

出國報告(出國類別：實習)

先進地熱技術開發研習

服務機關：台灣電力公司再生能源處

姓名職稱：蔡英聖處長、徐文科計畫經理、劉家成課長、

李瑋璇專員

派赴國家：印尼、菲律賓

出國期間：114.7.15~114.7.24

報告日期：114.9.24

目錄

一、 目的.....	2
二、 行程表.....	3
三、 交流紀要.....	4
3.1 Apexindo 鑽井公司.....	4
3.2 Kamojang geothermal field	7
3.3 Baker Hughes Indonesia	10
3.4 PDSI (Pertamina Drilling Services Indonesia)	16
3.5 PGPC (Philippine Geothermal Production Company) ..	20
3.6 PGPC_Mak-Ban 地熱廠 (於本廠 PGPC 主要安排探討技術面議題)	29
3.7 PGPC_Tiwi 地熱廠 (於本廠 PGPC 安排主要探討社會面議題)	34
四、 心得.....	42
五、 具體建議.....	43

一、 目的

隨著能源轉型及淨零排放政策的推動，地熱能因其穩定、低碳且本土化的特性，逐漸受到台灣政府與產業界的高度重視。近年來，台灣積極推動地熱開發，但在探勘技術、資源評估、電廠營運模式及產業鏈整合等方面，仍有許多需要學習與借鏡的地方。印尼與菲律賓同屬環太平洋火山帶，地熱資源豐富且開發歷史悠久，無論在探勘、開發或是電廠商業運轉上，皆累積了豐富的經驗，對台灣而言具有高度參考價值。

此次出國的主要目的，在於透過實地參訪當地地熱電廠及相關廠商，深入了解地熱資源開發的完整流程，包括地質與地球物理探勘方法、井場設計與鑽井技術、蒸汽集輸系統建置、發電型態選擇，以及電廠運維與管理模式。同時，也特別關注印尼與菲律賓在政策規劃、法規架構、電價機制及與當地社區互動上的作法，以作為台灣未來推動地熱能發展之重要參考。

另一方面，此次行程亦著重於與當地公私部門、學術單位及產業界交流，藉由與開發商、技術服務公司及研究機構的互動，掌握國際地熱產業最新的技術趨勢與合作模式，並探討未來在技術引進、人才培育及國際合作上的可能性。透過這些交流，不僅有助於提升台灣地熱開發的專業能力，也能建立跨國合作網絡，促進後續更多實質性的技術與經驗分享。

綜上，此次赴印尼與菲律賓參訪的目的，在於學習成熟地熱國家的成功經驗，並將其轉化為台灣在政策推動、技術發展及產業應用上的具體參考，以加速國內地熱能開發進程，進而強化台灣能源自主與永續發展的目標。

二、 行程表

日期	行程
2025 年 7 月 15 日	■ 台灣桃園機場飛印尼雅加達
2025 年 7 月 16 日	■ 拜訪鑽探公司 PT Apexindo Pratama Duta Tbk
2025 年 7 月 17 日	■ 參訪卡莫章地熱電廠(Kamojang geothermal power plant)
2025 年 7 月 18 日	■ 參訪印尼國家石油公司鑽井服務公司(PDS)並與印尼 Baker Hughes 交流
2025 年 7 月 19 日	■ 新加坡轉機
2025 年 7 月 20 日	■ 由新加坡前往菲律賓馬尼拉
2025 年 7 月 21 日	■ 至菲律賓地熱發電公司(PGPC)鑽井和資源管理部門會議
2025 年 7 月 22 日	■ 至馬基巴納(Mak-Ban)地熱電廠參訪
2025 年 7 月 23 日	■ Tiwi 鑽井平台參訪
2025 年 7 月 24 日	■ 菲律賓馬尼拉機場回台灣桃園機場

三、 交流紀要

3.1 Apexindo 鑽井公司

3.1.1 總部交流

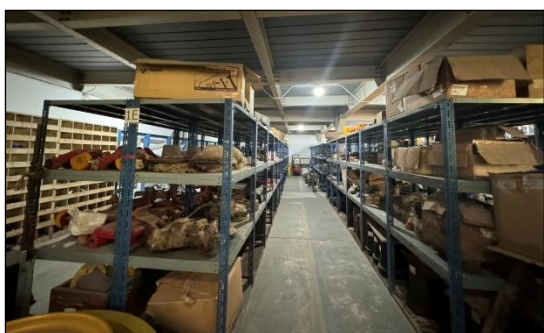
PT Apexindo Pratama Duta Tbk(簡稱 APEX)成立於 1984 年，是一家印尼鑽井承攬商，是一家具有 40 年鑽井經驗的上市公司，也是印尼第一家海上鑽井公司，並且為 IADC 會員(世界鑽井承包商協會)，擁有石油、天然氣、地熱和煤層產業的海上和陸上鑽井能力。Apex 擁有由 4 座海上鑽井平台（1 座自升式鑽井平台和 3 座沼澤駁船）和 6 部陸域鑽機等高品質且維護良好鑽井團隊，其客戶包括一些國內外最大的能源公司，如印尼國家石油公司（Pertamina）、馬來西亞國家石油公司（Petronas）等。

APEX 公司的組織結構，董事會為一位總裁董事及三位董事，其下有平行部門包含策略規劃部、財務部、採購部、人力資源部、營運和技術部、客戶關係部和工作安全部。目前一共有 6 台 750-2000 馬力的鑽井機具，制度化訓練員工，因此累積非常好的鑽井能力、至 2023 年已經累積 8150 萬小時之工時，且非常注意工安，已經累積超過 16 年無工安意外。已能制度化訓練員工。

3.1.2 Bojonegara 設備基地

APEX 有 2 個設備基地，Bojonegara Yard 位於印尼西北部，占地面積 6.7 公頃，約有 70 名員工。該公司非常重視安全措施，員工上下班使用 T 卡，以確認員工在勤、備勤或休假。另因為旁邊就是裝卸貨碼頭，可能有海嘯風險，園區備有緊急鈴，若遇到海嘯或地震須至特定區域集合，並由安全官帶至安全地點。對於工作危害方面，有 STOP card 制度，可填寫看到什麼不安全的事情或行為以及建議如何改進，若做某件事情是不安全的，即便長官下令也不能做。

倉庫備品部分，會依鑽機派遣情形準備相應充足的量，避免臨時缺料及冗長的運輸和採購流程，其中，針對井場屬高溫、高壓、低 pH 值的設備，因為比一般案場更容易損壞，所以備料會更多。



■ APEX 來台灣服務之考量

台電說明本次來訪除了交流還有另一個重要的目的，是希望有機會可以促成合作，引進 APEX 來台服務，台電說明台灣除了中油(另一家總責油氣服務及產品的國營公司)的探勘及鑽井能力較強也較有經驗外，其他民間鑽井廠商大多都是鑽鑿水井及溫泉井起家，鑽探地熱井的能力跟經驗相對缺乏，而中油除了與台電合作以外，也被賦予擔任地熱開發商的角色，對於台灣來說，開發地熱能尋求的有經驗之鑽井廠商寥寥可數，而已台電來說，開發地熱也處於起步階段，因此提出下面幾項議題，聽聽 APEX 的想法，並期待未來能有機會一起合作。

- 計價方式：台電對於油氣行業以日費計價的模式相當陌生，一般工程較常用統包計價方式，APEX 比較傾向使用那種計費方式？
- 降低風險：鑽井業界是否有相關保險，可以將鑽探或地質的不確定性進行保險，讓開發商及鑽井廠商的風險降低？

APEX 說明過去他們有海外服務的經驗，也對台灣市場有興趣，但主要會希望合

約越長越好(如五年的規劃)，因為設備運費是重要的考量，所以若合約越短意味著機具運輸的頻率高，運費成本相對很高。針對台電所提議題，回應如下：

- 計價方式：可以理解台電的訴求，但因為油氣產業並不常見統包計價，而且 APEX 也沒有執行過這樣的合約，所以還是傾向用日費計價。
- 降低風險：一般來說，鑽井廠商不承擔地下地質風險，必須由客戶提供可靠且清楚的質資訊，而也沒有保險去分攤鑽井風險。實務上降低風險的方式是於鑽探前做好地質調查，並配合優良的顧問及鑽井服務商，以技術及經驗來進行指導，以降低風險。
- 其他考量：國外合作還需考量當地政治和法律情形，比方是否需要各類證書(如國際協會證照、在地職安證照等)才能訂定合約。



3.2 Kamojang geothermal field

■ Pertamina Geothermal Energy (PGE)

PGE 為印尼國營石油公司 Pertamina 的子公司，於 2006 年 12 月正式成立，作為 Pertamina 專責地熱部門，主要專注於地熱能源的勘探、開發與運營。早在 1974 年，Pertamina 就開始進行地熱資源勘探。至 1983 年 Kamojang 地熱電廠的第一個機組(30 MW)啟用，並於此後逐步擴張容量。除此之外，截至 2024 年，PGE 管理多達 15 個地熱工作區域(Wilayah Kerja Panas Bumi ,WKPs)，包括如 Kamojang、Lahendong、Ulubelu、Lumut Balai 等。

■ Kamojang 地理位置與背景

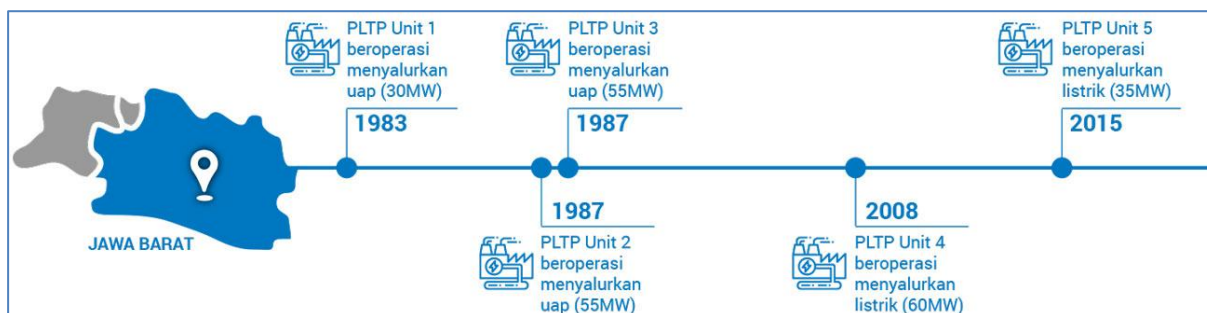
Kamojang 地熱田位於印尼西爪哇 (West Java) Garut 與 Bandung 之間的火山高原，海拔約 1500 公尺，屬於火山弧型地熱系統。該區地處活躍的環太平洋火山帶，由於板塊隱沒作用導致岩漿庫加熱地下流體，孕育了良好的地熱資源。

■ 發展大事記

- 1926 年：荷蘭地質學家首次在此區發現蒸氣噴氣孔與酸性溫泉。
- 1974 年：印尼政府與新西蘭合作進行地熱勘探鑽井，Kamojang-1 為印尼第一口地熱探勘井。
- 1983 年：Kamojang 成為印尼第一個商業運轉的地熱發電場，初期裝置容量 30 MW。
- 現況：由印尼國營電力公司 PLN (Perusahaan Listrik Negara) 及 PGE 共同營運，目前裝置容量已擴展至約 235 MW，持續為爪哇地區提供穩定電力。

■ 營運模式

Kamojang 地熱電廠 (地熱發電廠印尼文：Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi, PLTP)共有五個機組，其中 unit1~3 為 PGE 與印尼國營電力公司 PLN (Perusahaan Listrik Negara)共同營運，由 PGE 提供蒸氣予 PLN 進行發電及銷售；unit4、5 則為 PGE 全程營運至電力銷售。



