

臺灣地熱能源開發之公私夥伴關係及商業模式分析：以宜蘭清水地熱發電廠為例

蘇偉康、柯玉佳*

要 目

壹、緒論	陸、公私夥伴關係與商業模式創新之
貳、公私夥伴關係與商業模式	調適—治理、流程
參、地熱能源之特性及發展挑戰	柒、發現與討論
肆、案例背景資訊	捌、結論與建議
伍、公私夥伴關係之商業模式創 新要素—資產	

提 要

地熱能源科技已被納入「臺灣2050淨零排放路徑及策略」前瞻能源發展目標之一。然地熱能源開發難度在於前期高風險與不確定性，需投入大量資源，尤其依賴實際鑽探以驗證產能，爰政府於開發支持扮演重要角色。透過公私夥伴關係(Public-Private Partnership, PPP)合作開發已成為地熱能源發展重要趨勢，本文探究政府與企業在PPP中不同合作模式、類型與程度，如何影響地熱能源開發與營運，聚焦於已成功商轉之宜蘭清水地熱發電廠，透過產官學研之專家訪談與地熱論壇、實際參訪該發電廠及次級資料搜集，以調查臺灣地熱能源開發狀況。

壹、緒論

人類對於電力使用歷史已超過150年之久，而電力供給穩定性將對人類生活產生巨大影響。目前絕大部分國家仍依賴化石燃料發電，但化石燃料從開採、冶

* 本文作者分別為國立政治大學科技管理與智慧財產研究所碩士及助理教授。

煉、發電等過程皆產生大量廢氣，對環境造成嚴重負擔。部分國家意識到此問題嚴重性，已紛紛提出淨零減碳目標以減少對環境傷害，但根據石油輸出國組織(OPEC)《2023年世界石油展望》報告顯示，2045年全球國家對於石油需求量將高於2022年(OPEC, 2023)。未來各國可將分成兩派，一派是以化石燃料為主要能源之發展中國家，另一派則是大力推動再生能源之已開發國家。其中，臺灣因應環境變遷、國家安全及經濟發展，於2022年推出「臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明」，正式加入國際淨零行列。

然而，臺灣在減碳之路仍面臨多重困難。首先四面環海且資源匱乏，根據2023年統計資料顯示，臺灣能源進口量達96.7%，而自產能源僅占總額3.3%，其中進口能源包含石油、煤炭、天然氣等化石燃料及核能(經濟部能源署，2024b)。其次，臺灣作為高產值國家，用電量相當可觀，其中工業部門用電量占全年總用電量55.3%(經濟部能源署，2024c)。為維持高產值，造就國內更多能源消耗，惟因臺灣資源匱乏，持續仰賴國外進口能源並非長久之計，因此，推動再生能源發展是臺灣能源轉型必經之路。

為推動及加速臺灣再生能源發展，經濟部能源署於2017年起積極推動產官學與民間溝通對話，希望透過公民參與及共同協作方式集結社會力量，共同發展臺灣再生能源。並於2020年發表「能源轉型白皮書」，以「能源轉型全民推動」、「提升能源使用效率」、「推動電力結構革新」、「加速導入再生能源」、「促進綠能產業科技發展」5大目標推動臺灣能源轉型。若從細部來看，白皮書將5大目標拆分成20項重點方案，其中如「全方位協助地方能源治理」、「建構參與式能源治理機制」、「公民電廠推動方案」、「地熱能源推動方案」等，均與本文所探討之能源治理、民間參與及地熱能源等議題息息相關(經濟部能源署，2020)。

2022年臺灣政府發表「2050淨零排放路徑及策略總說明」，同年12月發表「淨零轉型十二項關鍵戰略行動計畫」以整合跨部會資源及制定明確行動計畫。12項關鍵戰略除太陽光電及風力發電外，尚包含氫能、前瞻能源、電力系統與儲能、節能、碳捕捉利用及封存等，其中前瞻能源包含地熱能源、生質能源及海洋能源。本文主要以地熱能源作為研究目標。

臺灣目前再生能源開發主要以太陽光電及風力發電為主，大部分皆為政府或企業主導大型案場。而政府除建設發電廠外，亦為電力需求者，透過再生能源

躉購政策購買發電廠所發綠電。此外，部分再生能源亦透過社區合作社集資或群眾募資等方式推動，但該模式僅適用於不確定性較小之太陽光電，一般社區合作社或群眾參與地熱能源開發難度較高。

值得一提的是，臺灣過去曾嘗試透過募資方式開發地熱發電廠。2017年4月19日，首次通過環境評估之宜蘭利澤地熱發電廠為臺灣第1座民間開發地熱發電廠。其開發規模(發電裝置容量)高達101MW(百萬瓦)，預計鑽11口、深度深達6公里之地熱井，成功開發將每年提供8億度電。但開發大規模地熱發電廠所需資金高達百億新臺幣，而負責籌劃開發之蘭陽地熱能源公司希望透過募資集得資金，2年內欲募得10億元用於前期開發，惟此後對該地熱發電廠報導卻不多，後續發展狀況也無從得知(陳文姿，2017)。

面對地熱能源高成本、高風險投資開發，於推動發展前期更需政府介入與協助，僅憑企業本身較難推動整體產業發展。故本文欲探討PPP合作模式是否適用於地熱能源開發專案？政府與企業角色為何？其合作如何有效解決地熱發展所面臨阻礙？如何創造價值？後續將介紹PPP與商業模式之文獻回顧及研究架構，並分為4個階段依序進行探討：分析地熱能源特性及發展挑戰、政府與企業所投入資源、雙方合作調適，最後則為價值創造結果。

貳、公私夥伴關係與商業模式

基於專業技能或工作領域不同，合作模式偏向明確分工，將工作明確分配給擁有相關技能成員負責。舉例地熱能源開發，公部門(以下簡稱政府)負責提供資金補助及專案工程監督，將工程外包予企業進行建設及維運。除資金補助外，政府亦提供民間開發較難取得資源，如適合開發地熱能源土地、政策法規協助及貸款擔保等，必要時配合法規修改，增加企業於法規申設及流程上合理性。私部門(以下簡稱企業)在合作中發揮所長，負責相關開發作業(探勘、鑽井、建設)、提供發電技術、營運維護及管理發電廠等，合理降低整體開發風險。

PPP為新公共管理(New Public Management, NPM)議程延伸，改變公共服務提供方式，亦為公共服務生產及向民眾提供方式更自由化之一形式。「公共服務」不僅可由政府提供，也可由政府與企業共同合作提供(Rakić & Rađenović, 2011)。該做法不僅有效解決政府財政赤字及債務問題，並能有效增加人民福祉。PPP已

有多年發展歷史，亦是各國政府近年尋求轉型主流思維之一，旨在提升相關治理能力及改善治理效益，建立政府、企業與第三方組織等不同角色間之動態互動關係。此關係基於彼此共同利益、問題、需求而逐漸產生集體共識，並朝相互認同目標前進。透過PPP進行合作開發模式成為目前趨勢，主要應用於資本投入較高之大型公共建設專案，如交通建設(高速公路、鐵路)、醫療建設(醫院)、社會福利建設等(鄭士歆，2018)。

PPP與傳統外包形式差異甚大，其作為基礎設施發展之預算外機制，因PPP不需立即支出大量資金對政府具相當吸引力；對企業而言，PPP可為其帶來部分利益，如享有附屬事業優先經營權、獲得政府融資協助及享有租稅減免或租金優惠等(財政部，2023)。此外，PPP合作形式具更長遠影響、更佳決策及風險轉移能力(Hodge & Greve, 2007)。

PPP合作非常靈活且形式多樣。PPP一詞於不同學術領域各有不同中文翻譯詞彙，但其含義雷同，亦即政府與企業合作關係。在法規上，公私夥伴關係法以「促進民間參與公共建設法」(下稱促參法)為名。實務上臺灣常以「BOT」(Build-Operate-Transfer)作為統稱，因臺灣大多皆以該形式執行PPP合作專案。即政府與企業簽訂合作備忘錄後，將授予企業一定年限特許經營權，並於到期後再考慮是否轉讓形式(蘇南，2019)。

PPP為政府提供「嘗試新形態價值創造模式潛力」，但其成功與否取決於採用之商業模式，及創造價值程度。然政府與企業並不以相同商業模式概念提供產品與服務，甚至創造價值(Wiprächtiger et. al., 2019)。對企業來說，獲利為主要目的，因此明確定義其商業模式可具競爭優勢以創造價值(Snihur & Eisenhardt, 2022)。但對政府而言，提供公共服務之目標已決定其商業模式，惟不易運用此概念設計及修改其商業模式組成項目，進而無法運用該模式全部潛力，甚至被要求改變以更有效地提供公共服務(Timeus et. al., 2020)。因此，PPP需開發解決方案以創造價值，同時管理政府與企業間不同利益出發點，並且瞭解整體合作、夥伴關係，共同價值創造之關鍵要素將變得非常重要(Kivleniece & Quelin, 2012)。

Villani等(2017)定義PPP商業模式為透過組織資產、流程與治理間相互依賴關係活動系統，包含內部流程、能力、資源流動、知識管理、業務互動、財務安排等，使組織能透過利用商業機會創造價值。以下將進一步解釋資產、流程與治

理間關係。

首先是資產，Zott 及 Amit(2010)認為資產涉及商品或資訊交換，以及交換所需資源與能力，因此 Villani 等(2017)將資產總結為4個主要組成，分別為「互補核心技能」(Complementary Core Skills)、「長期技術承諾」(Long-term Technology Commitment)、「有效專案融資」(Effective Project Financing)及「網絡資源」(Networking)。「互補核心技能」指透過雙方合作集中各自核心能力與優勢以創造價值最大化，而非單純加總個別能力；「長期技術承諾」為雙方在合作專案中設計、建設與營運維護階段，均需考慮整體永續性、使用性與生命週期；「有效專案融資」指雙方應考量專案未來維護成本，並制定相應財務計畫，以及當專案產生問題時重新談判，避免因資金問題而停擺；「網絡資源」指雙方所建立人脈，因豐富人脈可協助解決合作所面臨問題，對合作具直接且正面影響。

其次是治理，係指公司或組織管理方式與制度，而Zott 及 Amit(2010)將其定義為各方資訊控制、資源與商品流動方式、組織法律形式及對參與者激勵等。Villani 等(2017)據以總結為3個主要組成，分別為「整合領導」(Integrative Leadership)、「政府主導法律架構」(Government-led Legal Framework)及「風險緩解規劃」(Risk Mitigation Planning)。「整合領導」重點為各單位皆明確瞭解自己應付責任以共同創造價值最大化，若決策權與任務分配不明確，可能出現各方逃避責任等現象；「政府主導法律架構」意指合作所涉及相關法規與政策，不同單位所發起合作模式，也因不同法律規範而產生不同影響；「風險緩解規劃」認為進行專案可行性研究同時，應提出相應策略規劃以識別及評估相關風險(政治風險、需求風險、營運風險等)，甚至將風險發生可能性最小化。

