是類似的。

此時浮現的問題就變成：需要做甚麼改變才能使單一地熱井獲得更有經濟效益的水溫及水量？從國外經驗看來，基本上會有以下四個方向可以改善地熱井的產能：

- 加深地熱井，尋找更高溫的儲集層。
- 改良鑽井工法，降低儲集層汙損問題。
- 採用井下泵浦 ESP 或 LSP。
- 採用大口徑的地熱井。

以下分別說明這四項改善措施。

2-1 加深地熱井，尋找更高溫的儲集層

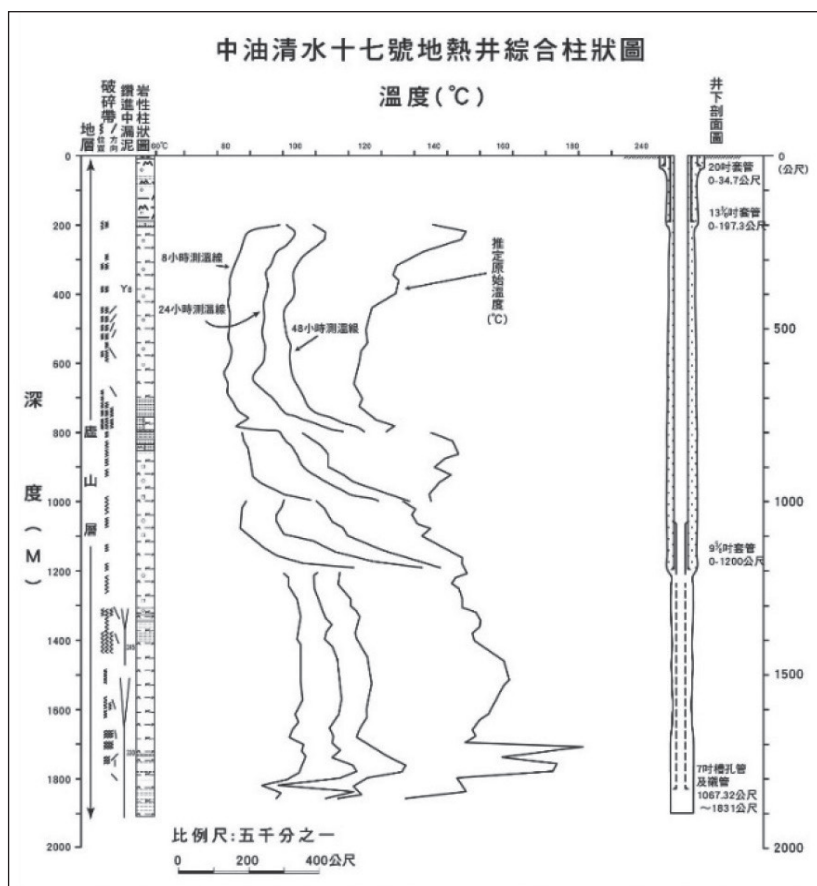
若以地溫梯度（越深越熱）的概念來看，加深地熱井是為了找尋更熱的地下水，然而，實務上地熱井溫度在幾百公尺的尺度內卻未必會與深度呈現正相關，有時候甚至是越深越冷，所以若是在一個沒有探勘井地溫資料可供參考的地區，溫度與深度的關係就只能實際鑽井確認。實務上常常遇到一開始越深越熱的井，過了一個深度後溫度反而逐

漸下滑，這時開發者可能會面臨一個風險抉擇：萬一越深越低溫，事後看來加深地熱井的經費都會變成沉沒成本，但有時繼續加深後，水溫可能又會升高，讓這口地熱井成為具經濟效益的井，因此，加深地熱井其實是一個有相當程度風險的選項。以清水 17 號井及知本 1 號井溫度－深度的圖表為例（圖 4 及圖 5），地熱井的溫度往往會隨著深度呈現大幅不規則波動，並不是一定越深越熱。

金崙流域過去由礦研所（後來的工研院）及中油鑽鑿了 12 口地熱探勘井，其中有 9 口數百公尺的淺井，以及 3 口 1,700 ~ 2,200 公尺深的深井，鑽探資料頗為豐富，經參酌工研院資料及建議，決定將第二口井加深至 1,000 公尺深，後續測溫發現，雖然 300 公尺深以下有一段溫度下滑的地層，幸而在 500 公尺以後又逐步加溫到攝氏 150° 左右，使得該井的出水具有適宜發電的溫度。