發展歷程簡列如下：

- 1970~1983 年[前期勘探與 unit 1 商轉]：早期政府與國際援助(含紐西蘭計畫)下完成場址勘探、鑽井與 30 MW 的 unit1，於 1983 年 2 月商轉；此時即採「資源-發電分工」由 Pertamina(後由 PGE 接手)負責蒸氣供應，PLN 負責併網發電
- 1987 年[unit 2、3 併網]：unit 2 與 unit 3 各 55 MW 完工併網，並沿用相同分工
- 2006 年[PGE 成立]：Pertamina 將地熱業務成立專責公司 PGE 處理
- 2016 年[蒸汽價格爭議與合約調整]：PGE 與 PLN 就 Unit 1~3 的蒸汽價格達成協議(由 BPKP，印尼金融及發展監督局審核後定價)並修訂蒸汽銷售合約 (Steam Sales Contract, SSC)，約 6 美分/kwh；unit 4~5 PGE 自營發電的電價合約也同步調整，約 9~10 美分/kwh

依印尼能源產業的慣例，上述 6 美分/kWh 這個蒸汽價格，是指與發電量(Electricity Output)掛勾來計價，而不是單純以熱量(Heat Content)來計價。上述 unit1~3 雙方蒸汽合約也保留價格調整機制，可依通膨、維運成本、鑽補井投資及資源管理成本等因子不定期調整蒸汽單價，2016 年修約就利用這個合約機制來進行。

■ Kamojang 地熱教育中心(Geothermal Information Center, GIC)

位於印尼西爪哇 Garut 與 Bandung 之間的 Kamojang 地熱田內，是由印尼國營電力公司 PLN Geothermal 及相關單位設立的展示與教育場所。

它的主要功能與特色包括：

1. 地熱知識展示

- 中心內設有展覽館，介紹地熱能的形成、勘探、開發及發電流程。
- 使用模型、海報、互動設備，解釋火山地熱系統、蒸汽井、管線、冷凝器

等基礎知識

2. 教育推廣

- 為中小學、大專院校、以及一般遊客提供教育導覽
- 定期舉辦培訓、工作坊、及地熱能推廣活動，讓大眾更認識可再生能源

3. 現場參訪

- 教育中心通常與 Kamojang Geothermal Power Plant 參訪行程結合
- 遊客可近距離看到蒸汽井噴氣、蒸汽管線，以及發電設施

4. 觀光與環境教育

- 附近的 Kawah Kamojang（地熱噴氣孔、溫泉）景點，也是教育中心參訪的重要部分。
- 教育中心強調地熱能發展與環境保護、社區共榮的重要性。



3.3 Baker Hughes Indonesia

■ 公司背景

Baker Hughes 成立於 1907 年，總部位於美國德州休士頓，是全球主要的能源技術公司之一。原本主要業務集中於石油與天然氣勘探、生產與服務，但在 2017 年與 GE Oil & Gas 合併後，逐步轉型為廣泛能源服務與技術供應商，2019 年更由技術整合跨足新能源 CCS，其可以屹立不搖的原因在於重視安全、質量(品質)與誠信(合規)。另一方面，作為技術導向的公司，他們相當重視技術的突破及發展，在該公司每年收入約 250 億美金中，約 7 億美金用於研發和專利。

該公司目前在全球 120 多個國家有營運據點，員工超過 58,000 人，屬於全球性綜合能源技術服務公司，其核心業務包含：

1. 油氣服務：鑽井、完井、增產、油田化學藥劑、人工舉升等。
2. 渦輪機與壓縮機：應用於天然氣運輸、LNG 液化、發電等。
3. 能源轉型技術：包含碳捕集與封存 (CCUS)、氫能解決方案、數位能源管理平台。
4. 數位解決方案：提供工業軟體、AI 平台、設備監測與優化 (如 BHC3.ai、Nexus Controls)。

隨油氣需求下降，該公司也逐漸投入新能源領域，其中以與油氣探採技術同源的地熱最熱絡，為使開發案場能夠快速投產，優化鑽井效率至關重要，整合鑽井領域各個技術，最大限度地降低風險，並更快地完成專案。在此方面，Baker 在國際上已有許多成功案例。在地熱開發領域所提供的整合解決方案，包含：

1. 鑽井與井筒建設 (Geothermal Drilling & Well Construction)
 - 高溫耐壓鑽井液、鑽頭與井筒設計
 - 定向鑽井技術 (Directional Drilling)，可有效鑽穿高溫硬岩
 - 井壁穩定與井下測量技術
2. 測井與儀器 (Logging & Monitoring)
 - 高溫電纜測井工具 (可耐 >300°C)
 - 地層壓力與溫度監測系統

- 井下光纖監測 (Distributed Temperature Sensing, DTS)
- 3. 完井與生產 (Completion & Production)
 - 高溫耐腐蝕套管與封隔器。
 - 專為地熱井設計的泵浦 (ESP) 與人工舉升系統
 - 蒸汽與熱水井的流體控制與防垢解決方案
- 4. 地熱發電技術支持 (Power & Turbomachinery)
 - Baker Hughes 的渦輪機 (Steam Turbines) 與離心式壓縮機，可應用於地熱發電廠
 - 提供雙循環 (Binary Cycle) 與閃蒸型地熱電廠所需的動力設備。
- 5. 能源轉型整合
 - 結合地熱與 氫能、CCUS 等新興技術，開發「地熱－氫能耦合系統」
 - 數位平台監控地熱場運作，提高能效與可靠性

該公司對客戶的營運模式主要採用創客方法(maker approach)，因為公司的服務相當廣泛(S2S, subsurface to surface)，團隊之間應能夠以非常系統的方式進行溝通，憑藉這種團隊合作以及地下資源服務的能力，才能快速交付專案。具體來說，因為將不同專業分由不同部門執行，不同團隊間的溝通及訊息即時交換，可以同步展開工作，縮短準備、開發和探索的時間，把所有事情都提前做好。

整體而言，Baker 是一家從分子到兆瓦(from molecules to megawatts)整合型技術服務商，特別專注於技術與解決方案、合作夥伴關係以及專案執行。

■ 相關部門介紹

地熱計畫主要包含三個部分：地下研究、鑽探和發電廠建設，於 Baker 整體稱為「全流程解決方案」

1. 地熱資源探勘評估 (GaffneyCline)

Baker 負責地熱資源探勘評估的團隊是 GaffneyCline 能源顧問。主要由一群既專業又經驗豐富的人才組成。這些人才來自不同的學科，例如地質學、地球化學、地球物理學、支援工程、生產工程、生產化學等，幾乎涵蓋了所有地熱研究及實務相關領域，

建立了一套名為 **JewelSuite™** 的技術軟體，能夠為客戶提供實際的支持，以減少不確定性並提前識別風險。

一般而言，開發商若沒有足夠的技術與經驗，可能會與鑽井團隊溝通不良，兩者之間會缺少一個環節。而透過 **GaffneyCline** 團隊提供的服務，能與鑽井隊有效溝通，整個大團隊有良好的溝通往往是地熱專案成功的關鍵。

GaffneyCline 團隊以一個印尼東部火山型地熱來闡述他們的能為客戶提供解決方法的案例。在一座相當活躍的活火山周邊，客戶原先鑽了 5 口井，於產測階段所產出都是酸性熱液。團隊收集了這些井的流體樣本進行化學分析，並整合其他地質、地物數據後，分析了地下流體流動特性，提出了 3D 地熱地質模型，該模型揭露其中有 3 口井可以取得中性流體。主要的原因是，透過整合 3G 調查數據分析後，其中 2 口井較靠近酸性熱液來源，另外 3 口井與前 2 口井之間有一個構造阻隔，所以當同時生產一段時間後時，各井的壓力洩降，熱液流動已穩定形成一種模式，酸液都優先從 2 口井流出，而並不會於另外 3 口流出，這 3 口井所補助的熱液是從另一個方向透過天水深循環後所得到。

若這個開發商當時沒有請 **Baker** 團隊進行分析評估，他們就要為所有 5 口井準備防蝕化學品，會大幅增加未來營運成本。現在，透過團隊在事前的分析，開發商只需要準備 2 口井的抗蝕方案，能夠有效提升營運績效。此外，針對抗蝕、抗結垢化學品的選用及劑量，**Baker** 也能針對個案特性提出完整的解決方案。團隊這些專業技術及經驗，將來也都會應用在台灣大屯山專案上。

2. 鑽井技術支援

鑽井的成敗是地熱開發中至關重要的環節，其中如何加速並提高成功率是所有開發商最關注的重點，**Baker** 鑽井技術支援團隊即是圍繞這個宗旨在進行研發、技術服務及設備生產。

團隊首先說明鑽井成本約占整體地熱開發比例 40%，其中經他們細分鑽井的各項成本與鑽井日數的關聯，發現大約 64% 的成本與鑽井日數有關，因此，提升鑽井效率儘快完成鑽井作業對於地熱開發有巨大的影響。團隊列舉了兩個合作的案例，第一個案例是位於中爪哇，客戶原先規劃定向井(30 度)於 65 日完成，經由 **Baker** 調教執行，

實際以 32 日完井；第二個案例位於西爪哇，油原規劃 47 日縮短至 35 日完井。在上述中爪哇案場中不同的鑽井，他們也列出了未使用 Baker 而使用其他服務商技術(情境 1)、使用部分 Baker 技術(情境 2)及使用整套 Baker 技術(情境 3)的差異，情境 1 的鑽井從 40 日縮短至 37 日；情境 2 的鑽井從 50 日縮短至 41 日；情境 3 的鑽井從 65 日縮短至 32 日，在在都顯示出 Baker 技術的優勢。

具體來說，Baker 從前端的探勘就可以識別鑽井風險與制定風險緩解計畫，並使用 Baker 一系列的專門設備及技術，包含 Kymera 複合式 PDC 鑽頭、抗地層膨脹的鑽井泥漿、NaviTrak 隨鑽測井測系統(MWD system)、抗酸固井水泥等，這也呼應到前頭介紹，Baker 是一家重視技術研發的公司，不斷創新和技術研發以協助客戶降低成本與開發風險。

3. 結垢處理技術

Baker 以 Coil Tubing (CT)噴射洗井技術來對地熱井進行除垢，是唯一在印尼提供 CT 服務的公司，也已經與印尼許多公司合作，例如 Pertamina、Star Energy Geothermal、Supreme Energy、Geotipa 等。

通常在地熱井中，常看到的現象之一就是結垢沉積，會影響井的產能，這是由於溫度、壓力以及水的 pH 值變化造成的。通常看到的水垢類型是碳酸鹽垢、亞硫酸鹽垢以及矽垢。結垢發生的位置依處理難度由輕至重分別為，於井內套管或襯管中、於襯管開孔中、於地層內部。

CT 技術的執行方式(地表設備占地面積 20~40 約平方公尺)，首先會進行壓井作業(quench the well)，再將整套系統下放井中，旋轉噴射器先以 45 度角運行，以清水噴洗(很少情況會用到酸)，從上方先噴洗源頭的碎屑，若能將 CT 持續下放穿過結垢層，則下一階段會將旋轉噴射器以 90 度角運作，來徹底洗除垢體。在 CT 下放沖洗的過程中，若遭遇頑強垢體，使噴射清洗無法作業，此時，就會先使用磨洗鑽頭(milling bit)進行刮除作業，為了避免損壞井體，會先從小尺寸鑽頭開始逐漸擴大，在執行過程中，也會先與業主溝通，取得同意後，才會使用較大的鑽頭進行刮除，直到到達預定深度後，在進行 90 度噴洗作業，來確保井體及槽孔內的結垢有徹底清除。