最後為流程，Zott 及 Amit(2010)認為流程涉及政府與企業間溝通，例如知識交換、活動聯繫方式，或各方採用交換機制等。Villani 等(2017)將該等過程總結為3個主要組成，分別為「合作議價」(Cooperating Bargaining)、「夥伴關係忠誠度」(Partnership Loyalty)與「知識分享」(Knowledge Sharing)。「合作議價」指雙方間交易模式與協調成本，任一優良PPP合作皆需建立完整架構，以確保雙方可更快速且有效率地討論與協商；「夥伴關係忠誠度」指雙方對於PPP創造長期價值之承諾；「知識分享」指雙方合作間正式與非正式溝通，通常指相互交流知識等，並從單方面擴散至整個組織。

本文從PPP商業模式角度出發，透過政府與企業所投入資源，深入解析雙方如何透過互動以開發清水地熱案。本文根據Villani等(2017)所提出架構進行調整(如圖1)，並新增產業發展挑戰及價值創造討論。

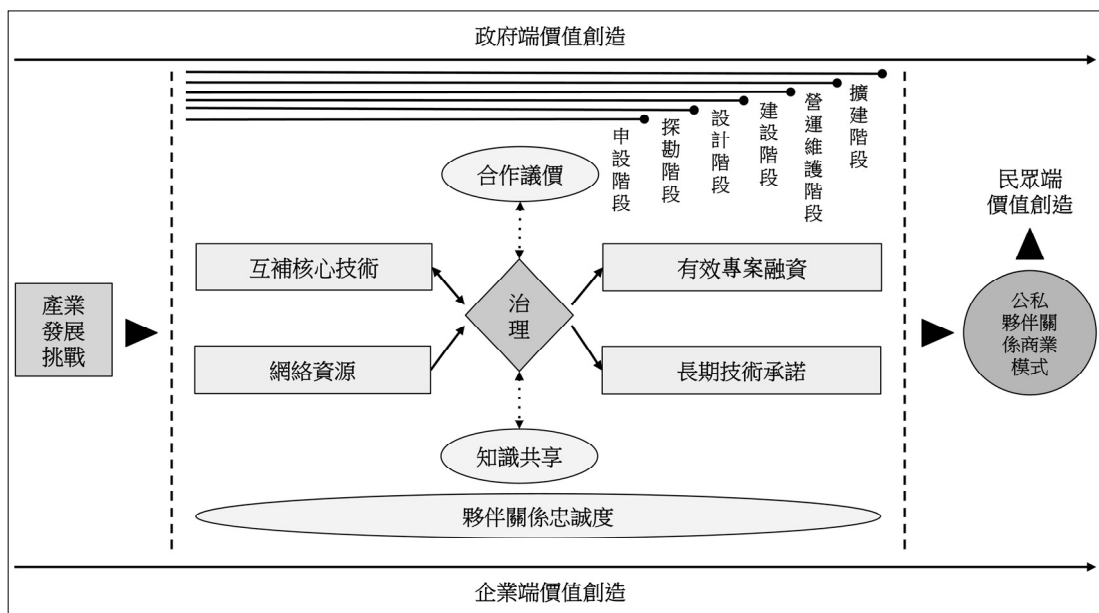


圖1 公私夥伴關係之商業模式研究架構圖

註：圖1中正方形為產業發展挑戰；長方形為資產組成要素；橢圓形為流程組成要素；菱形為治理，其包含整合領導、政府主導法律架構及風險緩解計畫；圓形則為最終發展目標；連續線箭頭表示資產組成要素對治理影響，以及價值創造對發展目標影響；雙虛線箭頭表示流程組成要素與治理間影響。

資料來源：本文繪製，參考Villani等(2017)PPP商業模式。

叁、地熱能源之特性及發展挑戰

臺灣位於環太平洋火山帶，因火山活動及板塊擠壓，造就非常豐富地熱資源。專家估計，全臺灣深層地熱潛能將高達32GW(10億瓦)，淺層地熱潛能將近1GW(孫文臨，2022b)。然臺灣看似有巨大發電潛能，但地熱開發進展緩慢，直至近期因應能源轉型相關政策及地熱法規推動，終於又見光明，截至2023年10月，全臺灣地熱發電裝置容量規模約為7MW(經濟部能源署，2025)。

臺灣豐富地熱資源適合開發能源外，其能源特性及優勢亦適合能源自給率低之臺灣。例如地熱能量源源不絕，其發電可作為基載電力，24小時運轉發電，且碳排放量低，有效達成淨零排放目標；運轉成本相對低、發電廠面積小，卻比

相同面積之太陽光電及風力發電更佳發電效果等(台灣電力股份有限公司，2023)。此外，地熱能源還具許多附加價值，如發展農業、食品加工業及觀光娛樂等(林育安，2023)。

關於地熱發電原理，傳統多以「乾蒸汽式發電系統」(Dry Steam) 為主要發電方式。蒸汽發電係透過生產井將地底下蒸汽帶到地面發電站，藉由蒸汽進入渦輪機以驅動發電機進行發電(楊智豪等，2022)。發電後蒸汽經凝聚後，尾水將直接排放，或回注至地底下以確保水資源穩定。值得注意的是，乾蒸汽式發電系統對地熱資源中蒸汽含量要求較高，須有大量蒸汽才能推動渦輪機(林子耕，2018)。

當地熱資源蒸汽含量較少則可透過「閃發蒸汽式發電系統」(Flash Steam)進行發電。與前者不同之處在於，其透過閃蒸閥降壓方式，將熱水快速氣化成蒸汽，再經過分離器將蒸汽與熱水進行分離，蒸汽用以推動渦輪機進行發電。因此需要高溫且高壓熱水資源才能於液體氣化後產生大量蒸汽，而分離出來之液體將直接排放或回注至地底(楊智豪等，2022)。若尾水溫度高，仍可再次透過閃蒸閥降壓，於氣化後進行發電，此種二次降壓方式則稱為雙閃發式蒸汽發電。其名稱主要取決於閃蒸次數，但次數越多，雖然發電效率越高，但系統複雜度將使成本上升(Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2024)。

隨時間及技術演進，地熱發電門檻降低，尤其當「雙循環式發電系統」(Binary Cycle)出現，可應用於地熱資源溫度介於 100°C 至 200°C 熱水中。其發電原理為透過兩個封閉循環管道進行熱傳導，首先一個管道連結生產井及回注井，將熱水提取後，透過熱傳導方式加熱另一封閉管道中工作流體，再透過回注井回注至地底(楊智豪等，2022)。被加熱後工作流體與前述系統運作原理雷同，氣化後將推動渦輪機進行發電，而發電後蒸汽將凝聚成原本工作流體。值得注意的是，工作流體沸點須低，才能實現熱傳導加熱及氣化效果。

前揭乾蒸汽式發電、閃發蒸汽式發電、雙循環式發電等系統皆被歸類為淺層地熱發電技術(下稱淺層技術)，即地底 3 公里內進行發電，為目前主流技術；而深度超過 3 公里之地熱發電技術則被稱為深層地熱發電技術(下稱深層技術)(屏東縣政府綠能專案推動辦公室，2023)。根據經濟部地熱發展規劃，臺灣將以「先淺層，後深層」方向推動地熱能源開發(孫文臨，2022b)。相關深層技術包括增強型地熱發電系統(Enhanced Geothermal Systems, EGS)、閉迴路熱量收集系統

(Complex Energy Extraction from Geothermal Resource, CEEG)與超臨界地熱系統(Supercritical Geothermal Systems, SGS)。由於深層技術仍處於試驗階段，因此本文著重於淺層技術介紹。

淺層技術雖已被大規模採用，但開發上依舊存在諸多阻礙，尤其臺灣雖具備豐富地熱資源，但對企業而言，目前投入其產業開發風險仍相當高。許多風險本質上與其他能源開發專案相同，如竣工或延遲風險、市場需求或價格風險、營運或監管風險等，且前期高成本導致融資風險高亦屬常見。唯一不同是，地熱能源存在特定風險，如探勘風險。根據世界銀行地熱手冊，探勘風險存在於地熱能源初期探勘階段，尤其是鑽井試驗，其被認為是地熱專案開發中風險最高階段。而鑽井試驗比先前所有階段資本密集程度更高，且充滿不確定性，專案通常在確認地熱資源是否有足夠潛力以收回成本前，仍需進行大量投資(Gehring & Loksha, 2012)。

此外，地熱開發週期長，完整專案通常需5年至10年才能完成，因此開發時程亦為重要考量。根據經濟部能源署對日本評估地熱開發週期資料顯示(詳見圖2)，日本金屬和能源安全組織(エネルギー・金属鉱物資源機構)(Japan Organization for Metals and Energy Security, JOGMEC)評估地熱資源調查時間約2年、產能測試時間3年、商業化評估及環境評估3年至4年，最後生產井鑽鑿及發電廠設置3年至4年。因此地熱整體開發時間約11年，若開發過程不如預期，則需更長時間(經濟部能源署，2022b)。

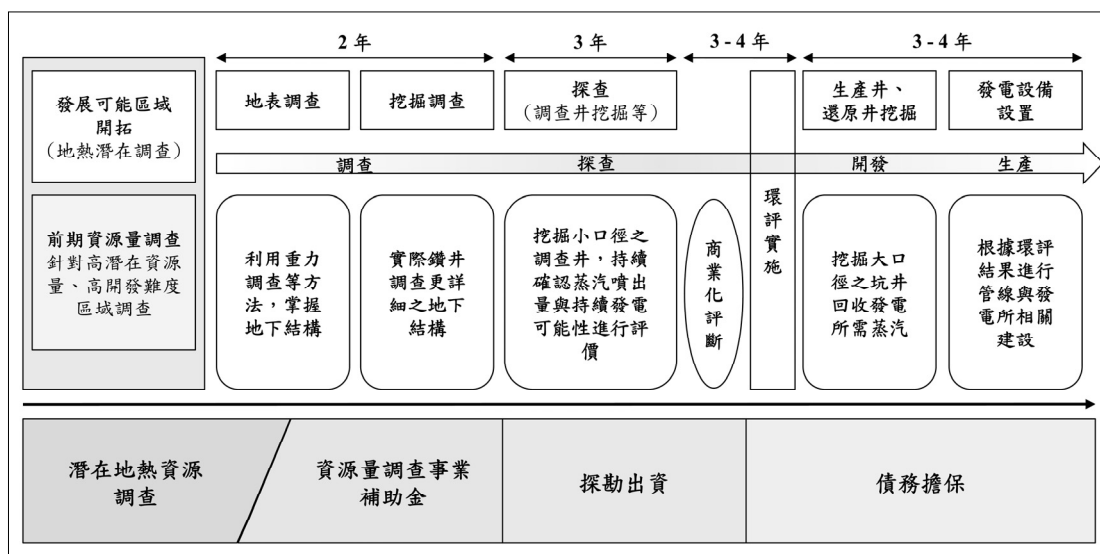


圖2 日本JOGMEC 於地熱開發週期之時間估計

資料來源：“日本地熱發電，設置概況及政策概要”，經濟部能源署，2022b年9月30日，再生能源資訊網。

根據立法院議題解析，臺灣目前尚缺乏健全地熱開發規範，而是依照《溫泉法》、《水力法》、《國家公園法》、《森林法》、《水土保持法》等眾多法規辦理(曾耀民，2022)。根據田秋堃、趙永清等監察委員表示，因前述法規多達25部，皆屬不同行政單位及部門管轄，涉及約10個部會及地方政府。因此當地熱業者及開發商依法辦理開發流程時，將面臨耗時、各部門不瞭解規範等，更有業者表示「跟政府簽約4年，其中3年都在跑流程」等狀況發生(林勤芝，2022)。導致臺灣政府雖於2018年重啟地熱能源開發，但其發電規模未能起色。因此，在法規不完善情況下，將使業者原有開發風險上增加更多不確定性。