2-2 改良鑽井工法，降低儲集層汙損問題

在第一口地熱井完井後，量測到的膚表因子數值甚高，顯示地層裡的水在進入地熱井內的過程中遇到偏高的阻力，這通常是鑽井泥漿及堵漏物質造成儲集層岩體孔隙或裂隙的汙損，使地熱水流入井內的過程面臨較大的阻力，因此須改良鑽井工法，降低鑽井泥漿及堵漏物質對地熱儲集層汙損的程度，最大程度保持儲集層到地熱井之間通道的暢通。國際上地熱井鑽達生產層後往往會改為只用清水鑽井，以避免鑽井泥漿對生產層的汙損，然而由於使用清水鑽井需要大量清水，未必每個井場都具備良好的清水／地下水補給條件，且



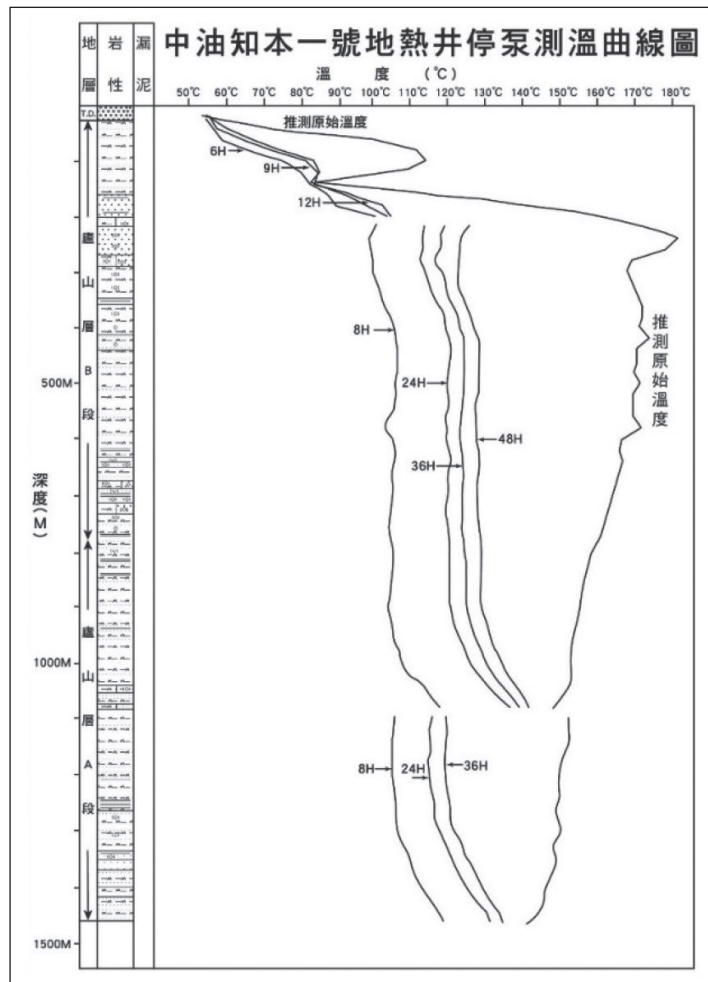
台灣油礦探勘總處地熱處

圖 4 清水 17 號地熱井測溫曲線圖 [3]

因清水比重較低，井噴或井坍卡鑽的風險較大些，因此國內目前還沒有鑽井商願意嘗試採用清水鑽井，未來若能引進國外鑽井公司的清水鑽井工法，或許有機會提高單井產能。我們在後續地熱井鑽鑿時，就請鑽井商盡量降低泥漿比重，並且注意若遇漏漿段應採用易於去除的堵漏劑，在地熱井完工後工研院執行的產能測試中，第二口地熱井測得的膚表因子數值降到 10 以下，大幅改善了地熱井汙損的問題。