這項技術從 2004 年便開始應用於印尼的地熱井，截至目前 2025，已成功執行超

過上百口井，其中，在 2024 年的專案中，也成功執行了活井洗井作業，也就是在洗井時，同時還保持生產。

除了後處裡作為，事實上，Baker 也有許多化學結垢抑制劑，都可以為客戶提供結垢的解決方案。

4. 生產相關設備及技術

開發商理想的情境是地熱井的生產都不會衰竭，但實際上卻不是如此，井衰竭的情形因地而異。一般而言，井生產 5 到 10 年產能多多少少都會下降，為了電廠營運績效，當然我們可以鑽新井取補充產能，但更有效益的方式是以人工舉升的方式來刺激跟優化這些產能下降的井。Baker 的井下電泵(Electric Submersible Pump, ESP)就是很好的選擇，這是一種非常標準的做法，但很多時候開發商並不會意識到這一點。

Baker 從 1980 年代就開始研發及對客戶提供這樣的服務，是歐洲、美國、土耳其以及亞洲各地地熱 ESP 市場的領導者。其 ESP 工作溫度可以超過 200 攝氏度，也展示了相關為客戶成功增產的案例。

■ 議題交流

1. 開發商應具備的能力？

對於開發商而言，應該要提升內部綜合規劃及相關專業能力(包含探勘、選址、鑽井規劃等)，也不太適合將所有工作都外包，一旦內部能力提升了，未來還可以將這些能力輸出，提升我國整體地熱開發素質。

舉例來說，以前一日參訪的 PGE，他們也是國營企業，但他們在選取區塊開發時，也會先進行完整的探勘及調查工作，而不是隨意選取適合的土地，就冒著風險進行開發，因為所有地下的資訊都是肉眼無法觸及的，對於投資的風險相當高，必須經過地質勘察、地球化學勘測、地球物理勘測及攤勘井逐步建立地熱地質 3D 模型。

在鑽井方面，以初期的 3 口井為例，若先前沒有數據，僅使用模擬數據，不確定性仍然存在。所以，通常情況下，經驗豐富的公司會把第 1 口井當作實際採集資料的第一 1 井來實施，並儘可能獲取最多的資訊，來做為第 2 口井和第 3 口井的設計參考。

2. 地熱探勘或開發鑽井是否會有產生地震的風險？

雖然過去其他國家(例如澳洲和韓國)也經歷過這種情況。但他們是為了開發強型地熱系統（EGS），以人工高壓灌注液裂地層，超出了地層可接受範圍，才引發地震，這些案例對地熱產業帶來了一些負面影響及輿情討論。但以傳統地熱（CGS）開發方式而言，據目前世界上開發地熱的經驗，兩者之間的關係其實非常薄弱。所以這也回應上面所討論的，在開發前，需要對地質進行相當程度的了解。一般而言，我們要避開斷層帶，避免對錯動對井體產生破壞，同樣地，高壓液裂的工法，也要避開斷層帶，以免灌注液體刺激斷層活動。

3. 有沒有機會來台灣設點服務？

當然有的，但目前還沒有一定量體的工作，基本上都可以從印尼、新加坡辦公室這裡來支援，未來若台灣業務持續成長，也找到合作夥伴，將有機會成立新的辦公室。



3.4 PDSI (Pertamina Drilling Services Indonesia)

■ 公司背景

PDSI 成立於 2008 年，是國營企業 Pertamina 的子公司(過去是 Pertamina 內部的鑽井部門)，目前是印尼(也是東南亞)規模最大的鑽井公司，簡介如下：

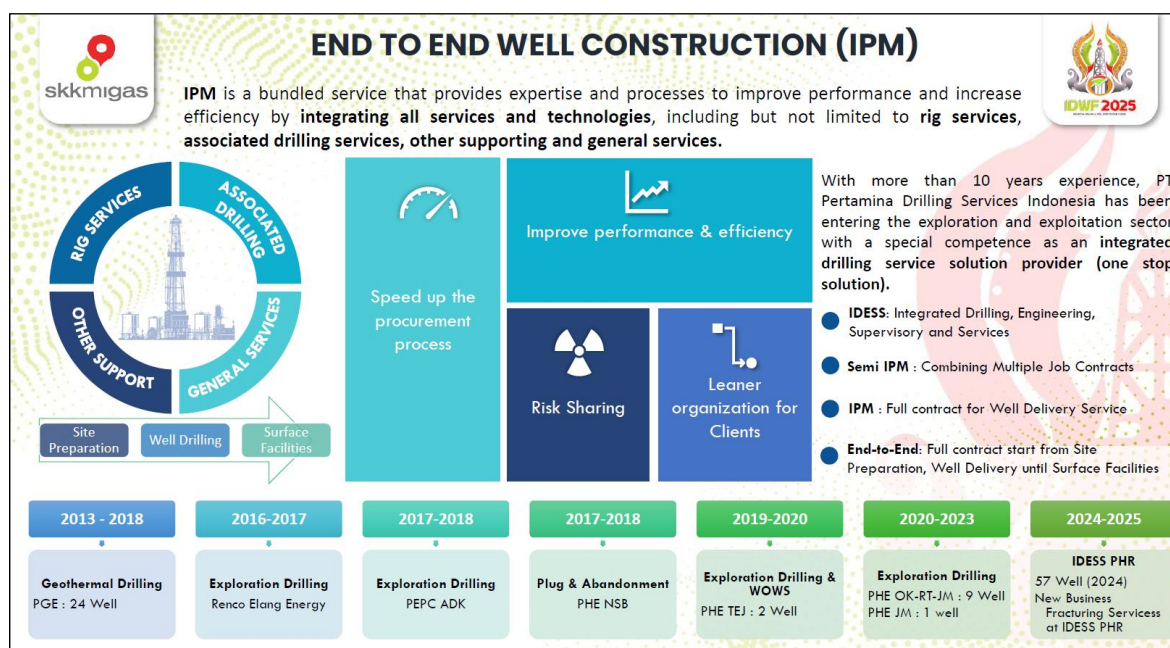
- 願景：成為世界一流的鑽井和能源服務公司
- 使命：作為首選策略夥伴，提供高品質的綜合解決方案，加速能源永續發展，為利害關係人創造最大附加價值
- 業務：與鑽井相關的統包工程(EPC)、食宿服務、運維、運輸倉儲、鑽井設備貿易、海事工程等
- 規模：>9,000 員，擁有實務鑽井、後勤服務、專案管理等技術專家
- 設備：50 部鑽機(47 部陸域鑽機、3 部海域鑽機)、近期將評估採購 2 部地熱專用鑽機、相關井控、井測設備

PDSI 可以提供端到端(end to end)的鑽井服務，從鑽機、鑽井服務、後勤等，具體實施方式他們稱為 IPM(整合專案管理模式)，透過整合所有服務和技術（包括但不限於鑽機服務、相關鑽井服務、其他支援和一般服務）提供專業知識和流程，以提高效能和效率。舉例來說，若由業主自行執行專案，一般所需委外的分包商超過 50 個，可能採購及整合流程會超過 1 年，但透過 IPM 服務，可以加快所有流程，從而實現業主和供應商之間的資源共享，這樣就不需要更大的組織架構，業主也可以透過領導組織架構來優化成本。IPM 也可以因應客戶的需求提供不同的服務組合，概列如下：

- IDESS: Integrated drilling, engineering, supervisory and services
- Semi IPM : Combining multiple job contracts
- IPM : Full contract for well delivery service
- End-to-End: Full contract start from site preparation, well delivery until surface facilities

自 2013 年起，該公司執行成功執行了多個 IPM 專案，目前正在執行一個大型專案，在 2024 年僅用了 6 個月的時間，利用 8 部鑽機鑽鑿了 57 口探勘井。另外 2024 年中也與石油業巨頭 ExxonMobil 簽署合約進行 CCUS 鑽井合作。除了專案執行能力外，

他們的運維績效也非常顯著，54 部鑽機的非生產時間(Non-Productive Time, NPT)僅為約 0.9%，非常短，也優於全球業界的平均水平(約 5%)。



PDSI 旗下的子公司 PDC (Pertamina Patra Drilling Contractors) 主要任務為提供鑽井活動的支援服務，包含專業人力、鑽井團隊、重機具起重作業與裝卸、運輸物流、倉儲、食宿。

旗下除了 PDC 外，還有 IDTC (Indonesia Drilling Training Center, 印尼鑽井培訓中心)，專門提供鑽井主管、技術員及團隊相關培訓。此中心為 IADC (International Association of Drilling Contractors, 國際鑽井承攬商協會) 的成員，提供世界一流的培訓設施，包括模擬器、真實鑽機、真實設備、住房和其他設備，用於培養安全能力、操作與核發專業認證。已成功培訓非洲多國(坦尚尼亞、納米比亞、吉布地)，近期也將派員至東帝汶進行專業培訓工作。

具體可提供培訓和認證。除了鑽井及井控團隊外，還包括授權氣體測試員、消防認證以及各種環安(HSE)課程。在支援服務方面，提供焊接認證、焊接檢驗員、起重機操作員、鷹架操作以及地熱、石油和天然氣行業所需的所有證照。一般從無經驗的人員，在 IDTC 培訓 1 年來獲取所需的技能與相關證照。



THE CENTER OF DRILLING OPERATION EXCELLENCE

Introducing the *Indonesia Drilling Training Center (IDTC)* the only dedicated drilling training center in Indonesia



Pertamina Drilling provides a world-class training facility with simulators, real rigs, real equipment, housing and other equipment for developing safety competence, operations and certification. IDTC offers a wide range of training and certifications focused on oil and gas drilling.

SERVICES	FACILITIES	CUSTOMERS
1. Drilling Operations a. Drilling Certification i. IADC (International Association of Drilling Contractors) ii. IWCF (International Well Control Forum) iii. Indonesia Oil & Gas Certification b. Well Intervention Certification i. Well Intervention Supervisor ii. Rig Superintendent iii. Well Service Crew	 Real 150 HP Rig  Safety Training Equipment  Well Control Simulator  Lifting & Rigging Training Equipment  Welding Workshop  Fire Fighting Training Equipment  Scaffolding Training Equipment  Self Contained Breathing Apparatus (SCABA) Training Equipment  • Provide International Certification since supported by International Association of Drilling Contractors (IADC) and International Well Control Forum (IWCF). • Collaboration with Pertamina University and HSE Training Center SEI Gerong to operate Mundu, Karangampel, Indramayu drilling center.	 PT Pertamina EP  PT Patra Drilling Contractor  Timor GAP  Tanzania Petroleum Development Corporation  Medco Energi  Petroleum Training and Education Fund Namibia 
2. HSE a. HSE Certification i. Supervisory Level ii. Field Officer b. H2S Certification c. AGT Certification (Authorized Gas Tester) d. Fire Fighting e. Various HSE Courses & Refreshment		
3. Oilfield Support a. Welding Certification (SG) b. Welding Inspector c. Wheel Loader Operator d. Scaffolding Certification i. Technical Expert ii. Supervisor e. Crane Operator & Rigger Certification f. Non-Destructive Test (NDT) Inspector g. Food Handling i. Chef ii. Food Handler		

■ 議題交流

- 在端到端鑽井服務，成本結構大致如何？一般井場所需的人員大致多少？所需要的場域範圍大約多少？

印尼的經驗，一般以單口 2,000~2,500 公尺鑽深的井大約 700 萬美元，其中大約 25%是鑽機及鑽井團隊工作費，大約 20%為鑽井液，大約 20%是固井，大約 20%用於定向鑽井相關的費用，其餘的就是如食宿等其他服務費用。

一個井場所有的服務人員約 110~140 人，其中 90~100 人是鑽井隊人員(一日兩班)。若以 IPM 服務，假設現場是 140 人，其中約 110 人為 PDSI 的員工，其餘的部分，則是包含業主的主管、地質師、井場材料員數員，其他合作團隊成員包含定向鑽井工程師數員、泥漿工程師數員、固井工程師數員。

依目前的鑽機，井架高度大約 50 公尺，為了組立，現地空間寬估需要 100 公尺 *100 公尺，但還是要看需求，若在一個井坪需要鑽更多井，則用地需求更大。目前也有越來越多鑽機的研發，希望未來能夠有更精巧的鑽機，來降低用地的需求。

- IPM 計價方式以總包價或日費計算？在服務實施前，團隊會需要哪些資訊？

總包價及日費都可以執行。因為 IPM 承擔相關的風險，因此在執行前會請業主儘可能提供資訊，地質資訊、井場範圍(必要時會進行測量)、交通。在井場用地範圍方面，一般地熱都位於山區，可使用的土地不多，所以在有限用地的情形下，會策略性

的將附屬服務或住宿另尋鄰近(1~2 公里內)適合的土地來使用，並利用接駁車供鑽井隊換班。

3. 是否有到海外提供服務的經驗?如何執行?