地熱能源開發過程主要分成兩部分，即前期地熱探勘及後期建廠營運，而前期探勘活動包含資源探勘、鑽井試驗及產能測試。首先地熱資源探勘是地熱能源發展必經過程，透過地質調查、地球物理探勘及地球化學分析等方式尋找擁有地熱資源土地。地質調查指實際到現場分析河床或道路邊坡露出岩石分布狀況，透過人力找出最適鑽井位置。但僅透過此方式尚不足以找出適合鑽井位置，因臺灣地質破碎，再加上道路及其邊坡保護措施完善，故不易完成任務，須依賴地球物理探勘及地球化學分析(林仕祥，2023)。

地球物理探勘是透過震盪震源車向地底發出震動波，並收集其穿透過不同

介質反射角度及速度等數據，利用電腦計算建構大致地底模型；地球化學分析則以地質調查帶回樣本進行礦物成分分析，再與過往數據進行比對，進一步分析地底資源有哪些。基本上，地熱能源前期資源探勘即是透過這3種方式交互作用，始能找出最佳鑽井位置(林仕祥，2023)。

但資源探勘並非想像中簡單，原因在技術限制，即地底探勘無法取得完全準確資料，其存在一定誤差值，且探勘深度越深，資料解析度便越差。因此僅能提供大致位置及方向，須實際鑽井以確認資源及產能後，才能進行下一階段電廠建設，惟此階段不確定性非常高，而且所費不貲(林仕祥，2023)。臺灣地熱資源發展協會秘書長王守誠表示，按國際實務經驗，平均每一次探勘作業均需鑽3口至5口井以上，而1口深達2公里探勘井即耗資新臺幣(下同)3千萬至5千萬元(陳文姿，2019)。更甚者，地熱專案可能經探勘及鑽井後，始發現地熱資源不足以發電而失敗告終，過程投入資本將無法回收。

地熱鑽井活動技術要求甚高，雖然業界對石油鑽井技術已達爐火純青程度，但地熱鑽井與石油鑽井產物不同，因此面臨問題亦不同。而鑽井最大問題在於其成本相當高昂，例如所使用鑽頭及人力成本等。根據環境資訊中心報導，臺灣地熱資源發展協會秘書長王守誠概估1口深度達2公里之生產井，開發成本達1.5億至3億元(陳文姿，2019)。臺灣地熱鑽井常遇火成岩或變質岩等較堅硬地層，且不同岩層具不同孔隙及滲透率，因此鑽井時面臨挑戰也有所不同。基本上，鑽井活動中鑽頭磨損速度是消耗最快設備之一，亦導致其成本占開發總成本30%(張貽斐，2018)。

此外，火成岩地層溫度比變質岩、沉積岩地層更高，且常伴隨著具腐蝕性流體，如高濃度鹽水、硫化物等，進而造成井壁與管材腐蝕，因此需選擇更耐腐蝕材料，或使用化學中和方式解決。若遇腐蝕性更嚴重情況，則需採用耐腐蝕性更佳，但價格較高昂之鈦合金管材(張貽斐，2018)，進而增加鑽井成本。又臺灣是火山型地熱，如北部大屯山，因此需採用更耐腐蝕材料；臺灣東部則屬堅硬變質岩地層，除地層較硬外，岩層表面亦相對光滑，因此鑽井如同鑽玻璃，工程中需常暫停並更換鑽頭(林仕祥，2023)。

再者，地熱開發尚面臨管材結垢問題，其多發生於非火山型地熱區域，臺灣過去成功開發第1座地熱發電廠(原清水地熱發電廠)，其運轉約12年後便因發電

效率差而被迫關廠。結垢問題即肇因之一，但可透過控制壓力，且定期進行清洗以抑制。此外，發電廠亦可採雙循環式發電系統，因該技術發電過程中，僅生產井及回注井會接觸地熱資源，故可大幅降低發電設備結垢問題(孫文臨，2022a)。

除地熱前期作業及發電廠建設所面臨一系列挑戰外，地熱業者於推動地熱開發過程尚面臨外部困難(非技術問題)，如損益兩平時間長、貸款困難與反對聲浪等。首先發電廠損益問題，以2021年11月重啟清水地熱發電廠為例，耗資7.65億元，並耗時5年進行修整、擴建，最後發電裝置容量更新為4.2MW。根據該裝置容量，估計其年發電量約2,500萬度電，若以台灣電力股份有限公司(下稱台電)躉購價每度電5.1956元計算，每年售電獲利約為1.29億元，因此須穩定發電近6年時間始能回本(孫文臨，2022a)。以上為最樂觀情境假設，若將相關人力成本、發電廠內耗、設備維護支出、酸蝕或結垢造成發電量減少等問題納入考慮，需耗時更長始達損益平衡，遑論未來擴建所需其他成本(孫文臨，2022a)。此外，地熱開發面臨高不確定性及高資本情況，使得銀行不敢貿然提供貸款，因其風險難以估計，投資門檻相當高(莊怡芳、施清芳，2013)。

民眾接受度方面，雖然地熱能源在所有能源中二氧化碳排放量最低，蘭陽地熱能源公司技術總監林子淵表示，地熱能源容量因子高達92%(即1年達92%時間可發電)，運作穩定性及持續性亦為所有能源中佼佼者(大於核能90%)，因此可用作基載電力，24小時持續發電(林柏任，2018)。但人民仍存在部分疑慮，例如地震，雖然據Gawell(2010)表示，地熱鑽探活動不會誘發地震，但對臺灣等地震頻繁國家而言，仍引起人民對地熱能源疑慮。因此Gawell(2010)認為政府應在降低地震風險方面發揮明確作用，例如執行相關研究計畫，並提供可解決大眾疑慮之標準法規或協議。

除地震外，人民對於地熱發電活動所造成地層下陷、氣體排放及噪音也有所擔憂，但該等問題可透過發電廠設計及營運管理著手，大幅降低事件發生率。如導致地層下陷原因係抽水過量，而臺灣法規規定地熱發電廠須將尾水回注至少90%，因此可解決該問題(經濟部能源署，2024a)；氣體管理部分，因地底資源除水外尚包含部分氣體，可透過冷凝方式避免氣體洩漏，並隨回注井回流至地底；此外地熱發電噪音頻率高，惟僅需在渦輪機室內建設隔音裝置即可有效隔絕(林柏任，2018)。

此外，阻礙地熱開發可能原因尚包含溫泉業者疑慮與抗議(如臺東金崙)。因地熱發電所用資源類似溫泉產業用水，其擔憂溫泉資源污染及消失。但其差異為溫泉來源屬於淺層資源，而地熱發電則使用1公里至2公里以上深度熱水資源。根據JOGMEC說法，目前地熱開發尚未對溫泉水產生影響(獨立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構，2023)。至於是否造成溫泉資源品質改變或流失，日本已進行長達8年實驗。即使日本已有實證，但臺灣溫泉產業盛行，仍有許多依賴溫泉及旅遊產業維生業者，且大多數不瞭解地熱能源運作原理，因此需政府協助溝通與教育，讓溫泉與地熱共存。

肆、案例背景資訊

臺灣目前成功商轉之地熱開發案不多，當中以清水地熱發電廠是臺灣首座明確以BOT形式進行開發，且為重啟地熱後第一個成功商轉之大型MW級別地熱發電廠。本文以此個案進行研究，希望藉此瞭解政府與企業互動關係，以探討適合臺灣地熱開發PPP商業模式。

政府於1981年為提高能源自給率以因應全球能源危機，因此集結台電、台灣中油股份有限公司(下稱中油)、國家科學及技術委員會、工業技術研究院(下稱工研院)等機關(構)資金、技術及人力，於宜蘭清水開發一座發電裝置容量為3MW地熱發電廠，是臺灣第1座亦為世界第14座地熱發電廠。該廠於1993年因地熱井結垢阻塞，出水量減少至原先發電容量10分之1，最終選擇關閉廠址，臺灣地熱發電因此沉寂幾10年(孫文臨，2021)。蘭陽地熱能源公司技術總監林子淵表示，導致該廠發電量下降原因包含管材結垢及尾水未回注等，均係地熱營運知識不足導致。管材結垢係因鹼性地熱資源中含有碳酸，導致水流量越來越小，嚴重影響發電效率。尾水處理部分，當年該廠直接將尾水排放，未回注亦直接造成地下水資源越來越少，進而降低發電效率(林柏任，2018)。

2003年中油與台電同意將該地熱發電廠無償移交宜蘭縣政府(朱則璋，2015)。2008年宜蘭縣政府獲經濟部能源署資金補助，並委託工研院執行探勘、產能評估及資源開發工作(黃台中，2013)。工研院評估結果表示該廠擁有可供應至少2萬戶家庭用電量，且地熱發電相較核能及火力發電更環保，因此宜蘭縣政府於2012年提出「清水地熱發電ROT案(Rehabilitate-Operate-Transfer)」以重新整

建該發電廠(朱則瑋, 2015)。同年10月工研院研發團隊打造一部國產自製雙循環地熱發電機組, 發電裝置容量為 50kW(千瓦), 其電量可提供清水地熱公園全區使用, 該園區亦為臺灣第1座可自主發電觀光園區(黃台中, 2013)。