2-3 採用井下泵浦 ESP 或 LSP

井下泵浦 ESP 或 LSP 的主要目的是將井內的熱水加壓打到地表，一方面增加地熱井出水量，一方面保持地熱水的壓力以降低礦物質析出結垢造成的問題。井下泵浦在油氣產業本就是已被長期廣泛運用以抽取石油的設備，後來漸漸也被引進地熱發電產業，作為溫度壓力較低而無法自湧或自湧量低的地熱井的增產設備。ESP 其實就是耐高溫高壓



台灣油礦探勘總處地熱處

圖 5 中油知本一號地熱井測溫曲線圖 [3]

的沉水泵浦，馬達（motor）跟幫浦（pump）整組連接出水管吊放於井下特定深度；LSP 則略有不同，motor 安裝在地表，以傳動軸連接到地下特定深度的 pump。兩種井下泵浦各有優缺點，國際上也各有不少應用案場。

臺灣第一組 ESP（Schlumberger 公司）是與工研院合作引進，目前安裝在電廠的

生產井內已運轉兩年以上，對於提升地熱井水量以及保持地熱水出水壓力有顯著的成效。

目前看來 ESP 算是在中低溫（約攝氏 100° ~ 190°）弱酸到弱鹼地熱井中有頗大助益的設備，不過由於其價格高昂（千萬到數千萬台幣），所以最好先初步確認標的地熱井有良好的出水能力（draw down、productivity



index、skin factor 等)，再來決定要不要使用 ESP，以及使用甚麼規格的 ESP。

LSP 目前國內還沒有應用案例，不過據悉國際上有些主要的地熱發電廠商出於妥善率較佳的原因而偏好使用 LSP，然而要採用 LSP 的話，考量傳動軸不能彎曲或傾斜，因此地熱井孔從地表到 pump 安裝深度之間的鉛直度要求很高，這就有賴鑽井過程中持續監測及修正井孔角度，而且傳動軸的長度不可能無限延伸，因此 pump 最深也無法超過 600 ~ 700 公尺。

2-4 考慮採用大口徑的地熱井

傳統型地熱發電必須考量的不只是地熱水的溫度，水量也是另一個重點。根據泊肅葉定律（Poiseuille's law）的管路流公式：

$$Q = (\pi d^4 / 128\mu) \times (\Delta P / L)$$

Q ：流量

d ：管路直徑

μ ：流體黏滯度

ΔP ：管路兩端壓力差

L ：管路長度

管路內同樣壓差下，流量大致與管路直徑的四次方成正比，因此可以推論，在同樣的地層及地熱井施工條件下，採用大口徑地熱井的出水流量應該會大幅大於標準口徑的地熱井出水流量。然而，如果地熱井所在地層本來就因滲透率低、缺乏裂隙等因素而含水量不多，那就算鑽再大口徑的地熱井也只是多花錢而達不到效果的，所以要決定用甚

麼口徑的地熱井，最好是透過鑽探對鑽井標的地層中的含水量有一定程度的掌握。

關於地熱井口徑的選擇，網路上可搜尋得到 Umran Serpen 與 Didem Korkmaz Basel 兩位專家的一篇論文有關於這個議題的討論 [4]，可以參考看看。關於地熱井的口徑選擇另外還有個重點，由於國際上的 ESP 主流規格是放在 9-5/8 吋或 13-3/8 吋的套管內，雖然還是有能放在 7 吋管內的 ESP，但受限於管徑，這類小口徑的 ESP 出水量較低，經濟效益比較差。因此若採 standard hole 規格的地熱井，要注意 9-5/8 吋的套管管鞋深度不要太淺，最好能達到 400 ~ 800 公尺深（視水溫及動水位而定），這樣至少還能安裝主流規格的 ESP，否則就只能採用 7 吋管適用的 ESP。若地熱井採 big hole 規格，甚至還可以使用安裝在 13-3/8 吋套管內的大口徑 ESP，取得更大的水量。

三、地熱井產能測試

目前產業界地熱井的產能測試一般是委託工研院綠能所團隊執行，主要測試項目包括：

- 恢復試驗
- 井下深度 vs. 溫度測試及出水層判釋
- 長短期出水量試驗
- 壓力回升試驗
- 水質／氣體成分檢測

透過這些檢測，可以了解地熱井的井下溫度、出水量、井體汙損程度、增產潛能，最後可以據以推估是否要採用 ESP/LSP、井下泵浦的規格，以及預期可以產生的發電



量，另外，透過水質及氣體成分檢測可以知道地熱水的結垢或腐蝕的傾向，可以據以選擇管路及熱交換器的材料，這些都是後續地表發電系統各項設備定規所需要的參數，因此是非常重要的測試程序。