目前還是以國內服務經驗為主，近期有在洽談國外服務，但依據經驗，會找當地人一起合作，盡力尋找本地資源，以發揮 PDSI 強項與優勢，進行 IPM 服務。所以一旦海外有合適條件，並有在地供應商的支持，就有赴海外服務的機會。

4. IDTC 是否可針對鑽井主管階層進行培訓?

是的，如同剛剛提到的，坦尚尼亞和納米比亞客戶的例子，培訓對象即包含第一線的鑽井隊以及主管人員。對於管理人員的部分，首先要先了解他的工作崗位及需求，才能妥適的安排培訓項目及內容。

3.5 PGPC (Philippine Geothermal Production Company)

■ 公司背景

Philippine Geothermal Production Company, Inc. (PGPC) 是菲律賓歷史最悠久的地熱公司之一，其前身為 1971 年成立的 Philippine Geothermal, Inc. (PGI)，最初由 Union Oil Company of California (Unocal) 與菲律賓政府合作開發。2010 年起，PGPC 由本地企業財團 SM Investments Corporation 接手，成為純本土經營的地熱公司。

PGPC 的核心業務是地熱資源的勘探、開發與生產，並將生產的蒸汽供應給菲律賓的電力公司，用於地熱發電廠的運轉。公司並不直接經營發電，而是專注於蒸汽供應商 (steam field operator) 的角色。主要營運據點包括：

- Tiwi Geothermal Field (呂宋島，阿爾拜省)：1979 年開始商轉，是世界上最早開發的地熱田之一。
- Mak-Ban (Makiling – Banahaw) Geothermal Field (呂宋島，Laguna 與 Batangas 省交界)：1984 年投入運轉，為菲律賓規模最大的地熱田之一。

PGPC –Asset Operations



<u>Tiwi</u>	<u>MakBan</u>
▪ 234 MW installed capacity ▪ 157 wells (66 active wells) ▪ 81 km of pipeline ▪ Cum. Gross Generation 1979-2024: 58,950.44 GWh (109.35 MMBOE) ▪ Location: Albay, Philippines ▪ Commercial Operation: 1979	▪ 448 MW installed capacity ▪ 132 wells (91 active wells) ▪ 106 km of pipeline ▪ Cum. Gross Generation 1979-2024: 90,951.99 GWh (169.72 MMBOE) ▪ Location: Laguna and Batangas, Philippines ▪ Commercial Operation: 1979



PGPC 目前總計可供應 約 700 MW 規模的蒸汽發電能力，長期貢獻於菲律賓的能源結構。菲律賓是世界第三大地熱利用國，而 PGPC 在其中佔有關鍵地位。近年來，

PGPC 積極投入：

- 既有地熱田的維護與增產
- 延壽計畫 (life extension programs)
- 潛在地熱區的勘探，以支撐菲律賓能源轉型與再生能源目標。

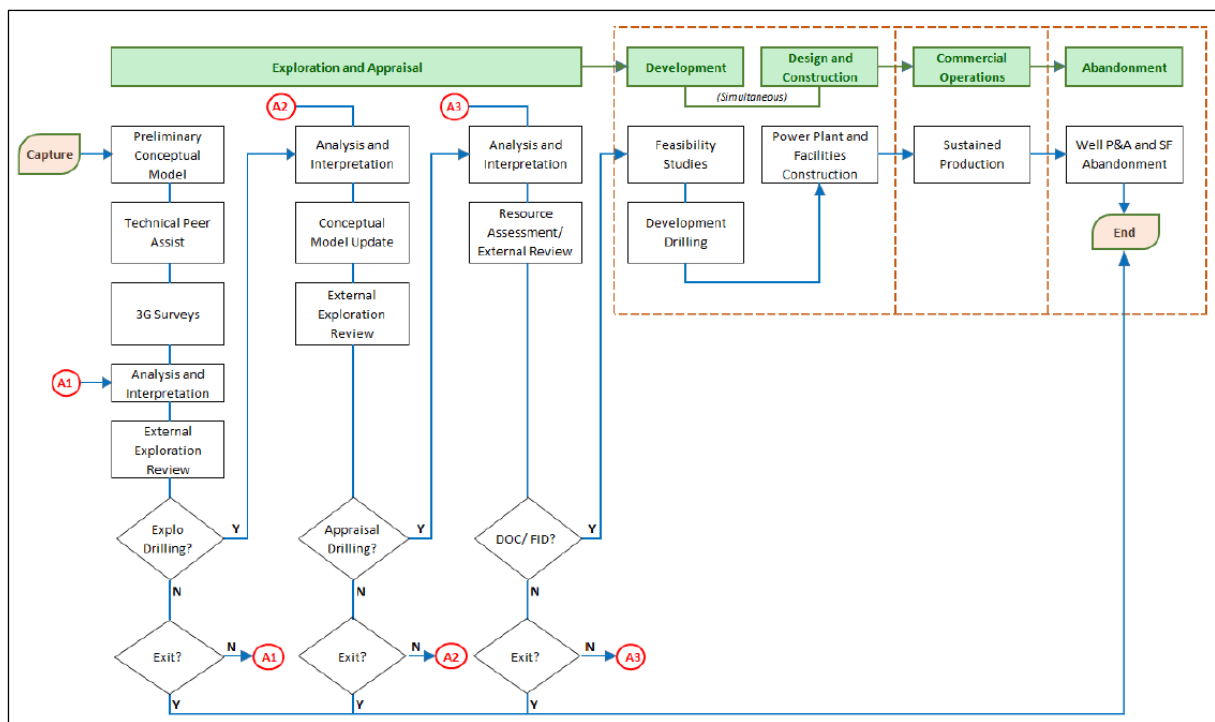
PGPC 的願景是透過穩定的地熱能源供應，協助菲律賓減少對化石燃料的依賴，並在再生能源領域保持領導地位。

■ 地熱計畫全生命週期介紹

整理來說，計畫的生命週期大致可以分為四個階段，探勘與評估(Exploration and Appraisal)、開發(Development, design and construction)、商轉(Commercial Operation)、除役(Abandonment)。

首先，必須與能源部打交道，取得許可後，才開始一系列的長期的探勘工作。首先會建立地熱資源的初步概念模型，並尋求內、外部的技術同儕協助檢驗，這將取決於資源的規模以及初步判斷後續會遭遇的困難。接續進行地質、地球化學和地球物理調查(3G)，並分析並解釋數據，更新概念模型，再邀請外部技術專家，來參與評估解釋結果的有效性。下一步，便會決定是否要進行鑽鑿探勘井(explore drilling)，若決定不馬上鑽鑿探勘井，並不會馬上放棄，而會再檢視模型，是否有不足之處，還有什麼工作可以提高模型的解釋力，所以會進入一個重新檢驗的循環，若仍評估不投資探勘井，則整個流程就結束。探勘井鑽鑿(一般在 green field 都建議至少鑽鑿 3 口探勘井)後所獲取的資訊，會再一次分析解釋，並納入更新概念模型，當然，越多探勘井會對地熱資源有更清晰的認知。若整個概念模型更成熟，則會評估鑽鑿評估井(appraisal drilling)，並再次納入更新概念模型，中途的過程都可以再循環檢視，直到確認進入開發階段(declaration of commerciality,DOC)。

進入開發期，可以同時執行開發井(development drilling)及分期建廠工作，後續進行生產工作，期望以資源永續生產的角度對地熱田進行監控。長期營運後，針對衰竭的地熱井進行評估，必要時執行封廢井的工作。



■ Resource Management (RM)部門

PGPC 內有專設一個 RM 部門，主要負責研發、數據科學、監控，主要三大主軸為科技與創新、地球科學 3G 評估、儲集層工程。具體工作包含地質調查(岩性、構造、熱液換質礦物等)、地物探勘(重力、精密高程、大地電磁等)、地化分析(熱液及氣體採樣、示蹤試驗)、生產監測、災害評估、概念模型建置及更新、儲集層數值模擬、鑽井計畫、修井計畫...等。該部門還有一項重要任務，即是提供分析及評估資料供高層主管、業主、電廠及能源部等利害關係人作決策。

■ 案場監測活動

在整個場域方面，設置地震儀網絡進行長期地震監測。另外，原則上每 3 年會進行一次精密重力測量、精密水準測量、化學示蹤試驗(chemical tracer testing)，小於這個時間段來做比較沒意義，因為看不出實質變化。

在井方面，定期進行蒸氣及熱水流量測試，其他可由 PGPC 自主進行的井下測試，主要為閉井項目，包含結垢探測(scale probes)、閉井 PTS 量測、兩向井徑量測(X-Y caliper)、井下採樣(downhole geochemical sampling, DHS)。

其它因為自有工具能力不足的項目，需要委託第 3 方單位來進行，包含 PTS、井

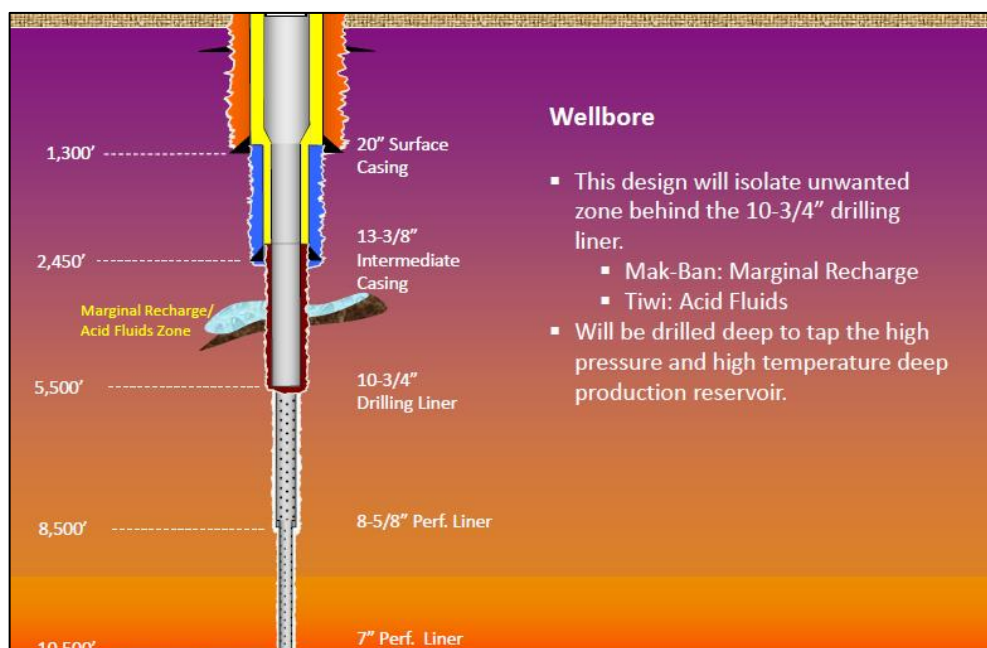
下攝影(downhole videos/DHV, DHS)、多向井徑量測(multi-finger caliper, HTCC-EM caliper)、生產及回注測試(Deliverability testing, Injection testing)。