2012年12月, 宜蘭縣政府就「清水地熱發電ROT案」與噶瑪蘭清水股份有限公司(下稱噶瑪蘭清水公司)簽約, 噶瑪蘭清水公司預計投入2.3億元進行開發, 並完成交付約2公頃土地。2014年宜蘭縣政府要求噶瑪蘭清水公司先行提供2,400萬元開發案專款其遲未匯款, 宜蘭縣政府因擔心該公司財務問題影響專案開發進度, 決定與其解約並另覓合適廠商(朱則瑋, 2015)。宜蘭縣政府後續不僅擴大專案規模, 亦持續招標找尋適合合作廠商。

2016年11月「清水地熱發電BOT及ROT案」第4次招標, 由台灣汽電共生股份有限公司(下稱台汽電)與結元能源開發股份有限公司(下稱結元能源)所組成「宜元股份有限公司」(下稱宜元)得標, 並於2017年完成簽約。合作案總占地約5.7公頃, 現地除舊有地熱發電廠址外, 尚有4口地熱井, 預計將於簽約後3年內完成第1期計畫, 以及在6年內完成第2期。宜元預計第1期開發將投入1.7億元, 預計在3年後可商轉, 並希望完備發電、教育、服務與導覽等機能, 發電量將達到每小時1,000度。在第2期發展計畫中, 宜元預計投入5億元興建新員工宿舍及餐廳等生活空間, 並鑽鑿5口平均深度約1,600公尺、溫度約160度之新加熱井。期望將發電量提升至每小時3,000度, 以提供宜蘭大同鄉及三星鄉約12,000戶家庭民生用電(林敬倫, 2016)。

最終在2021年11月23日清水地熱發電廠正式商轉, 宜元共耗時5年、耗資7.65億元進行整修及擴建, 發電裝置容量為4.2MW, 是臺灣第1座MW級別地熱發電廠。每小時發電量約3,000度, 是原先發電目標3倍, 且年發電量約2,500萬度電, 有效減少約18萬噸碳排放量, 未來更有望將裝置容量規模提升至9.5MW。該廠採用有機朗肯熱機循環發電系統, 以取熱不取水方式發電, 尾水將完全回注至地底, 可有效減少地熱資源損耗(孫文臨, 2021)。

雖然清水地熱發電廠已成功商轉, 但作為臺灣重啟地熱後第1座商轉地熱發電廠, 合作開發過程中面臨許多行政程序上無前例可循事件。因此中央政府、地方政府與開發商如何相互配合, 如何透過其核心技能進行開發, 均為本文欲探討內容。

伍、公私夥伴關係之商業模式創新要素—資產

本章將分析政府與企業所投入資源(資產)，亦即「網絡資源」、「互補核心技能」、「有效專案融資」及「長期技術承諾」。

一、網絡資源

網絡資源分析主要針對政府於地熱能源開發上人脈，分為推動、法規、補助、探勘、鑽井、發電、研發等7大項，這7大項皆為開發缺一不可要素，因此其中角色亦為重要合作夥伴。臺灣地熱產業之合作夥伴如圖3所示。

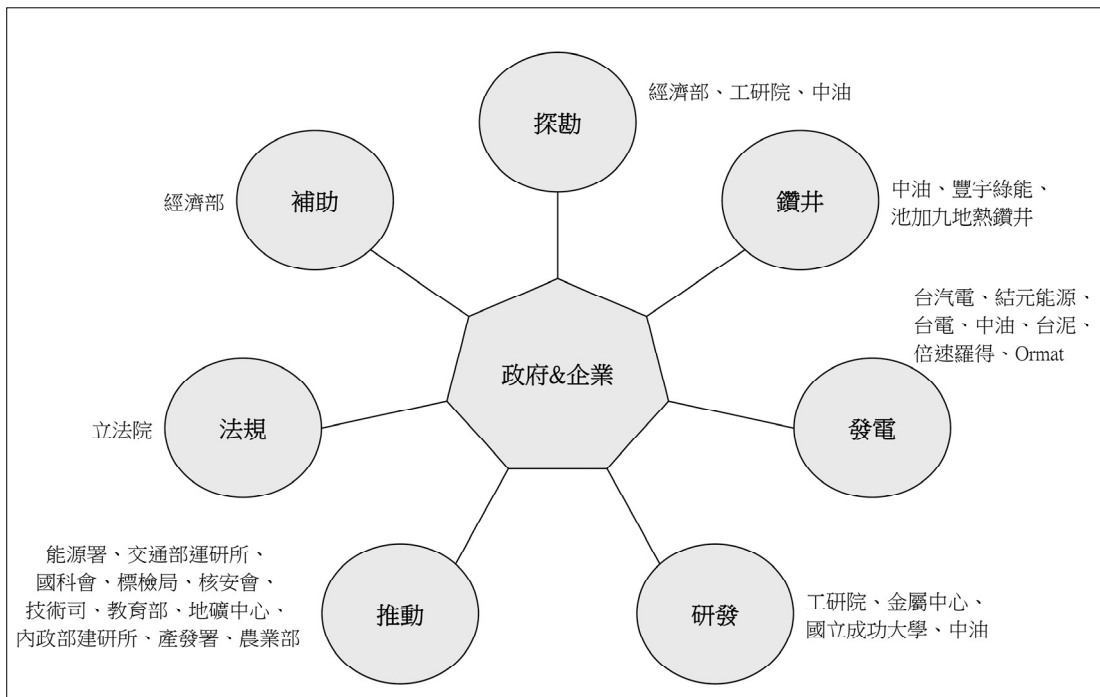


圖3 臺灣地熱產業之公私合作夥伴

資料來源：本文繪製。

二、互補核心技能

互補核心技能內容為網路資源衍生，亦即各合作夥伴透過運用其相關領域核心技能以協助推動地熱能源開發。臺灣地熱產業合作夥伴核心技能如圖4所示。

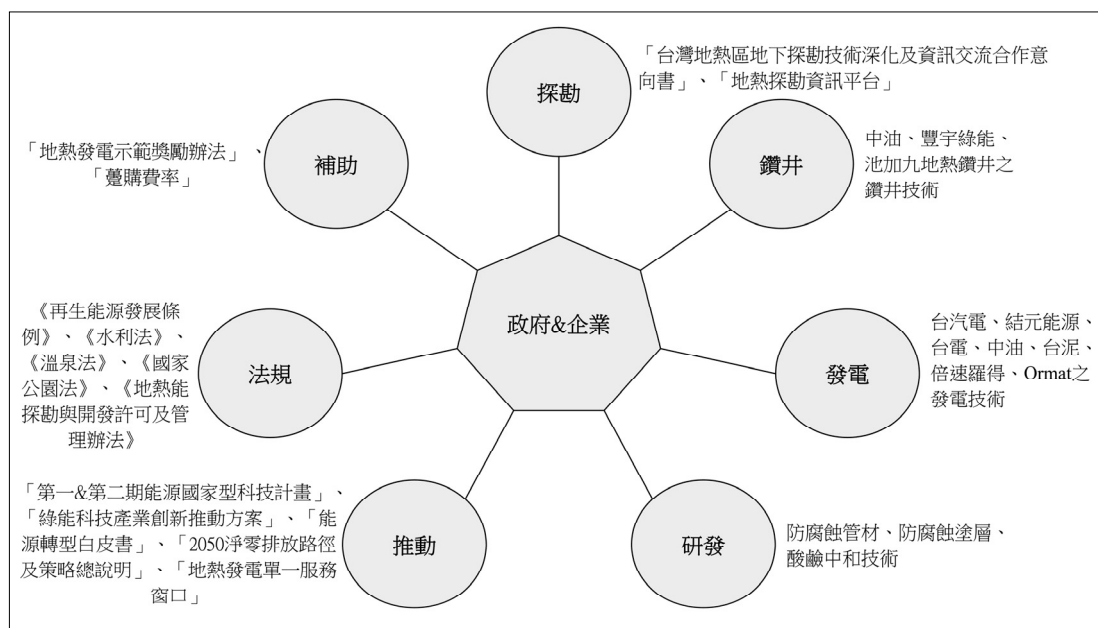


圖4 臺灣地熱產業之核心技能

資料來源：本文繪製。

三、有效專案融資

臺灣過去推動太陽光電、離岸風電等再生能源時，均因資金問題陷入困境，主要係在推動初期相關技術成本相當高。此時即需政府適當介入，透過資金融資或補助、獎勵等吸引廠商投入，並提供相關擔保政策、躉購費率等，一旦開發達一定規模，將產生規模經濟，降低開發成本。其中，融資被視為重要推動因素，因即使受政府補助，該金額占整體開發成本比例小，並無法涵蓋整個專案所需經費，而融資則可讓有意願投入該產業廠商更能靈活運用資金。

臺灣目前地熱能源開發仍處於推動初期，加上探勘成本及風險高，進而大幅降低銀行對地熱產業融資意願。現行已開發或正開發案場中，主要由財力深厚大財團進行開發，如臺東全陽金崙地熱發電廠、台泥紅葉谷地熱發電廠、宜蘭仁澤地熱發電廠等，皆以自有資金進行開發。其他案場如宜蘭清水地熱發電廠、新北四礮子坪地熱發電廠，以及臺東宏崙暨太乙地熱發電廠，則部分透過銀行融資以取得開發資金。

在國家擔保方面，雖然「國家融資保證機制」涵蓋所有再生能源(含地熱能源)開發專案(國家發展委員會，2024)，但截至目前臺灣3家投入地熱能源開發融

資專案銀行，分別是遠東國際商業銀行、永豐銀行及臺灣土地銀行，均無透過該機制要求國家擔保，而由銀行自行承擔所有融資風險。相較於太陽光電及風力發電，國內銀行在地熱能源參與度低，其一可能原因為前期探勘風險太高，甚至高於銀行所評估，導致其不敢貿然給予融資。另一原因在於地熱開發所涉及法令及權責機關多(監察院，2022)，複雜開發流程不僅拖延發電廠商運轉時程，亦降低銀行投資報酬，最終影響銀行融資態度。

根據謝秉志(2022)研究顯示，唯有地熱探勘風險消失，始能吸引更多廠商投入，且可更專注於技術經濟規劃，而非前期探勘。再者，廠商亦可因風險降低而增加資金融資機會。最有能力減少探勘風險者為政府，只要政府進行完善地熱探勘，並將資料完全公開，始能實現上述可能性，清水地熱發電廠即為此例。過去清水地熱發電廠開發即進行詳細探勘及產能測試，甚至營運一段時間，因此風險已大幅降低，開發廠商只需專注電廠建設。但該廠是臺灣重啟地熱後第1個專案，廠商仍需在法規申設及行政流程中耗費相當心力。摒除此點外，電廠建設其實可壓縮於短時間內完成。同時因相關風險降低，清水地熱案成功獲得遠東國際商業銀行融資(仝澤蓉，2021)。