工研院另外有提供幾項可以考慮施作的測試服務，包括：

- 壓力干擾試驗：測試標的地熱井出水或注水時對附近其他井的干擾。
- 注水試驗：測試標的地熱井作為回注井時預計可注入的水量。
- 示蹤試驗：測試回注井與生產井之間的連通狀況，了解回注井與生產井的互動關係。

透過各項測試，可以提供開發商有關單井產能、多井間的連通關係。小至一口生產井對一口回注井的系統，大至整個地熱潛能區中多口生產井對多口回注井的關聯資訊及最佳化安排都能提供重要的資訊。

四、電廠設計與建廠

地熱電廠的建廠工程相比於鑽井及產能測試來說是比較單純且快速，畢竟地熱發電機及整廠系統都是很成熟的設備或工程，不過必須提醒的是，由於地熱電廠大多位處偏遠地區，還是有很多要事先考慮的問題需先釐清，比如說，當地吊車及吊卡車最大吊運重量是否足夠？拖板車載運重型或長型設備進出現場時，路幅是否夠寬？會不會卡在哪個轉彎處？道路耐重是否足夠？在地工班是否好調度？這些小細節都不像在人口稠密地區附近建廠那麼方

便，有時事先沒安排好，會突然出現卡住整個工程的問題，導致工程延宕。

地熱發電系統的規劃，在冷卻系統的選擇以及噪音防制方面需要特別注意。

冷卻系統的部分，如果是發電量不大（例如，2 MW 以下），且當地地下水豐沛的話，可以考慮採用冷卻塔為主的水冷系統；如果是發電裝置容量較大的系統，或是當地難以取得冷水的話，就必須採用氣冷式的冷卻系統，這是由於冷卻塔為主的水冷系統透過水的蒸發而降低水溫，因此一定規模以上發電量的系統，其耗水量是相當可觀的，而當地自然環境未必能夠提供這麼多補充水讓冷卻系統全年無休地運轉，而這也是國外很多地熱電廠採用氣冷系統的原因，可以不用考慮補充水耗損的問題。不過氣冷系統的弱點在於當夏天環境溫度大幅上升時，氣冷系統效率會顯著下滑，使系統發電量明顯降低。水冷系統雖也有相似的氣候效應，但其影響幅度比起氣冷系統來說是比較小的。

地熱發電機的噪音往往在 90 分貝上下，而冷卻系統的噪音也往往在 70 分貝以上，因此電廠設計時必須慎重考慮發電系統周遭的噪音問題。噪音一般以兩種方式處理，一是隔音機房或隔音牆，一是拉開噪音設備與周邊的距離。發電機本身是可以規劃安裝於隔噪機房內，不過由於發電機本身往往會散發很大的熱量，因此機房必須規劃通風散熱設備，否則很容易造成廠內溫度偏高，降低部分設備的壽命，但通風散熱設備又會耗掉部分電力，降低系統發電量；如果不想耗費建置機房及散熱系統的成本及用電，那就必



須在規劃時將發電機與周邊受影響主體（住家、民宿、農田等）的距離拉開到 200 ~ 500 公尺，或是在特定角度設置隔音牆，以避免噪音對周遭的影響。冷卻系統由於必須與大氣作熱交換，因此不可能安裝於室內，只能採用隔音牆隔絕噪音，或是拉開與受影響主體的距離，讓噪音消散至可接受的範圍。以上這些問題在專案規畫初期就一定要先考量好，免得後續營運時影響到鄰近居民的生活。

五、營運

地熱發電系統一般來說是妥善率很高的系統，國外的例子年度運轉時數大多在 90% ~ 95% 以上，不過在臺灣實務上由於地熱電廠大多位處偏鄉，饋線末端，如果發電系統裝置容量不大，選用低壓（380 V 或以下）併聯的話，會發現偏鄉的低壓系統常常不穩，時有過電壓或低電壓造成發電系統跳停，另一方面，偏鄉饋線因大多架空安置，颱風來襲期間時有饋線受損而欠相或斷電的風險，輕則停電停產，重則對廠內設備造成損壞，這些都會降低地熱發電系統的年度運轉時數。上述問題台電是有在努力改善，但因預算及工程排程考量，其實是難以在短時間內完成。因此，就地熱發電廠自己來說還是要自己做好電網斷電或欠相時的設備保護，盡量以高壓併聯（11.4 kV 或以上）會比較穩妥。