■ 井程設計及鑽井相關

一般在規劃鑽井計畫時，會考量地質狀況、井程及套管設計、鑽頭選用(起下鑽次數會影響期程)等因素來制定鑽井策略。以下列出 PGPC 常規的井程規劃。

- 第一期：30"導管至 36 公尺(120ft.)，26"鑽進至 390 公尺(1,300ft.)，下 20"套管，接續進行井壁環孔水泥固封 (經評估沒有噴流危害後，本期一般還不必安裝防噴器 BOP)
- 第二期：17-1/2"鑽進至 735 公尺(2,450ft.)，下 13-3/8"套管延伸至地表(接回套管 tie-back)，接續進行井壁環孔水泥固封
- 第三期：12-1/4"鑽進至 1,740 公尺(5,800ft.)，下 10-3/4"套管，接續進行井壁環孔水泥固封
- 第四期：9-7/8"鑽進至 2,550 公尺(8,500ft.)，下 8-5/8"槽孔管
- 第五期：7-7/8"鑽進至 3,150 公尺(10,500ft.)，下 7"槽孔管

井頭主閥的尺寸取決於 tie-back 套管的尺寸，並略小於它，以上面列的井程設計，一般採用 10"或 12"的主閥。若要採用大口井生產，那第二期井孔及套管尺寸要更大，才可能裝設 16"主閥。



在套管選材部分，PGPC 主要使用三種不同的材質：K55、L80 和 T95，對於目前的案場來說，這些套管的耐溫都是可行的，並分別有以下特性：

[K55]

- 低強度碳鋼
- 在所有工作溫度下均耐硫化物應力破裂
- 適用於現場焊接
- 建議用於表層套管和槽孔館

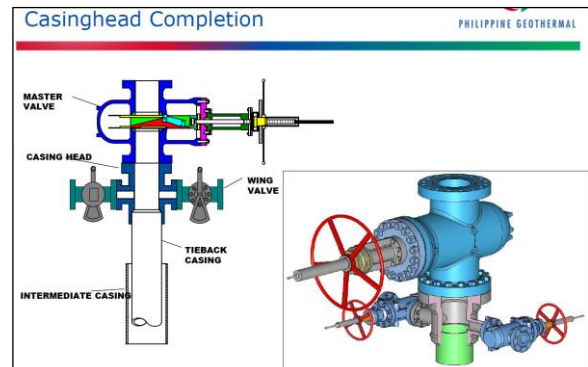
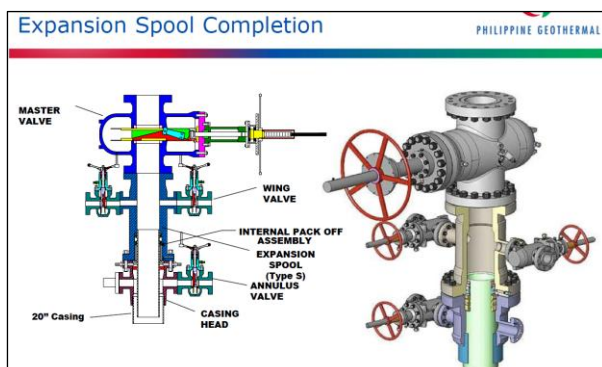
[L80]

- 高屈服強度套管(80,000psi)
- 在所有工作溫度下均耐硫化物應力破裂
- 不適用於現場焊接
- 建議用於中層套管、鑽井尾管和回接套管(tie-back)

[T95]

- 高屈服強度套管
- 在所有工作溫度下均耐硫化物應力破裂
- 不適用於現場焊接
- 可適用於井口流溫超過 315°C 的回接套管

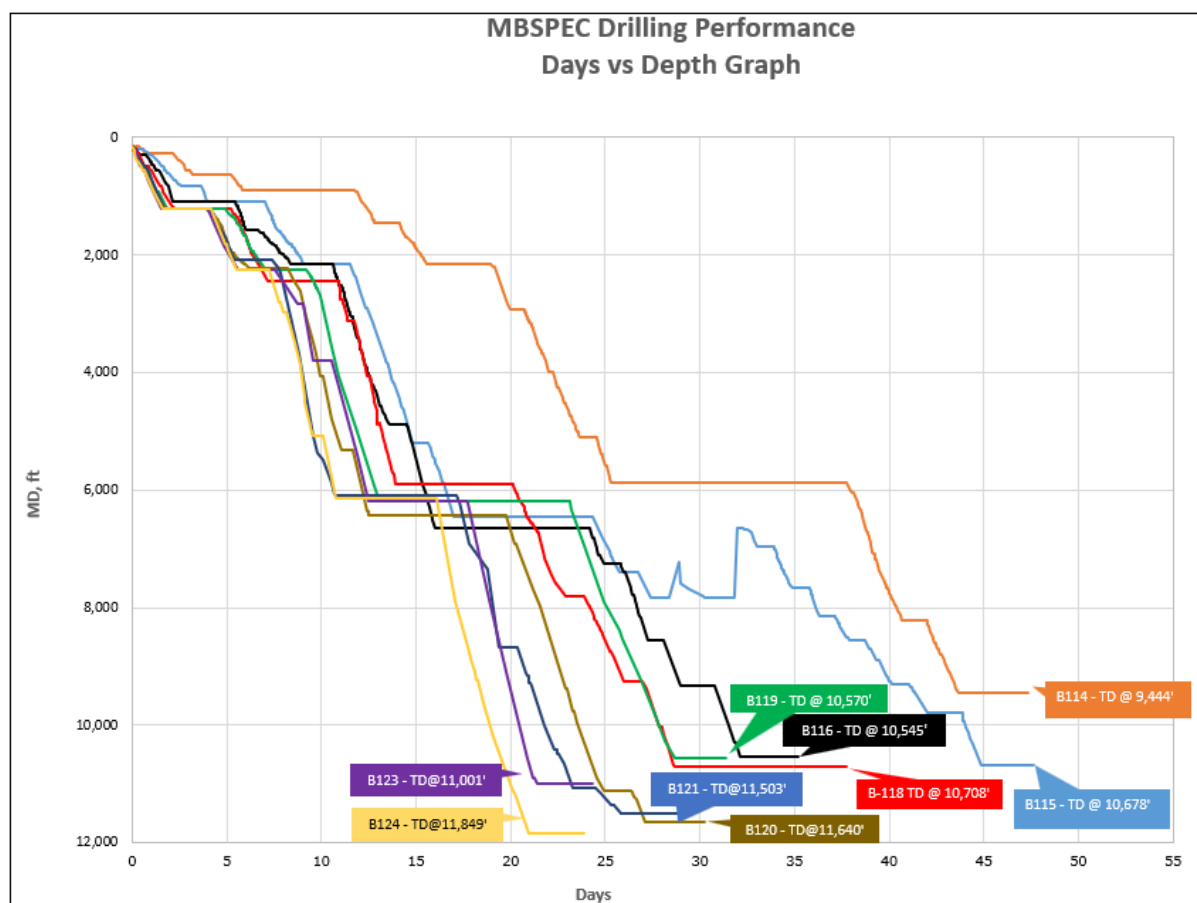
井頭串接的部分，主要分為兩種型態，膨脹閥芯(Expansion Spool Completion) 及 套管頭(Casinghead Completion)。



膨脹閥芯完井的優點在於，接回套管可以在膨脹閥芯內部膨脹，所以井頭閥門組的熱漲冷縮的變形量會大幅減少，間接地，也可以使連接井頭的地表管線受到的升降影像最小。(一般井的抬升量約 6~8”，能量比較強的井，井頭可能會抬升 22~23”)

另一個是套管頭完井，這個設計比較直觀，是直接把井頭閥門組焊接在接回套管內。若需要更換井頭，則需要切斷焊頭，再另外下尺寸較小的回接套管，再焊接新的井頭閥門組。

在鑽井執行方面，PGPC 舉了一些鑽井的案例(屬較均質的火成岩區，鑽井深度都約 3,000 公尺)，來說明鑽井速度會隨著鑽井數量增加，經驗持續累積，對當地的地下狀況越來越清楚，則鑽井速率會逐步提升，單井從第 1 口井的 45 天，到第 8~9 口井時進步到約 25 天。鑽井速度相對快速主要因為地質較均一性、鑽頭(PDC)與工法選用恰當及良好的鑽井計畫與風險管控計畫。在這些井中，基本上每一期都只用一顆鑽頭(單趟下、上)，也沒有遇到太多井況，所以鑽井速度相對較快。



近期規劃及執行鑽的新井，大多都是利用既有的井坪，因為鄰近越來越多聚落，使得開發選址變的很不容易，所以往後的鑽井，都會朝向精簡土地利用面積的方式處理。此外，也因為鑽井井坪時常受限，只能在有限的空間進行多井鑽鑿，我們會選用滑移鑽機(skidding rig)，並且可免拆裝，加速井到下一井之間的移動時間(一般約 15 天~17 天，鑽機每日動員費約 6 萬美元，即便鑽機處於待命狀態，仍需要支付費用)，可

以節省大量成本。也因此，PGPC 在去年自行投資採購一部 1,500 馬力的鑽機，可隨時調動支援鑽井。

在鑽新井部分，如何提高深井目標定位策略的有效性，並精準控制鑽井成本以確保開發的經濟可行性，是 PGPC 在開發面的主要關切的議題。此外，在開發及營運時，因緊鄰社區，也有一些私有土地的爭議，包含路權使用、週邊地區基礎建設困難、社區侵占等問題。



■ 議題交流

1. 在菲律賓，地熱開發商如何申請案場？政府的規定是什麼？

菲律賓政府會先劃設潛力地熱區塊，再透過能源部（Department of Energy, DOE）的競爭性公開招標(Open and Competitive Selection Process, OCSP)向開發業者招商。中選公司會與政府簽訂合約(Geothermal Service Contract)，先勘探，若成功則進入 25 年的開發/生產期，並需繳交特許權利金(royalty)與分潤，確保政府與地方社區的收益。一旦一個潛力區塊已經標出，其他開發商則不能在此區塊探勘及開發。

2. 在 PGPC 的探勘或開發經驗中，是否有遇到酸性很高的案場，面對這些案場如何處理？

有遇過 PH3~4 的案場，PH1~2 的案場就比較少了。一般來說遇到偏酸性的案場，

是否會續行開發，則視潛能評估及效益分析的結果而定。目前 PGPC 營運的案場中，都沒有酸的問題，但我們有相關化學中和的技術，當然也有其他選抗酸的方法，例如採用抗酸的合金套管，但其成本高出化學中和的方法太多，所以一般我們不這麼做。

在菲律賓未禁止添加化學抑制劑，但在案場開發前，都須先取得環境合規證明 (Environmental Certificate of Compliance, ECC)，依經驗 ECC 的申請大約需時半年至一年。在 ECC 的審查中，開發商必須告訴監管機構你要加的藥劑及劑量。一般來說，所需加入的抑制劑的劑量相對整個儲層的規模來說是相當小，所以通常在合理情形下，都可以獲得 ECC 核可。

3. PGPC 的營運模式為何?如何與下游電業洽談地熱能價格?

因為股東成員的因素，有些成員參與能源開發，涉及一些法規的限制，所以 PGPC 不能售電，只能供應蒸汽給下游的電業公司 (generation companies, Gencos)。PGPC 與電業公司簽訂 Steam Sales Agreement (SSA)，並受到菲律賓能源部 (DOE) 與能源監管委員會 (ERC) 會審核監管，以確保價格合理，不造成電價過度上升。而蒸汽價格不是單純的「每公斤蒸汽」賣，而是依據可發電量 (MWh) 換算成等值蒸汽供應費。依目前公開資訊，SSA 的價格大約落在 5~7 美分/kWh (約 1.5~2.1 新台幣/kWh)。

在電業公司發完電後，蒸汽仍須回到 PGPC 進行回注。

4. PGPC 是否有國外開發地熱的經驗?

自從正式轉型成立 PGPC 之後，僅專注在菲律賓國內的案場，並沒有到國外開發的案例，但 PGPC 在接手雪佛龍公司(Chevron)時，將大部分的員工都續聘，而這些員工有許多都有國際開發的經驗，例如印尼。

5. 有關生產及回注相關議題討論

一般可以使用閒置井當作回注井，但我們有些經驗是，閒置已久的井也會恢復生產，所以就視當地地熱田狀況來建議產注模式，但原則仍是生產區跟回注區須保持一定程度的距離。

6. 對於鑽頭如何選擇?鑽機的動力系統(轉盤、頂驅、井下馬達)的使用為何? 鑽井深度、井程設計等有哪些考量面向?