四、長期技術承諾

為滿足專案長期技術承諾，各方利害關係人應秉持認真經營決心，並於各階段透過不同方式表達以維持合作關係。首先設計階段，因地熱資源多分布於溫泉資源較豐富地區，部分位於原住民族部落領地。根據原住民族基本法第21條規定，政府或私營企業於原住民土地、部落或周邊一定範圍內進行相關土地或資源開發，需透過諮商以取得部落同意，並分享相關利益。為讓專案順利進行，相關廠商應於動工前召開諮商會議取得共識，避免因溝通協調不足而讓涉原民議題成為未來地熱發展潛在隱患(黃嘉瑩，2022)。

針對建設階段，政府也為地熱長期發展進行一系列變革，首先是開發環境評估。臺灣眾多沿海鄉鎮皆為地下水管制區，若進行地熱開發，鑽鑿地熱井或地下水權皆受到相關限制，需依法執行環境影響評估。而環評應實施細目與認定標準中，僅當地熱發電裝置容量於0.5MW以下，或試驗性質計畫始可免除(郭佳韋，2016)。後經能源署跨部會協調後，將免環評門檻從0.5MW放寬至10MW(孫文臨，2021)。

為增加地熱探勘資料品質，經濟部與國內12所地球科學學校或系所簽署「地熱探勘學研合作平台」合作備忘錄，預計未來於8處場域進行探勘。透過政府與學術人才資源共同投入前期地質探勘，可望降低廠商開發風險(劉庭莉，2022)。為加速地熱申設時程，「再生能源發展條例部分條文修正草案」於2023年5月29日三讀通過，新增「地熱專章」，明確規定地熱開發行政程序(經濟部能源署，2023b)。

地熱發電廠永續共榮方面，政府規定發電尾水需回注90%以上以降低地熱資源損耗，因此多數廠商將採用有機朗肯熱機循環發電系統，並將尾水回注至地底。除前述規定外，業者須提出地熱開發對溫泉產業影響分析報告，並落實原住民諮商程序，確保相關權益(經濟部能源署，2023a)。

地熱發電廠中後期營運維護階段，為確保發電效率，營運商必須定期確認管材狀況，若地熱資源為鹼性，廠商需解決管材結垢問題並定期清理；若地熱資源為酸性，廠商則需維護管材未遭酸蝕損壞。部分極端情況下，地熱資源會因電廠營運而逐漸枯竭，因此營運商需定期檢查水資源狀況，或透過廢水回注以確保其資源穩定，甚至鑽鑿新地熱井以維持發電效率(孫文臨，2022a)。

陸、公私夥伴關係與商業模式創新之調適—治理、流程

瞭解臺灣整體地熱能源PPP商業模式創新要素後，接續探討清水地熱發電廠PPP與商業模式間創新調適，將透過資產組成要素進一步解析政府與企業資產如何相互搭配及整合，並對應分析架構中治理組成要素(整合領導、政府主導法律架構及風險緩解計畫)及流程組成要素(知識共享、合作議價及夥伴關係忠誠度)。

一、整合領導

從清水地熱案招商文件可瞭解宜蘭縣政府及開發商(宜元)職責與任務分配內容。首先宜蘭縣政府作為推動方，為增加整體專案開發流暢度，其承諾提供單一窗口以協助宜元與政府間行文往來、合作計畫相關業務溝通等。另依促參法規定，取得清水地熱案土地使用權後，並設定土地地上權予宜元使用。此外，承諾提供開發區域內先期地熱發電資料，並安排時間供宜元赴現場勘查，以確認舊廠址實際狀況(宜蘭縣政府，2016b)。

同時宜蘭縣政府亦承諾協助宜元辦理與合作案相關水電、瓦斯、電信與通訊

等公用設備興建與申請，以及區域內排水及污水等工程。根據合作案資金需求，宜蘭縣政府依法協助開發商申請中長期資金貸款，另外提供必要證明，協助開發商向財政部或稅捐稽徵機關申請租稅優惠。當開發專案遭遇民眾抗議或抵制時，亦協助排除不可歸責於開發商事由之民眾抗爭(宜蘭縣政府，2016b)。

開發商方面，根據招商文件敘述，宜元除需完成發電廠興建、地熱井及相關設備維修更新、發電設備安裝等建廠工程外，尚需完成發電廠試運轉、取得電業執照，以及與台電簽訂售電合約等，並在接獲營運日通知起，展開正式營運直至契約終止日為止。此外，宜元營運範圍包含電廠發電相關業務，如負責電廠操作維護(發電設施維護及管理、廠區建築及設施維護保養)、電力併聯設施維護，以及配置地熱教育館等(宜蘭縣政府，2016b)。

除宜蘭縣政府與宜元，清水地熱案其他工作內容外包相關專業廠商負責，如探勘鑽井工程、發電設備供應等。探勘鑽井工程主要由豐宇綠能股份有限公司負責與地熱井及回注井相關工作，如地熱井探勘、回注井及地熱井鑽鑿、水土保持、電廠北區地熱井周邊設備施作與管線焊接、既有地熱井清洗及產能恢復，以及電廠相關維護營運等工程(豐宇綠能股份有限公司，2024a)；發電設備則是由美國地熱設備供應商Ormat Technology Inc.提供。清水地熱案開發合作廠商如圖5所示。

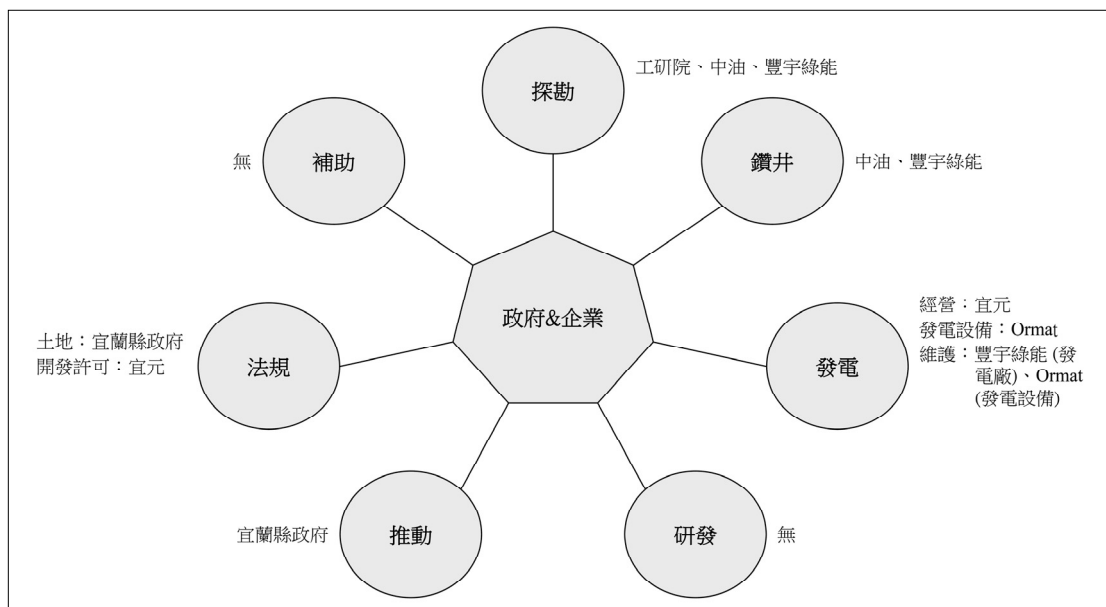


圖5 清水地熱開發案合作廠商

資料來源：本文繪製。

二、政府主導法律框架

根據促參法第6-1條規定，主辦機關依本法規劃辦理民間參與公共建設前，應先進行可行性評估，《宜蘭縣清水地熱發電BOT案前置規劃計畫委託案》結案報告包含可行性評估成果，包括市場可行性研究、法律可行性分析、財務可行性分析、土地可行性分析及環境影響分析等(宜蘭縣政府，2011)。

市場可行性研究中，為配合政府能源轉型政策，再生能源是電力發展重點要素，以減輕臺灣對外能源依賴，因此供電長期穩定之地熱能源可作為基載電力。在「再生能源發展條例」及「再生能源電能躉購費率」等制度下，再生能源電力市場並無所謂『競爭』，無論產出多少電力，皆被台電收購。再加上臺灣綠電競爭小且需求強烈，因此綠電仍可獲得充分銷售保障。

法律可行性分析中，清水地熱案於發電廠建設方面皆滿足《促進民間參與公共建設法》、《電業法》、《環境影響評估法》等相關法規。然「地熱」在臺灣現行法制下並無明確法律定義，亦無「地熱探勘權」保護規範(林瑞珠等，2019)。雖後來修法增訂地熱相關條例，如探勘、開發需求者應向中央主管機關申請許可等，但對細節規定仍模糊。此外，已有多名專家學者認為地熱能源發電不應由《溫泉法》規範，因地熱能源開發相較溫泉開發更複雜，除探勘難度高外，還需鑽鑿生產井及回注井，並依科學數據進行調整。加上《溫泉法》由中央政府管理，再由地方政府執行，因此執行上常因為無相關規範可供審查而導致地熱開發卡關(羅亦琳，2022)。

據財務可行性分析結果顯示，大型ROT開發形式投資報酬率並非理想，雖然發電裝置容量越高可增加投資人報酬率，但需承擔風險亦越大，如地熱潛能探查、地熱井鑿掘等。因此ROT可行性較低，而較可行方法為改採最低設置容量進行初期BOT開發，再依廠商專業能力及財力進行後續更大規模ROT開發。土地可行性分析方面，清水地熱案欲開發土地總面積為13.38公頃，除地號66暫未編定使用地類別外，其餘土地皆屬林業用地，且所有權人皆為宜蘭縣政府並完成撥用，因此土地取得上並無太大問題(宜蘭縣政府，2011)。

另分析清水地熱發電廠施工與營運期間可能對環境影響。從結果而言，其施工對空氣品質、景觀與交通運輸等影響較為顯著；營運則因噪音問題對環境產生不良影響，但在景觀、觀光遊憩、產業經濟及人口等方面均有正面效益。

三、風險緩解計畫

根據《宜蘭縣清水地熱發電 BOT 案前置規劃計畫委託案》結案報告顯示，宜蘭縣政府已對該合作案潛在風險進行分析及評估，除一般性風險(政策風險、金融風險、市場風險、完工風險、營運風險、財務風險及不可抗力風險)外，亦針對該案特性進行詳細專案風險分析(宜蘭縣政府，2011)。

清水地熱案於興建階段，其可能面臨風險，包含規劃設計風險、施工技術風險、環評風險，以及輸電管線用地取得風險。由於清水地熱區屬熱水多而蒸汽少之地熱田，因此發電廠規劃設計上應慎選適合發電方式，避免因設計不當造成發電效率低風險。除一般工程施工風險外，發電廠址於未來擴增發電機組規模時，應注意地熱井探勘與鑽探施工風險，以及對原有地熱井及發電設施所造成影響(宜蘭縣政府，2011)。