六、防制結垢／腐蝕

由於地熱水是從地層深處引上地表，所以水體內含有各式各樣的陰陽離子成分，不同的水質需要採用不同材料的管路、熱交換器，才能盡量延長設備的壽命。工研院產能

測試項目中的水質檢測，其中一個重點就是評估地熱水中各類成分造成結垢或腐蝕的風險，這對於開發商後續發電系統的溫度壓力參數及選材會是重要的依據。

原則上在大屯山或龜山島周遭的地熱資源屬於火山型地熱資源，出水大多是弱酸到強酸，pH 值常常出現 2 以下的數字，因此在選材上必須特別考慮酸蝕的影響，然而耐酸蝕材料往往價格高昂，大大影響專案的投資報酬率，這也是大屯山周遭目前地熱開發遇到的最大困難，有待工程界合力克服。

宜蘭、花蓮、台東、南投等其他地區的地熱資源則屬變質岩地熱資源，主要是板塊交界處張裂或擠壓造成地層深處熱岩被抬升而產生的地熱資源，大多是弱鹼性到中性的地熱水，一般而言比較容易產生結垢問題，沒有酸蝕問題，不過另外還要看水體內的氯離子濃度，如果氯離子濃度高，則對金屬也有產生腐蝕的風險，以金崙地區的地熱水為例，氯離子濃度從 800 ppm 到 2,000 ppm 以上的案例都有，加上溫度高達攝氏 140° ~ 180°，對於發電系統的熱交換器選材形成很大的挑戰，有些設備選材甚至必須使用鈦合金，使得專案成本增加不少。

地熱系統結垢一般在弱鹼性地熱水會發生，主要分為三類，碳酸鹽、硫酸鹽，以及二氧化矽結垢，處理方式主要是保持管路壓力，一方面讓水不產生蒸發，而使離子不致於過飽和而析出，一方面讓地熱水裡的二氧化碳盡量保持溶解在地熱水中，以降低碳酸鈣鎂的析出量。此外，也要注意取熱後的尾水溫度，當地熱水溫度下降時，有些結垢成



分會因溫度下降而使溶解度降低，造成過飽和析出，注入回注井後就可能造成回注井內結垢堵塞。而若以上措施都已實行但還是結垢，那就需要後處理措施，主要是高壓水刀噴洗去除結垢，或以檸檬酸或磺胺酸之類較易處理的酸液將結垢溶解清除。

七、地熱發電開發的社會議題

一般而言，各類型的開發，除非是在工業區內，否則都有地方關係的議題。地熱電廠基本上是個很環境友善的能源，但至少還是有噪音問題會對環境造成一些影響，因此在開發前必須與當地居民盡力做好充分的溝通，最主要的是要能提出與地方共存共榮的願景，這是開發團隊非常重要的任務。

地熱發電這個產業主體，拜自動化科技之賜，日常營運所需的人力雖然不多，但日常保養巡檢這類的作業還是能為在地人創造一些工作機會，且對廠商來說，在地聘用能夠顯著節省差旅及管理成本，是廠商與地方雙贏的人事策略。另一方面，地熱發電尾水一般都還有攝氏 70° 以上，作為穀物烘乾之類的熱利用或溫泉觀光用途，也有機會用來打造一些附屬產業，多創造一些就業機會，因此地熱產業界目前大致是有個共識，當發電容量規模擴大後，就會設法投注一些資源打造周邊附屬產業，加強與地方經濟的連結，目標是讓地熱電廠成為受歡迎的產業。