主要還是會根據地層資訊來決定選用的鑽頭及鑽井參數，例如，PDC 在堅硬的地

層中可以非常有效率的切削岩石，但假設有黏土層或換質帶，PDC 可能就不是很理想的鑽頭了。

另一方面這還是要回歸到你的目的，例如，你要鑽進速度加快，增加鑽機的扭力及轉速，但相對的鑽頭磨損的也較快，要達到鑽井深度，可能需要 3 顆鑽頭及 3 次起下鑽的時間。但如果時程允許，可以轉速慢一些，或許可以只用 1 顆鑽頭就達到相同深度。

PGPC 在 90 年代後就不再使用旋轉鑽盤進行日常鑽井了，目前幾乎都是用頂驅系統。以往使用轉盤系統，卡鑽大多都發生在起鑽桿時，但頂驅系統在退出鑽桿時，仍可提供選轉動力，可以解決起桿卡鑽的問題，這是頂驅系統的一項重要的優勢。

對於鑽井所需要考量的因素很多，包含地質資訊、探勘場域的位置、可用的土地面積(大鑽機或小鑽機)、所需鑽探的深度(較深的生產層，一般需要設計較大口徑的井)、運輸動線(機具是否可載運進入案場)、專案期程、管材採購策略(所需的管材一次買足，可降地整體採購成本，並後續到不同的場域去使用)等很多因素，需綜合考量後，以最符合需求的情境來做決策。

7. 對於現今的地熱開發，有什麼具體的建議？

地熱的開發因循序漸進，不像過去的時代，可能彙整區探勘及開發，花 10 年以上來做大型的開發案(例如 300MW)。現在有很多小型機組適用地熱發電，為了使開發商能更早有營收，建議可以小模塊地來進行開發，例如為期 5 年，先進行 10~20MW 的開發，再逐步擴充推廣。



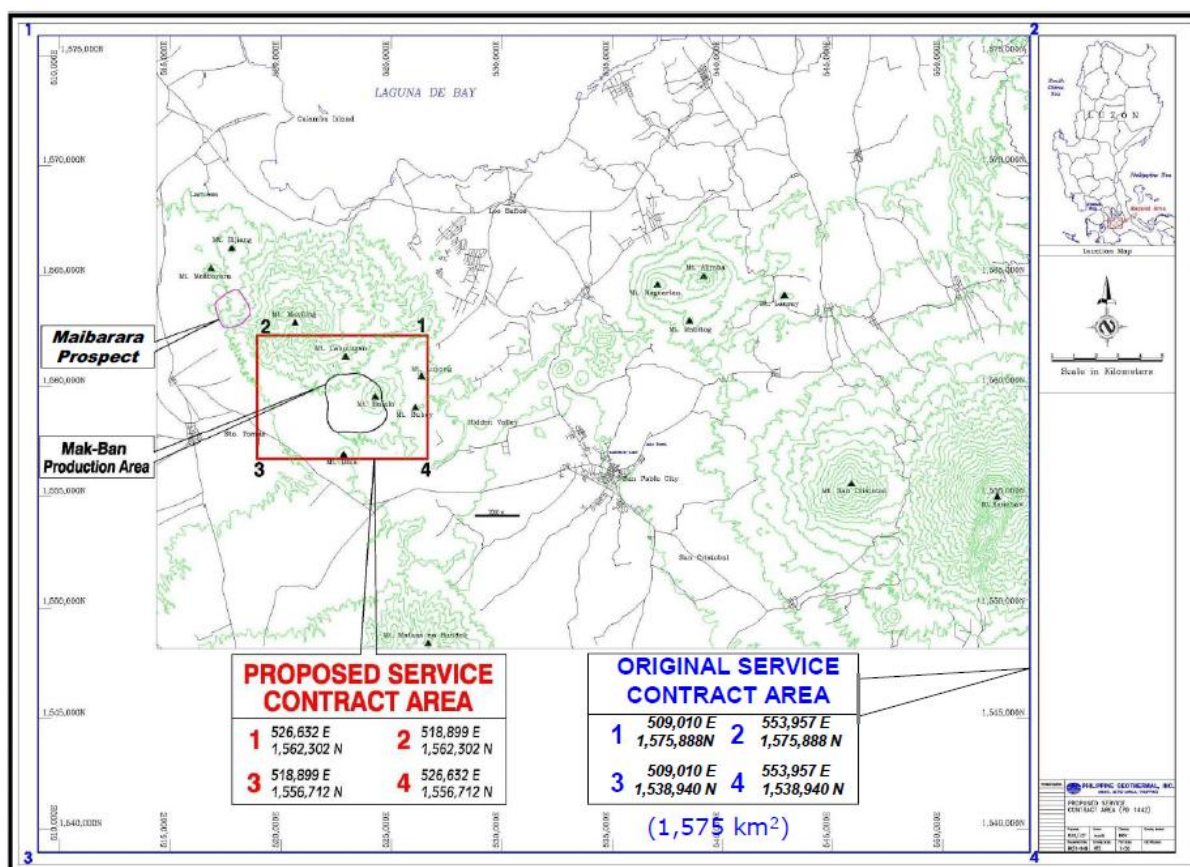
3.6 PGPC Mak-Ban 地熱廠 (於本廠 PGPC 主要安排探討技術面議題)

■ 發展大事記

- 1974 年：完成此區域第一口商業生產井(Bulalo-1)，至今仍在生產
- 1979 年：110MW(55MW*2)發電單位開始商業化運作
- 1984 年：裝置容量擴展達到 330 MW (55MW*6)

■ 廠區概述

最初，在 70 年代與能源部簽署的合約區域面積是 1,575 平方公里，在其中各個潛能區都被詳細的探勘，最終證實在 Mount. Makiling 及 Mount. Banahaw 之間具有最好的潛能並適合開發，所以到 2013 年時合約區域就縮小到約 43 平方公里。這也就是為何稱此地熱區 Mak-Ban 名稱的由來。Mak-ban 屬中性 pH 地熱系統，氯化物含量低，NCG 含量低，這在火山型地熱系統中相當少見。



Mak-Ban 目前一共有 124 口井，依深度大致可分為 3 類，淺層 <1,350m、中層

1,350m~2,100m (是 Mak-Ban 目前主要的生產區塊)、深層>2,100m(新的井都以深層為目標)。依性質可分為生產、回注、閒置、廢棄井，各類井數量所列如下：

- 生產井 (Production wells)：70 口
- 回注井 (Injection wells)：17 口 (生產/回注比約 4:1)
- 閒置井 (Idle/Suspended wells)：26 口
- 廢棄井 (Plugged & Abandoned wells)：11 口

在能夠修復的情形下，並不需要封廢井，可轉作回注或閒置再利用，但若確認井況(如淺層套管出問題)會影響到其他生產井，則必須進行封井。

Mak-Ban 的資源向來都很穩定，但近期遭遇了一些主要問題：

- 中段生產層有較冷的液體流入井內，壓制下方深層生產層
- 因生產了較長的時間，井內整體熱焔下降，產出的水量變多，蒸氣量少
- 冷鋒突破議題(Injection and thermal breakthrough)，有天水、回注水等進入生產井，使產能下降

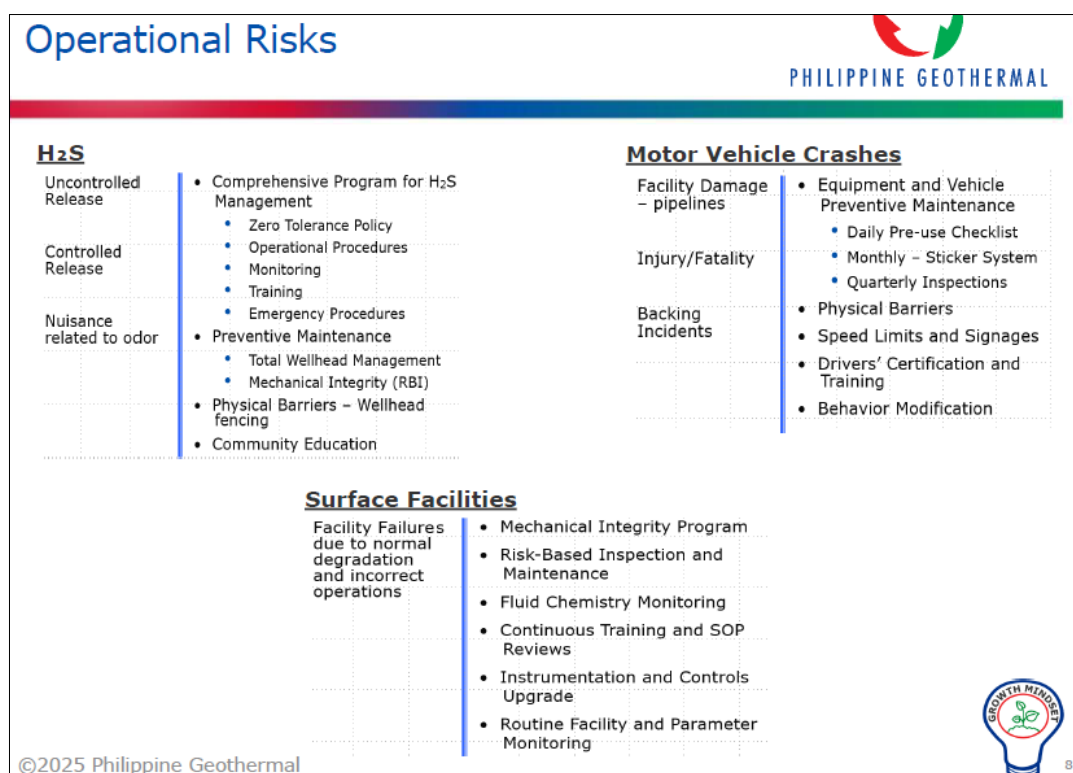
針對上述議題，目前的對策是，鑽鑿新井時，對於開篩段作更精確的判斷，或鑽鑿定向井直達熱源。另針對既有井，目前正在評估更先進的隔絕冷水進入之技術。

■ 廠區營運的安全考量

先辨別相關人，包含公司員工、承包商及周邊鄰里，主要可能的危害有硫化氫氣體、車輛撞擊(設備、管線、人員)、地表設施異常等，並有 4 個層級的風險控制應對措施如下：

1. 識別排除(Eliminate)：預先識別風險，並優先排除
2. 預防(Prevent)：若無法事先排除，則採取預防措施
3. 保護(Protect)：若必須接觸可能危害物質，如加強個人防護設備(Personal protective equipment ,PPE)
4. 停工權限(SWA)：若上述三點都做不到，最後防線為停工權限(STOP Work Authority)，遇到立即的危害時，先停下來，想一想，然後先採取行動，這是不分階層，所有工作人員都可以執行的權利。