清水地熱案於營運階段亦面臨各式風險，如管理能力、營運中斷、營運成本超支、溫泉水權及開發許可取得、地熱井產量不足等風險。首先該合作案屬專業度高之電業設施，操作營運需相當專業技術及經驗，應給予人員完善訓練避免營運損失。其次，地熱發電廠以電力出售為主要營業收入，發電中斷除影響收入外，對需求者亦造成不便，嚴重甚至須負損害賠償責任。再者，該合作案主要營業成本為人事、電廠、地熱井及管線維護成本，經營者應做好相關成本控管避免發生超支風險；此外，地熱發電因涉溫泉資源使用，該資源需依溫泉法規定取得水權及申請開發許可，因此取得許可與否將影響該合作案執行。最後因該合作案使用 20 年至 30 年前鑽探舊井，其產量是否足以供發電所需亦為重要風險所在(宜蘭縣政府，2011)。

四、知識共享

在清水地熱案中，宜蘭縣政府透過單一窗口與宜元進行行文往來及合作計畫相關業務溝通等，有助於增加雙方溝通透明度及減少資訊不對稱(宜蘭縣政府，2016b)。此外，根據清水地熱案投資契約規定，宜元應於每月 5 日前向宜蘭縣政府提報其專案進度，宜蘭縣政府必要時可進行工作內容審查(宜蘭縣政府，2016a)。綜上，當彼此合作越頻繁，資訊交流越多，開發成功率越高。

五、合作議價

在設計階段初期合作夥伴間交易與協調成本高，但隨PPP架構建立，可降低前述成本，有助於建設及營運維護階段各種談判更加流暢。若專案執行階段發生問題，政府與企業間透過PPP可快速且有效率討論與協商。值得注意者，從清水地熱案招商文件得知宜蘭縣政府與宜元並無任何協商事項(宜蘭縣政府，2016b)，但其中已清楚說明各方權利義務、風險分擔。另投資契約文件中也清楚說明各階段發生問題之應對及處理方式，如契約終止前移轉、缺失及違約責任、不可抗力與爭議處理及仲裁條款等事項(宜蘭縣政府，2016a)。

由上所述PPP架構中，合作議價將作為中介者，透過建立、利用較低交易成本、信任與資訊交換為特徵之作業環境，促使政府與企業建立治理與資產關係。從PPP初始設計階段直至建設與營運維護，其所描述商業模式在正常且正確運作情況下，將可培養各方忠誠度，並以長期價值創造為承諾。此過程中所有變數將衡量商業模式設計能力，引導政府與企業內化價值創造之長期視角。從意義上而言，夥伴關係忠誠度亦利於政府與企業在PPP中合作與價值創造。

柒、發現與討論

瞭解PPP與商業模式創新調適後，從結果論，宜蘭縣政府與宜元透過PPP合作成功讓清水地熱案商轉及併入電網，各方從不同面向認因地熱能源價值創造與獲取，惟開發流程容有改善空間。

一、價值定義

根據Lorenz等(2024)研究，其認為政府價值主張通常以滿足公眾需求為主，多為無形價值；企業價值主張則以民間需求為主。在價值創造及交付方面，政府價值以公共服務、公平及社會福利為主；企業價值則常以利潤最大化為主。價值獲取部分，政府著重於為環境及社會提供價值；企業則更著重經濟上價值。因此本文將根據以上概念分析清水地熱案中利害關係人對於價值定義。由於地熱能源開發對地方居民有重大影響，居民對該專案開發雖無實質主導權，對專案成敗卻有舉足輕重地位，本文也將進一步討論地方居民價值。以下將分別敘述中央政府、地方政府、企業/開發商、地方居民對於價值定義。

對中央政府而言，清水地熱案推動目的為實現臺灣能源自主、多元化能源發電、增加再生能源發電規模，以及減少整體碳排放量。但國家財務能力有限，因此希望能與企業合作，並借助企業專業能力達成前揭目標。此外，清水地熱發電廠作為臺灣首座大型成功商轉PPP示範案場，可供後續地熱開發專案借鑑，以及作為地熱能源法規修法參考。

對宜蘭縣政府而言，推動清水地熱案有助於增加當地旅遊產值、提振經濟景氣、帶動產業發展、增進工作機會及吸引人才回流等。據聯合報報導顯示，清水地熱發電廠是臺灣第1座以BOT形式成功開發之地熱發電廠，該開發專案於2023年被天下雜誌評選為「2023 天下城市治理卓越獎經濟成長組」優選，主要係因其重建過程困難重重，且從申請、裝設到電力躉售皆無前例可循，但宜蘭縣政府透過引進企業資金與技術，最終成功商轉及併網。清水地熱發電廠除提供泡湯、煮蛋等遊憩活動外，2023年10月30日試營運之地熱教育館，更是臺灣唯一結合環保、觀光體驗及地熱發電教育園區(戴永華，2023)。該園區不僅可吸引更多民眾前來參觀，也增加清水地熱發電廠附加價值。根據自由時報報導，清水地熱發電廠於2023年蟬聯宜蘭遊憩區人氣冠軍，全年度到訪遊客人次達89.1萬，高於2022年86.3萬訪客人次(江志雄，2024)。

對企業而言，投入基礎建設專案開發，其目的莫過於獲利及追求股東利益最大化，但以地熱能源此種高風險專案，前期開發投入並無上限保證，一旦失敗只能認賠出場，或持續投入直至成功為止，且目前法規仍不夠完善。因此對宜元投入清水地熱案主要目的並非賺錢，而是取得先行者優勢，擴大其對臺灣地熱產業影響力；至提供融資銀行及對綠電有需求企業，銀行除作為協助政府及產業進行永續轉型、減碳及淨零排放推手外，並希望透過參與永續專案實踐ESG目標，提升自身競爭力，並協助國內企業逐步達成RE100¹目標，保護環境同時得永續經營。

對地方居民而言，無論是地熱發電廠建設或營運，將對環境產生一定程度影響，並間接反應在居民身上，例如開發案所造成環境、噪音與空氣影響等。可按既有電力開發做法，政府或企業應為當地居民提供相關回饋、補償或就業機會。

¹ 為由氣候組織(The Climate Group)與碳揭露計畫(Carbon Disclosure Project)主導之全球再生能源倡議，加入企業須公開承諾2020年至2050年間達成100%使用綠電時程，並逐年提報進度。

二、開發流程分析

清水地熱案中各方利用其自身能力及核心技能共同開發，如政府藉由法律及政策，提供開發協助及獎勵措施；企業發揮經營管理能力，進行開發及營運；銀行透過融資提供資金協助。各方看似協力互補，但在合作期間仍可能出現問題，致開發進度落後，開發成本大幅增加，以下依開發流程逐一敘述。

(一)申設階段

由於清水地熱案為宜蘭縣政府提供土地進行開發，有助於宜元專注於專案設計及建設，否則需自行處理相關行政流程，如向國有財產署申請同意合併開發證明及委託經營、進行土地使用變更等，將大幅增加其投入成本。根據宜元開發經驗，由政府提供土地，可節省土地地目變更行政程序約1年時間成本，因此多數開發商非常樂見由政府提供土地。另一方面，臺灣因地狹人稠，加上地熱資源多集中於國家公園範圍或原住民族傳統領域內，其能源開發可謂諸多限制。且資源充足又可用以開發土地並不多，因此逐步放寬具地熱資源土地開發限制，提供開發商更好開發環境，勢必可大幅增加地熱能源發電規模。

此外，該案宜蘭縣政府僅提供土地進行開發，其餘申設流程仍需宜元自行處理，如水權、開發許可等。根據其開發經驗，該團隊於2017年與宜蘭縣政府簽約後，耗時3年始成功取得開發許可，而發電廠修復及建設則耗時1年多。由此可見，此階段相關法規及申設流程未臻明確。宜元於2017年完成簽約3年後完成清水地熱發電廠第1期計畫，並於6年後完成第2期計畫(林敬倫，2016)。又根據清水地熱案招商文件規定，開發商應於取得環境影響評估核准文件日起至正式營運日前，進行發電廠興建。但實際開發時，因行政申設流程耽擱，進而導致宜元無法於規定時間內完成建設，然耽擱原因不可歸責於開發商，故不屬違約(宜蘭縣政府，2016b)。

(二)探勘階段

地熱能源開發中，探勘活動與申設流程間關係非常緊密，根據宜元開發經驗，《溫泉法》不適用於地熱開發，原因在於地熱資源取得較困難，需經實際鑽探始能確定資源位置。若實際鑽井作業深度超過原計畫深度一定比例以上誤差值，則該申設流程便須重新辦理及審查，致延長開發時程。宜元表示該案開發過

程曾多次重新辦理溫泉開發許可流程，其中最長審核時間更超過1年。目前經濟部已於2023年修正《再生能源條例》新增地熱專章，期望加速臺灣地熱能源開發程序(經濟部能源署，2023b)。為確保相關法規更有效解決產業發展阻礙，經濟部能源署多次召開產學研座談會徵求各界意見，並於2024年5月13日正式公告「地熱能探勘與開發許可及管理辦法」，明確訂定地熱能探勘及開發申設流程(經濟部能源署，2024a)。

(三)設計、建設階段

據前述市場可行性及財務可行性評估分析結果顯示，該專案若以大型 ROT 形式進行開發，其投資報酬率並不理想，較可行方法是先行採最低設置容量進行 BOT 專案開發，之後再依廠商專業能力及財務能力進行更大規模 ROT 開發。但清水地熱案並未採用該建議，而是直接以大規模目標進行開發，最終發電規模為 4.2MW，原因在於該區饋線容量僅剩 4.2MW，故決定將剩餘饋線容量全包。結果如評估所示，高發電裝置容量將增加其風險與成本，該發電廠開發時程比預期長(一部分為法規影響)，開發成本亦有所增加。

針對專案所需資金，宜元開發過程中，由於融資環境仍相當保守，需提供較多擔保品進行融資，抵押相關設備作為擔保品，向遠東國際商業銀行辦理融資。

(四)營運維護階段

發電廠營運維護須確保其永續經營。根據世界銀行地熱手冊，地熱發電廠營運維護階段成本與風險已遠低於前期開發階段(Gehring & Loksha, 2012)。但仍有2個問題持續影響地熱發電廠運作，分別是地方爭議及發電產能。在地方爭議部分，清水地熱案雖無涉及原住民族議題，但周邊居民仍對電廠建設存有疑慮，而宜蘭縣政府應積極扮演提供保障角色，以有效減少因民眾抗議致專案延後事件發生。此外宜元多方面釋出善意，積極與當地居民維持良好關係，除從發電收入移撥部分金額作為權利金提供在地政府或居民外，園區人力需求聘用也以在地居民為主。宜元為此按照合約規定權重進行權利金分配，並全權交由宜蘭縣政府負責，當居民有任何訴求時，僅能向宜蘭縣政府提出，有效緩解發電廠與在地居民間緊張關係。