八、我國地熱發電開發遲緩之原因

臺灣位於太平洋火環帶，地熱資源相當豐沛，作為國家寄予厚望的再生能源第三支

箭，雖然行政團隊已訂定出遠大的目標，但是產業實際的進展說來還是很慢，其中有兩大主要因素：

1. 國內鑽井量能嚴重不足，技術及產業鏈成熟度相較國外有很大落差

目前國內鑽井商除了台灣中油公司以外，所有民營鑽井商都是從溫泉井起家，普遍缺乏 2,000 公尺以上高溫深井的經驗，同時受限於工班人數有限以及噪音控制問題，難以 24 小時施工，因此鑽一口不到 1,500 公尺的地熱井往往耗時將近一年甚至超過一年，相較於國際上地熱井常規 3,000 公尺深度可在兩個月內完成，國內鑽井速度跟國際相比存在著不忍卒睹的落差。尤其近幾年美國 Fervo 公司獲得政府支持研發 EGS（Enhanced Geothermal System）系統，其鑽井速度又突飛猛進地推進到 3,000 公尺地熱井可在不到 20 天內完成，使得國內民營鑽井商的鑽井速度看來像是初生嬰孩的爬行。因此目前國內地熱產業界基本上是已經有共識必須引進國外鑽井技術，且必須解決 24 小時施工的障礙，藉由國外鑽井商培養本地廠商及供應鏈，才有可能讓地熱發電取得明顯的進展。

2. 土地取得難度高

我國主要的地熱潛能熱區大多位處國家公園或原住民地區這類土地無法取得或不易取得的地區。

大屯山底下有 GW 級的火山型地熱資源，但因位處於陽明山國家公園內，目前是



不開放設立地熱電廠的。國家公園管理機關保護國家公園環境生態的態度可以理解，但觀諸國際上日本、肯亞、墨西哥、印尼、菲律賓等國家都有國家公園內設置地熱電廠的案例，可以說規劃建置得宜的地熱電廠並不會對國家公園的環境生態造成影響，這點非常建議國家公園主管機關納入考量，鬆綁建置地熱電廠的相關規定。

另以金崙河流域開發的經驗為例，過去工研院曾經評估有 48 MW 的地熱資源，隨著國際上地熱鑽井技術的進步，若以現行的技術進行開發，或許有機會開發出更大的地熱發電量。然而受限於此區土地已劃入原住民保留地，依法只能由原住民自然人或國家登記為所有權人，地熱開發商若要使用私有原保地，只能租用，若要使用國有原保地，則需由所在地之關係部落召開部落會議同意後才能運用，這又面臨實務上窒礙難行的「諮商取得原住民族部落同意參與辦法」實施規定，以至於地熱電廠大多是向原住民地主以租約取得最長 20 年的使用期。以一個有機會永續發電的地熱電廠而言，投資鉅額資金 20 年後，萬一地主不再續租土地，就必須將所鑽的地熱井填封廢棄，電廠拆除，形成很大的資源浪費。

九、結論與展望

本文主要是介紹國內剛起步的傳統型地熱發電產業，從 2016 年底清水地熱 BOT + ROT 案決標起算，至今已經超過 8 年，國內地熱電廠併聯容量雖然僅有不到 20 MW，但後續臺東金崙、宜蘭仁澤、大屯山四礮子坪地熱陸續併聯上線，地域包括宜蘭、台東、

新北市三個主要地熱潛能行政區，類型包括變質岩區弱鹼型地熱及火山區強酸型地熱，個人是將這段期間定義為打基礎的階段，隨著開發商及相關協力廠商建構了基本的產業知識及技術，接下來透過引進國外成熟技術由本土人才逐步承接相關 know-how，到某個爆發點的時候，就有機會看到國內的地熱發電量像印尼及土耳其一樣，在 5 ~ 6 年內快速邁向 GW 俱樂部。若國際上 EGS、AGS（Advanced Geothermal System）的技術進展也能跟上腳步，那麼未來將會很有機會看到地熱發電量達到數個 GW，成為舉足輕重的基載能源。

參考文獻

1. Think GeoEnergy 網站：<https://www.thinkgeoenergy.com>
2. Purba, Dorman P., *et al.* "Key considerations in developing strategy for geothermal exploration drilling project in Indonesia." 44th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, pp. SGP-TR-214. 2019.
3. 地熱單一服務窗口地熱資料查詢平台網站：<https://www.geothermal-taiwan.org.tw/GIS>
4. Serpen, Umran, and E. D. K. Basel. "Optimization of geothermal borehole diameters." Optimization 19. 2015.