針對可能的各項危害，均有對應的辨識及處理流程，如例行性定檢、員工教育訓練、證照、加強宣導等等措施。



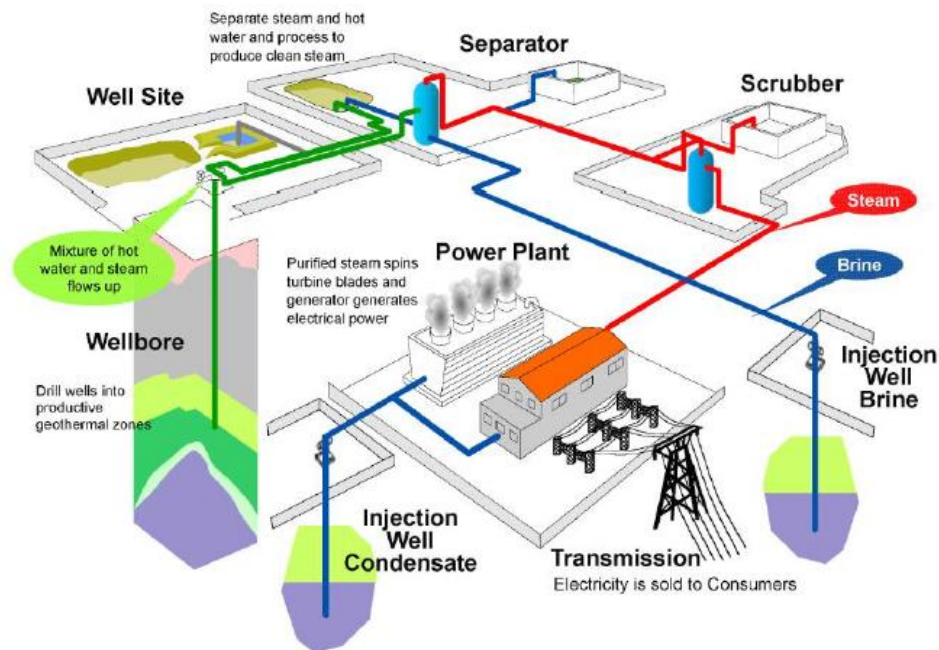
■ 廠區運作流程

首先地熱蒸汽及熱水(簡稱鹵水)從生產井場的井中進入地表管線，接著會進入第一個分離設備-汽水分離器(separator)，分離後的鹵水經過蒐集，再透過管線引導至回注井場回注地層中。蒸汽部分進入蒸汽管道，接著進入下一個分離設施-擦洗器(scrubber)，去除冷凝水和其他微量雜質，以確保渦輪發電機的安全，發電後的蒸汽，經過冷凝器，再回注地層。

在蒸汽進入電廠前有設置蒸汽排放設施(rack muffler or steam venting facilities)，如果發電廠需要或出現異常，蒸汽排放設施的控制系統會自動啟動，蒸汽就會自動排放到大氣中。當發電廠再次需要時，它會自動關閉。

上述這些地表蒸汽管道的直徑可達 1 米，為了保溫及安全考量，外表都會包覆隔熱層。另這些蒸汽管道溫度極高，充滿蒸汽時會膨脹，因此每隔幾百公尺就會有一個膨脹環。

Geothermal Process Flow



©2024 Philippine Geothermal



■ 議題交流

1. 本廠生產井的蒸汽比例?

蒸汽比例平均約 50%。

2. 供汽廠相關設施及發電廠端，合計整體廠耗(parasitic load)約多少?

整體廠耗平均約 10%。

3. 本廠也有結垢問題嗎?

一般結垢發生在回注井，主要是矽垢。預防策略是保持高溫(>130 度 C)的狀態下回注，因為在低溫狀態下，矽酸鹽礦物飽和度會升高，過飽和後就容易產生結垢，所以回注相關管線也會進行保溫。

4. 如何管控 H₂S 洩漏議題?

PGPC 對於 H₂S 採零容忍政策，所以相當重視該氣體的危害，警報器的閾值設定在 1ppm。一般來說，井在生產的狀況下，H₂S 的濃度相當低，只有在閉井一段時間後，井體溫度降低，才會在井頭累積，所以平時的預防性措施為定期去開井排放，操作人員遵循安全性的 SOP 來操作。另一方面，也在井中加入中和 H₂S 的化學藥劑。

5. 如何調控各井壓力不一致的情形?

正常供氣營運的狀態下，會希望將所有的井都打開，讓各井之間自動平衡，但因為整個系統的背壓主控是在發電廠端，有時確實會出現各井壓力狀態不一致，而使壓力較小的井無法產出，所以一旦有此狀況，一般會先關閉這口井，或者隔離它不使它與其他井聯通，讓它流向廢水坑進行恢復。根據營運多年的經驗，事實上 PGPC 已經對所有井的狀態特性非常了解，哪些井會出現回灌的狀況，都有深入的掌握，也知道在什麼狀態下的處置措施最恰當。



3.7 PGPC_Tiwi 地熱廠 (於本廠 PGPC 安排主要探討社會面議題)

■ 發展大事記

- 1962~1964 年：1962 菲律賓大學地質系開始研究地熱潛能。1964 火山委員會對 Tiwi 進行了調查，確定地熱能開發潛力。
- 1972 年：完成第一口商業生產井(Naglagbong1)(250psi, 可產 3MW 電力，目前已廢井)
- 1974 年：利用鑽鑿的試驗井將 2.5kW 的實驗計畫轉變為亞洲首個商轉地熱發電計畫。
- 1979 年：110MW (55MW*2)發電單位開始商業化運作
- 1984 年：裝置容量擴展達到 330 MW (55MW*6)
- 2005 年：1 號、2 號、5 號、6 號機組進行了改造，裝置容量調整為 234MW

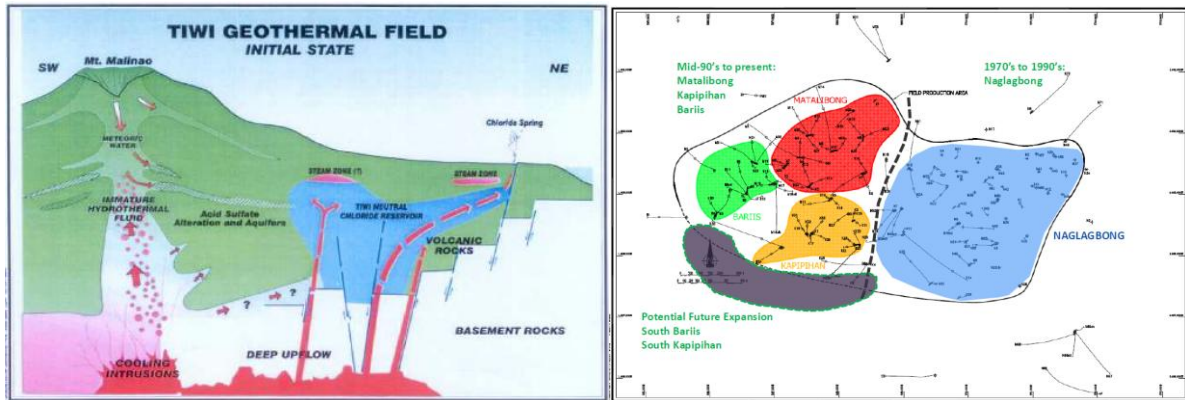
■ 廠區概述

經過詳細的探勘，開發合約從 240 平方公里縮減到大約 50 平方公里。

Tiwi 目前一共有 156 口井，各類井數量所列如下：

- 生產井 (Production wells)：44 口
- 回注井 (Injection wells)：26 口
- 閒置井 (Idle/Suspended wells)：51 口
- 廢棄井 (Plugged & Abandoned wells)：35 口

在 1970~1990 年間，主要的生產區在開發範圍的東側，但當時相關技術還沒這麼成熟，許多鑽井大約在 100 公尺深處遇到漏漿，就停止鑽鑿。經過逐步的探明及驗證，發現東側區塊是屬於外湧區(out-flow)，在 90 年代之後，整個開發的生產區域轉往更靠近 Mount. Malinao 火山的西側的上湧區(up-flow)。



Tiwi 的地熱地質模型比 Mak-Ban 複雜，所面臨的挑戰包含：

- 東北側天水補注顯著，並往生產區下滲，影響生產區熱能
- 部份生產與回注井有結垢現象，影響產能
- 部份區域為酸性液體
- 冷鋒突破

針對上述酸蝕及結垢議題，PGPC 利用化學抑制、鑽磨洗井、非鑽磨洗井(空氣震盪 air-hammer)等技術互相搭配，依各井狀況來執行，來確保井的可用性。

■ 社區和利害關係人參與（Community and Stakeholder Engagement, CSE）

PGPC 已經在這個場域經營了幾十年，它不僅僅是一家在這裡經營了兩三年的公司，而是這個社區的居民。它的長久存在，不僅僅是因為這裡工程師和技術人員的專業知識（這是公認的），還在於公司如何積極參與社區事務，與當地社區和其他利害關係人建立了良好的關係，使其成為社區的一部分。

首先是公共關係(Community Relations)，與社區維繫良好關係有助於公司的運作，共存共榮，另一方面，若沒有處理好公共關係，政府有可能撤銷或不予核發營業執照。

當地的利害關係人，包含正式的行政區下的治理單位(如最小的行政單位 barangay，在 Tiwi 有 16 個 barangay 被宣布為地熱 barangay)及非正式組織，這些組織其實並沒有正式宣布，也沒有正式的領導人。但它們確實存在，而且鄰近廠的作業區，稱為「圍欄社區」(fence line communities)，他們並不擁有土地，只是占用土地在這邊定居，有時一個小社區只有 3~4 戶，這些也都是會接觸的利害關係人。

在此，利害關係人(Stakeholder)很廣泛，包含相關政府部門、環境保護部門、大

學及研究單位、私人企業、NGO、前面提到的社區、還有廠區內部員工(約有 66%都是 Tiwi 當地居民)、供應商和承包商。因此 PGPC 管理階層會制定「利害關係人參與管理計劃」(stakeholder engagement management plan)來定義利害關係人，並會盡可能與那些利害關係人進行溝通。

Tiwi 廠區與社區共存，其設施實際上沿著道路、市場、社區分佈，並以某種方式融入了設施(例如地熱管線下方種田、養家畜等)。廠區設施與社區相互產影響。事實上，在理想情況下，這些管線設施應該都要有安全距離的緩衝區，以管線來說，是管線的兩側各 5 公尺。但這對於這裡的情況相當挑戰，有些地方並沒有辦法設置緩衝區。這是 PGPC 所面臨全天候面臨的挑戰，這非常獨特，且與菲律賓其他地熱項目不同，其他地熱項目在營運區域內沒有社區，但也因為與社區共存，而顯得獨樹一幟。



利害關係人時常提出需求及期待，例如就業機會、地方安全、環境維護、公共設施維護等等，PGPC 對此還建立了管理系統。每個井場，他們都會製社區地圖，將相關距離、家戶位置、代表人資訊，以便於進行聯繫，若有重大工程影響到居住安全，

可能會進行暫時性疏散(如進行產測時 H₂S 濃度太高，H₂S 溢散的考量包含相對位置與距離、高程、風向等)，甚至暫時重新安置居民(relocate)，但疏散是最後的手段，一般都會先用工程方法來解決或減緩影響(例如 H₂S 以化學藥劑中和、學校附近的工地採假日施工)。

上述所稱的管理系統，即是一個社區接受計畫流程(community acceptance plan process)和社區影響審查(community impact review)。