發電產能部分，據前述《宜蘭縣清水地熱發電BOT案前置規劃計畫委託案》

結案報告內容，發電廠營運風險及其績效問題將由民間機構自行承擔(宜蘭縣政府，2011)。正常情況下地熱發電廠產能將隨使用年限逐年遞減，因此只能透過擴建及新增生產井維持或增加發電量，否則將面臨產能縮減而關廠風險。

(五)擴建階段

根據清水地熱案招商文件，當開發商完成本計畫 0.5MW 以上發電裝置容量並正式營運後，若經評估有擴大發電規模必要(超過3MW 或以上發電裝置容量)，開發商有責任於 3 年內向宜蘭縣政府提出發電廠擴建計畫，以及地熱井鑽鑿(宜蘭縣政府，2016b)。即使清水地熱發電廠未面臨產能問題，亦需持續擴大發電規模。但開發所費不貲，資源探勘、地熱井鑽鑿、發電廠及發電設備建置等，皆需大筆資金始能完成，而目前國內銀行對地熱開發專案融資意願仍相當保守。

由於宜元擴建計畫所需資金龐大，銀行融資意願不高，因此僅能自行籌備資金。雖然宜蘭縣政府提供相關合作銀行名單進行協助，但仍需宜元自行進行後續融資協商，整體發電廠擴建計畫仍持續進行。過去政府雖提供相關擔保機制及獎勵制度，卻不適用於清水地熱案。有關擔保機制，依據2024年4月1日聯繫國家發展委員會國家融資保證中心服務窗口回復，目前地熱能源開發並無銀行要求國家提供融資保證，部分開發商曾聯繫，但卻無後續合作消息。目前國家融資保證機制僅於離岸風力發電專案發揮作用。

針對獎勵制度，經濟部能源署於2022年5月20日公告「地熱能發電示範獎勵辦法」，將提供開發商50%且上限為1億元經費，用以地質、地球物理、地球化學等地表調查活動及鑽鑿、套管、產能測試等工程，藉此分攤開發商探勘風險(經濟部能源署，2022a)。惟宜元曾向經濟部能源署諮詢該辦法申請，但回復僅適用於新案場開發，清水地熱發電廠並不適用之。

發電廠售電業務上，電力將由台電以溢價保證收購20年。然就宜元經驗，地熱能源開發成本與風險高，而政府所提出躉購電價對開發商並無顯著誘因。且該躉購電價並未將後續發電效率問題納入考慮，如發電廠發電效率逐漸下降，需持續開發新井。因此對於開發商而言，躉購電價僅能分擔部分成本。此外，宜元表示電力躉購須先扣除發電廠內耗，剩餘電力始能以躉購電價售予台電，若可將生產電力全數售予台電，再以較便宜市電用於發電廠內耗，對開發商獲利將有所改善。未來一旦躉購電價政策結束，再生能源電力交易勢必走向自由市場，而電

力需求者若於電價談判具較大議價能力，將進而增加開發商於售電收入之不確定性，此需政府協助解決。

國際上，如印尼、菲律賓、土耳其等國家，透過如世界銀行等組織所提供外資或國際資金進行地熱能源開發，使其發電量可於短時間大幅增加。而臺灣礙於國際政治地位，無法順利取得國際金融組織資金挹注，僅能透過企業投資、國內銀行融資或政府資助等方式進行開發，進而影響國內開發商資金取得。

捌、結論與建議

PPP確實可於地熱能源開發發揮作用，惟臺灣仍受限法規尚未完善，致地熱開發進程緩慢。例如地熱能源申設階段涉及多部法規，行政單位審查制度上亦相當耗時。雖政府已於2023年5月通過「再生能源發展條例部分條文修正草案」增訂「地熱專章」(經濟部能源署，2023)，期提供較完整規範，並建立由中央政府會同地方等相關部會之聯審機制。但業界專家建議政府應設立地熱開發申設單一窗口，加速行政程序，提升實際執行成效。

此外，資金為專案開發重要資源，臺灣於地熱能源開發卻常面臨資金取得不易等問題，雖然政府正積極協助，但相關條件限制仍待解決。或許政府可比照太陽光電與風力發電等綠能融資專案，協助提升銀行對地熱能源專案融資，又或是政府可作為擔保機關，降低銀行融資風險。因「地熱能發電示範獎勵辦法」所設條件門檻較高，致該辦法於2022年5月20日推行以來，開發商仍不易取得獎勵資金，清水地熱發電廠甚至無申請資格。對中央政府而言，其樂見國內再生能源規模提升，故應放寬相關獎勵辦法限制，讓更多專案得順利取得獎勵資金以分擔開發風險。

對開發商而言，有效控管成本與資金使用，本是企業應具備專業技能，亦為政府希望透過PPP進行專案開發原因之一。但實際開發上，清水地熱發電廠因選擇較大發電規模，致開發成本增加。根據Wang等(2019)針對PPP市場風險分配與民間投資關係研究表示，當合約工程規模太大或太複雜，都將對開發商產生負面影響。原因在於大型專案需龐大資金投資、更專業技術及風險管理方法，但開發商若缺乏相關資源與能力，將抑制專案進展。雖清水地熱案已於2021年成功商轉，若開發商無法持續增加或維持發電產能，將對發電廠收益產生一定程度影

響。

臺灣地熱能源開發仍處於初期發展階段，國內擁有相當規模地熱發電潛能，建議政府持續解決目前所面臨申設、法規、融資等問題，使我國地熱能源發電規模大幅度提升。此外，現階段地熱能源在開發上仍有諸多限制，包含土地開發限制(如國家公園、原住民傳統領域等)、技術選擇限制(如使用斜井技術法規)等，建議政府應改善相關限制以提供更好開發環境，始得提高開發商投入意願及相關投資挹注。

參考文獻

一、中文文獻

1. 仝澤蓉(2021年11月24日)，清水地熱電廠商轉啟動遠銀獨家融資 3.75 億元，經濟日報，https://www.feg.com.tw/tw/news/news_detail.aspx?id=90。
2. 台灣電力股份有限公司(2023年10月2日)，來自地底源源不絕的再生能源—地熱發電，世界電力新聞週報 Podcast，https://www.taipower.com.tw/en/news2_info.aspx?id=6684&chk=7997a869-70b1-44bc-a0eb-8c3f93f5023a&mid=6578¶m=pn%3D1%26mid%3D6578%26key%3D。
3. 江志雄(2024年1月15日)，宜蘭縣管風景區去年遊客數成長 2 成清水地熱遊憩區蟬聯人氣王，自由時報，<https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/4553405>。
4. 朱則瑋(2015年4月24日)，清水地熱發電 ROT 案解約廠商不同意，自由時報，<https://news.ltn.com.tw/news/local/paper/874431>。
5. 林子耕(2018年3月7日)，地熱發電技術(三)：發電機組技術—雙循環系統，科技大觀園，<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000003/detail?ID=d9817304-7928-4d50-9ce6-de8dd6926b4c>。
6. 林仕祥(2023年11月24日)，鑽井挖寶風險高！中油如何克服地熱探勘困境，開發東台灣？ESG 遠見，<https://esg.gvm.com.tw/article/38644>。
7. 林育安，宜蘭再生能源—清水地熱的開發與應用，能源教育資源總中心，<https://learnenergy.tw/index.php?inter=knowledge&caid=1&id=578>(最後瀏覽日：

2023.12.5)。

8. 林柏任(2018年5月16日),放著大好地熱!台灣為何不用?台達電子文教基金會, <https://www.delta-foundation.org.tw/blogdetail/1657>。
9. 林勤芝(2022年6月17日),地熱發電目標達成率僅 2.8%業者嘆:行政流程跑 3 年,大紀元, <https://www.epochtimes.com/b5/22/6/17/n13761797.htm>。
10. 林敬倫(2016年11月7日),清水地熱發電 BOT 及 ROT 案台汽電得標,自由時報. <https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/1879348>。
11. 林瑞珠、管中徽、沈政雄、朱丹丹(2019),「我國發展地熱發電之探勘階段法規調適研究」,臺灣能源期刊, 6(3), 207-221, https://km.twenergy.org.tw/Publication/thesis_down?id=220。
12. 宜蘭縣政府(2011),宜蘭縣清水地熱發電 BOT 案前置規劃計畫委託案,結案報告, <https://ws.e-land.gov.tw/Download.ashx?u=LzAwMS8yMDE1eWlsYW4vMTc3L3JlbGZpbGUvOTY3NC8xMTA3ODcvYWVmN2MxYzgtZTUyYS00ZDdILThhNTAtMzc0Y2JmMzcyOTJjLnBkZg%3D%3D&n=5riF5rC05Zyw54ax55m86Zu7Ym905qGI5YmN572u6KaP5YqD6Ki55Wr5aeU6KiX5qGI57WQ5qGI5aCx5ZGKKOWPr%2BihjOaAp%2BWpUwFiOacn%2Bimj%2BWKgykucGRm&icon=..pdf>。
13. 宜蘭縣政府(2016a),宜蘭縣清水地熱發電新建、增建、改建、修建、營運及移轉案(BOT+ROT),投資契約(草案), <https://ws.e-land.gov.tw/Download.ashx?u=LzAwMS8yMDE1eWlsYW4vMTc3L3JlbGZpbGUvOTY3NC8xMjM5MjEvZjhmODg2ZmMtZmJmYi00OWNjLWJhYjYtYjllMmM2MjMwNjNhLnBkZg%3d%3d&n=5a6c6Jit57ij5riF5rC05Zyw54ax55m86Zu75paw5bu65aKe5bu65pS55bu65L%2bu5bu654ef6YGL5Y%2bK56e76L2J5qGI77yIYm90IHJvdO%2b8ieWlkee0hF%2fojYnmoYgucGRm&icon=..pdf>。
14. 宜蘭縣政府(2016b),宜蘭縣清水地熱發電新建、增建、改建、修建、營運及移轉案(BOT+ROT),招商文件, <https://ws.e-land.gov.tw/Download.ashx?u=LzAwMS8yMDE1eWlsYW4vMTc3L3JlbGZpbGUvOTY3NC8xMjM5MjEvZjkxMTAxZmEtMTVIYS00OTQ5LTgxMDMtZmY4MDA0ODA2MmE4LnBkZg%3d%3d&n=5a6c6Jit57ij5riF5rC05Zyw54ax55m86Zu75paw5bu65aKe5bu65pS55bu65L%2bu5bu654ef6YGL5Y%2bK56e76L2J5qGI77yIYm90IHJvdO%2b8ieWlkee0hF%2fojYnmoYgucGRm&icon=..pdf>。

2bu5bu654ef6YGL5Y%2bK56e76L2J5qGI77yIYm90IHJvdO%2b8ieeUs%2biri%2bmgIOefpV%2fnqL8ucGRm&icon=..pdf。

- 15.屏東縣政府綠能專案推動辦公室，地熱能，綠能介紹，<https://pge.pthg.gov.tw/%E7%B6%A0%E8%83%BD%E4%BB%8B%E7%B4%B9/%E5%9C%B0%E7%86%B1%E8%83%BD>(最後瀏覽日：2025.4.26)。
- 16.孫文臨(2021年11月23日)，耗資7億全台最大地熱電廠在宜蘭清水地熱年發2,500萬度綠電，環境資訊中心，<https://e-info.org.tw/node/232836>。
- 17.孫文臨(2022a年1月28日)，【綠能新希望？】地熱商機困境曝光，酸蝕、結垢成本高，誘因也有限，環境資訊中心，<https://e-info.org.tw/node/233248>。
- 18.孫文臨(2022b年1月28日)，【綠能新希望？】地熱蘊藏量高開發難2025年目標恐跳票，環境資訊中心，<https://e-info.org.tw/node/233242>。
- 19.財政部，民間參與投資公共建設，好「促」多多，促進民間參與公共建設資訊網，https://ppp.mof.gov.tw/WWW/iMap_invest.aspx(最後瀏覽日：2025.5.3)。
- 20.陳文姿(2017年4月19日)，民間地熱第一案通過環評宜蘭利澤將募百億資金，環境資訊中心，<https://e-info.org.tw/node/204335>。
- 21.陳文姿(2019年5月31日)，不給插吸管，制定「探勘權」是地熱發電興衰關鍵，環境資訊中心，<https://e-info.org.tw/node/218012>。
- 22.莊怡芳、施清芳(2013年12月)，地熱發電技術發展現況、趨勢與瓶頸，能源資訊平台，<https://www.iner.gov.tw/eip/msn.aspx?datatype=YW5hbHlzaXM=&id=MzA=>。
- 23.郭佳韋(2016年7月)，淺談台灣地熱發電法規問題，能源資訊平台，<https://www.nari.org.tw/fileshare/dl/2027.pdf>。
- 24.國家發展委員會(2024年4月1日)，國家融資保證機制，主要業務，https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=20F58A0E54D2D12E。
- 25.張貽斐(2018年3月12日)，地熱發電：地熱井鑽探可能遭遇之問題，科技大觀園，<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000008/detail?ID=322cf162-8a30-4c3d-9eal-11c730a28780>。
- 26.黃台中(2013年12月11日)，清水地熱發電園區臺灣首座，工商時報，<https://>

www.chinatimes.com/newspapers/20131211001279-260511?chdtv。

- 27.黃嘉瑩(2022 年 9 月 10 日)，地熱與社區如何共好講座後記，荒野保護協會，<https://www.sow.org.tw/blog/20220907/42807>。
- 28.曾耀民(2022 年 8 月 2 日)，臺灣發展地熱能發電之簡析，立法院，<https://www.ly.gov.tw/Pages/Detail.aspx?nodeid=6590&pid=220432>。
- 29.楊智豪、譚志豪、俞旗文、李建成、宋聖榮、姜智文、陳致言、陳棋炫、陳勉銘(2022)，「淺談地熱發電與花蓮地區地熱資源探勘實例簡介」，*大地技師*，(25)，60-67。
- 30.經濟部能源署(2020 年 11 月 18 日)，能源轉型白皮書，能源轉型白皮書網站，<https://energywhitepaper.tw/#/whitepaper>。
- 31.經濟部能源署(2022a 年 5 月 24 日)，加速地熱發電開發經濟部發布地熱能發電示範獎勵辦法，https://www.moea.gov.tw/MNS/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=100114。
- 32.經濟部能源署(2022b 年 9 月 30 日)，日本地熱發電，設置概況及政策概要，再生能源資訊網，<https://www.re.org.tw/knowledge/more.aspx?cid=201&id=4964>。
- 33.經濟部能源署(2023a 年 1 月 16 日)，中華民國一百十二年再生能源電能躉購費率及其計算公式，能源法規，https://www.moeaea.gov.tw/ECW/populace/Law/Content.aspx?menu_id=21989。
- 34.經濟部能源署(2023b 年 5 月 29 日)，建物設置太陽光電、地熱專章再生能源發展條例部分條文修正草案三讀通過，經濟部能源署官網，https://www.moea.gov.tw/MNS/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=109933。
- 35.經濟部能源署(2024a 年 6 月 3 日)，「地熱能探勘與開發許可及管理辦法」公告實施明確地熱能探勘及開發作業行政程序，https://www.moea.gov.tw/Mns/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=114993。
- 36.經濟部能源署(2024b 年 7 月 4 日)，112 年能源供給概況，能源統計，https://www.moeaea.gov.tw/ECW/populace/content/Content.aspx?menu_id=14435。
- 37.經濟部能源署(2024c 年 7 月 4 日)，112 年能源消費概況，能源統計，https://www.moeaea.gov.tw/ECW/populace/content/Content.aspx?menu_id=14436。

- 38.經濟部能源署，最新統計發電裝置容量，能源統計月報，<https://www.esist.org.tw/newest/monthly?tab=%E9%9B%BB%E5%8A%9B>(最後瀏覽日：2025.4.26)。
- 39.鄭士歆(2018年12月1日)，協力治理(公私協力)相關議題，國試論壇，<https://talk.superbox.com.tw/Text.aspx?id=1191&chksum=Super412Talk>。
- 40.劉庭莉(2022年9月27日)，加速地熱潛址調查經部成立學研合作平台明年探勘場域增至八處，環境資訊中心，<https://e-info.org.tw/node/235069>。
- 41.戴永華(2023年12月12日)，國內首座清水地熱發電 BOT 案獲天下城市治理卓越獎優選，聯合新聞網，<https://udn.com/news/story/7328/7636266>。
- 42.謝秉志(2022年4月26日)，台灣地熱發展實務政府多元化再生能源開發，國立臺灣大學社會科學院風險社會與政策研究中心，<https://rsprc.ntu.edu.tw/zh-tw/m01-3/en-trans/1679-1100426-geothermal.html>。
- 43.監察院(2022年6月17日)，地熱發電推動進度嚴重落後監察院促請經濟部檢討改善並請行政院予以重視，監察院全球資訊網，https://www.cy.gov.tw/News_Content.aspx?n=528&s=23863。
- 44.豐宇綠能股份有限公司，工程實績，豐宇綠能有限公司官網，<https://www.fyge.com.tw/achievement>(最後瀏覽日：2025a.4.16)。
- 45.羅亦琳(2022年3月28日)，地熱 vs. 溫泉大不同產學界促立專法，中時新聞網，<https://www.chinatimes.com/newspapers/20220328000391-260107?chdtv>。
- 46.蘇南(2019)，「促參公共建設的政策、經濟與制度分析」，*國會季刊*，47(3)，1-40，https://www.ly.gov.tw/Pages/ashx/File.ashx?FilePath=~/File/Attach/186291/File_230109.pdf。

二、英文文獻

1. Gehringer, M., & Loksha, V. (2012), Geothermal Handbook: Planning and Financing Power Generation. *The World Bank Group, Washington, USA*, 16-100. https://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/DocumentLibrary/FINAL_Geothermal%20Handbook_TR002-12_Reduced.pdf.
2. Hodge, G. A., & Greve, C. (2007), Public-private partnerships: an international performance review. *Public administration review*, 67(3), 545-558. <https://doi.org/>

10.1111/j.1540-6210.2007.00736.x.

3. Karl Gawell (2010), *Does Geothermal Drilling Cause Earthquakes?* Renewable Energy World. <https://www.renewableenergyworld.com/om/monitoring/does-geothermal-drilling-cause-earthquakes/#gref>.
4. Kivleniece, I., & Quelin, B. V. (2012), Creating and capturing value in public-private ties: A private actor's perspective. *Academy of management review*, 37(2), 272-299. <https://doi.org/10.5465/amr.2011.0004>.
5. Lorenz, S., Heigl, B., Palmié, M., & Oghazi, P. (2024), From business models for public actors to public service provision models: Extending the business model concept to the public sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 201, 123273. <https://doi-org.proxyone.lib.nccu.edu.tw:8443/10.1016/j.techfore.2024.123273>.
6. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, *Electricity Generation*. Geothermal Technologies Office. Retrieved April 26, 2025, from <https://www.energy.gov/eere/geothermal/electricity-generation>.
7. Rakić, B., & Rađenović, T. (2011), Public-private partnerships as an instrument of new public management. *Facta universitatis-series: Economics and Organization*, 8(2), 207-220.
8. Snihur, Y., & Eisenhardt, K. M. (2022), Looking forward, looking back: Strategic organization and the business model concept. *Strategic Organization*, 20(4), 757-770. <https://doi.org/10.1177/14761270221122442>.
9. Timeus, K., Vinaixa, J., & Pardo-Bosch, F. (2020), Creating business models for smart cities: a practical framework. *Public Management Review*, 22(5), 726-745. <https://doi.org/10.1080/14719037.2020.1718187>.
10. Villani, E., Greco, L., & Phillips, N. (2017), Understanding value creation in public-private partnerships: A comparative case study. *Journal of management studies*, 54(6), 876-905. <https://doi.org/10.1111/joms.12270>.
11. Wang, H., Liu, Y., Xiong, W., & Song, J. (2019), The moderating role of governance

- environment on the relationship between risk allocation and private investment in PPP markets: Evidence from developing countries. *International Journal of Project Management*, 37(1), 117-130. <https://doi-org.proxyone.lib.nccu.edu.tw:8443/10.1016/j.ijproman.2018.10.008>.
12. Wiprächtiger, D., Narayanamurthy, G., Moser, R., & Sengupta, T. (2019), Access-based business model innovation in frontier markets: Case study of shared mobility in Timor-Leste. *Technological Forecasting and Social Change*, 143, 224-238. <https://doi-org.proxyone.lib.nccu.edu.tw:8443/10.1016/j.techfore.2019.02.004>.
13. Zott, C., & Amit, R. (2010), Business model design: An activity system perspective. *Long Range Planning*, 43(2-3), 216-226. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0024630109000533?casa_token=5boUVQ0LEPoAAAAA:XGGziLs0tXsQrfvuu-vxOuer87GQdSa9coi5jIFOyVUuxFicKV_d0m0dvG43MrMB5CvmTW2uNZlw.

三、日文文獻

1. 独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構，周辺温泉への影響評価，地熱を知る・学ぶ，<https://geothermal.jogmec.go.jp/information/hotsprings/influence.html>(最後瀏覽日：2025.4.16)。