PHILIPPINE GEOTHERMAL COMMUNITY IMPACT REVIEW		PHILIPPINE GEOTHERMAL COMMUNITY IMPACT REVIEW																																																																																						
Location: Title of Project/Activity: Inclusive Dates of Project/Activity: Implementing Group: ☐ MOC ☐ Routine Activity ☐ Project Requiring Work Permit		2. Are there any local norms/traditions or socio-cultural events to consider, e.g. fiestas, religious, social or political events? ☐ ☐ ☐ ☐																																																																																						
This checklist guides the MOC Originator, Workgroup Supervisor or Project Owner in identifying potential project-related risks to the community and the corresponding mitigants. It therefore serves as a preliminary assessment of the project's socio-economic impacts to the community. The checklist is best accomplished jointly by the MOC Originator, Work Group Supervisor or Project Owner (PO) and the Asset Affairs Supervisor for common understanding and coordinated resolution of the community issues. If the answer to Part I is "YES", the user should recommend how the benefits can be considered in the planning and execution of the project/activity to facilitate community acceptance. If the answer to any of the questions in Parts II and III is "YES", then recommend a resolution.		3. Have there been complaints (ROW, property damage/dam) or protests (boycotts, threat of work stoppage) in the immediate project area in the past? ☐ ☐ ☐ ☐																																																																																						
After accomplishing the checklist, the approval authorities will have to agree on the necessary action items to address the issues identified. These will have to be carried out <u>before actual physical work on the project or activity commences</u> .		4. Have there been similar projects undertaken at the site? If yes, were concerns/issues raised? ☐ ☐ ☐ ☐																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Community Impact Criteria</th> <th>Yes / No</th> <th>Issue resolution (e.g. Control Measures)</th> <th colspan="2">Responsibility</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th>Project Owner</th> <th>Contractor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5">I. Project Benefits</td> </tr> <tr> <td>1. Is the project going to generate benefits for the barangay/LGU that can facilitate community acceptance?</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>A. Economic</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>a) Higher Generation</td> <td>☐</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>b) Jobs</td> <td>☐</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B. Non-Economic</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>a) Health and Safety Measures</td> <td>☐</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>b) Recognition for LGU</td> <td>☐</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">II. Socio-Political</td> </tr> <tr> <td>1.1. Is the project within a 100-meter radius of a residential (or public facility) infrastructure?</td> <td></td> <td>☐ Evacuation ☐ Proceed to</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>1.2. Is there potential for the project to impact:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>A. Electrical System</td> <td>☐</td> <td></td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>B. Road access</td> <td></td> <td>☐ Manage Traffic Flow ☐ Inform Barangay Leader</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>C. Telecommunication Lines</td> <td>☐</td> <td>☐ Close access road during the project's duration</td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> <tr> <td>D. Water supply and usage</td> <td>☐</td> <td></td> <td>☐</td> <td>☐</td> </tr> </tbody> </table>		Community Impact Criteria	Yes / No	Issue resolution (e.g. Control Measures)	Responsibility					Project Owner	Contractor	I. Project Benefits					1. Is the project going to generate benefits for the barangay/LGU that can facilitate community acceptance?					A. Economic					a) Higher Generation	☐				b) Jobs	☐				B. Non-Economic					a) Health and Safety Measures	☐				b) Recognition for LGU	☐				II. Socio-Political					1.1. Is the project within a 100-meter radius of a residential (or public facility) infrastructure?		☐ Evacuation ☐ Proceed to	☐	☐	1.2. Is there potential for the project to impact:					A. Electrical System	☐		☐	☐	B. Road access		☐ Manage Traffic Flow ☐ Inform Barangay Leader	☐	☐	C. Telecommunication Lines	☐	☐ Close access road during the project's duration	☐	☐	D. Water supply and usage	☐		☐	☐	5.1. Is there a potential security issue in the area? ☐ ☐ ☐ ☐	
Community Impact Criteria	Yes / No	Issue resolution (e.g. Control Measures)	Responsibility																																																																																					
			Project Owner	Contractor																																																																																				
I. Project Benefits																																																																																								
1. Is the project going to generate benefits for the barangay/LGU that can facilitate community acceptance?																																																																																								
A. Economic																																																																																								
a) Higher Generation	☐																																																																																							
b) Jobs	☐																																																																																							
B. Non-Economic																																																																																								
a) Health and Safety Measures	☐																																																																																							
b) Recognition for LGU	☐																																																																																							
II. Socio-Political																																																																																								
1.1. Is the project within a 100-meter radius of a residential (or public facility) infrastructure?		☐ Evacuation ☐ Proceed to	☐	☐																																																																																				
1.2. Is there potential for the project to impact:																																																																																								
A. Electrical System	☐		☐	☐																																																																																				
B. Road access		☐ Manage Traffic Flow ☐ Inform Barangay Leader	☐	☐																																																																																				
C. Telecommunication Lines	☐	☐ Close access road during the project's duration	☐	☐																																																																																				
D. Water supply and usage	☐		☐	☐																																																																																				
		5.2. Is there a security plan in place? ☐ ☐ ☐ ☐																																																																																						
		III. Environmental																																																																																						
		1. Are there potential or actual issues/concerns that may impact the community?																																																																																						
		A. Crop/Property & Livestock Damage ☐ Secure baseline data on crops/property or livestock ☐ ☐ ☐																																																																																						
		B. Dust ☐ Water access road as warranted ☐ ☐ ☐																																																																																						
		C. H ₂ S ☐ Evacuate residents from the point of emission # of affected residents within 50m radius (Mandatory) # of affected residents within 100m radius (Optional) ☐ ☐ ☐																																																																																						
		D. Land Use Conflict ☐ ☐ ☐																																																																																						
		E. Noise ☐ Monitoring ☐ Relocation ☐ ☐ ☐																																																																																						
		F. Odor ☐ ☐ ☐ ☐																																																																																						
		G. Radiation ☐ ☐ ☐ ☐																																																																																						
		H. ROW Issues ☐ Identify structures built on APRU property ☐ ☐ ☐																																																																																						
		I. Vehicular Traffic ☐ Design traffic plan ☐ Install traffic signage ☐ ☐ ☐																																																																																						
		J. Waste ☐ Waste Management Plan ☐ ☐ ☐																																																																																						
		K. Water Discharge ☐ ☐ ☐ ☐																																																																																						
		Completed by: MOC Originator/Work Group Supervisor/Project Owner _____ Date: _____ Approved by: Asset Affairs Supervisor _____ Date: _____ Noted by: Project Engineer/Facility Owner/AOT Supervisor _____ Date: _____																																																																																						

在工作計畫階段，即須由應變管理發起人(management of change originator, MOC)、計畫主持人、工作團隊等共同填具社區影響檢視表(community impact review)，若涉及相關影響項目，則須提出緩解措施或解決方案，並經過主管單位核定後，才能進行現場工作。而在相關專案實施後，亦會監督專案業主如何實際遵守我們商定的緩解措施(例如聘用當地僱工，是否如期交付薪資)。

基本上大大小小的工作都需要進行檢視，所以案件相當多，平均每個月有 40~50 件需要上陳到能源部。也因為利用此制度行之有年，當地社區都已經知道標準作業程序 (SOP) 是什麼了，因此，每當對他們產生影響時，他們就更容易接受。

PGPC 也有用人在地化原則，一項工作(例如鑽井)我們和村鎮溝通後，會請合作承

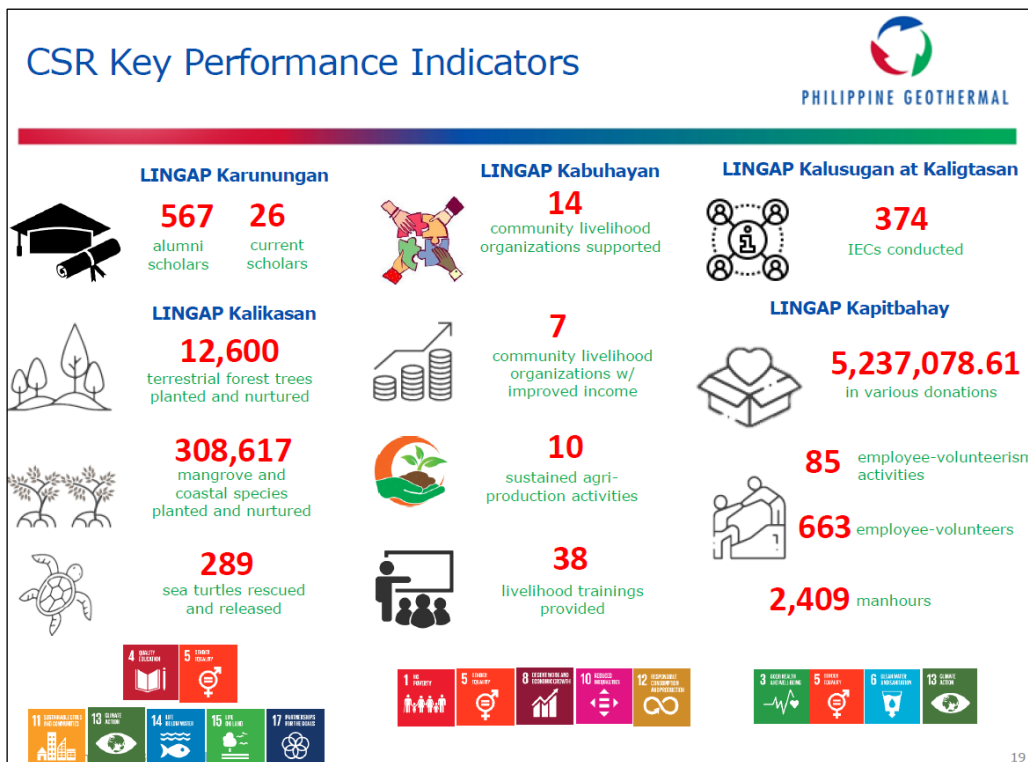
包商會提供給我們所有當地招聘要求的清單，然後我們把清單提交給村鎮，若有符合條件的當地人可以來申請。但也要強調，必須是符合資格及條件的人選，並透過審核機制才會招聘，不會因為地方官員的關說就直接任用。

■ 企業社會責任(CSR)

於 CSR 部分，PGPC 有另外成立一個品牌，LINGAP (Linanginang Isipanat Gawain sa Pangangalaga)，是菲律賓 Tagalog 語守護家園的意思，關乎當地社區、環境以及社區健康和安全管理。對 LINGAP 來說，其願景是持續促進社會經濟成長，以及社區、社會和經濟成長。並且希望在實現社會和經濟成長的同時，也促進人力、制度和環境的發展。

LINGAP 的持行目標，與世界永續發展目標對齊，各項目(以 Tagalog 語命名)摘要如下：

- Karunungan：人類發展、青年賦權 (具體作為：大學將學金、各級學校的地熱教育)
- Kabuhayan：食品安全、民生與企業發展 (具體作為：成立 Tiwi ASENSO 民間團體進行各項活動，輔導就業自給自足、Tiwi 農業應用管理專案協助農民事務，並將當地種植的農產品送往 PGPC 總部旗下的商場銷售)
- Kalikasan：環境與自然資源保護 (具體作為：協助林業發展、沿海資源管理計畫、永續環境恢復計畫)
- Kalusugan and Kaligtasan：健康與安全促進
- Kapitbahay：利害關係人參與、建立夥伴關係 (員工自願性參與機制、聖誕活動贊助、其他相關捐補助)



■ 議題交流

1. 在菲律賓開發地熱，是否也有原住民族傳統領域用地競合的議題？

在菲律賓有原住民專門的法令，所以在與原住民打交道時會遵循這些規定，目前 Tiwi 跟 Mak-ban 都不在原民傳統領域。但一個地熱開發案若要推動之前，必須要先獲得他們的同意。

2. 介紹有提及地熱 barangay，這有什麼特別之處？

目前 Tiwi 有 1.1 萬公頃的土地被劃設為地熱專區，其中有 16 個村莊被公告為「地熱 barangay」，這些村莊有一些特許的權利及福利(規範於 Energy Regulation No. 1-94)，其中包含地熱特許稅(royalty tax)，由營運商繳納給能源部的專屬基金，再由能源部分配予各級政府及行政單位。相關單位也可透過專案申請，向基金申請補助用於環境保護、基礎建設、能源相關等建設。

3. 井場及管線相關設施都很分散，你們有設監視器來監控嗎？還是透過其他方式？

Tiwi 的所有管線長度合計約有 80 幾公里，跨距很長且常常是沒有電力的地方，要安裝監控系統相對困難，所以 PGPC 是透過日常巡檢的方式來進行，除了公司自己的員工，也有設立各駐點保全來監視相關設備的狀況。

Tiwi 比較常見的狀況是車輛撞擊管線(Mak-ban 因為地形平坦，此狀況較少見)，

所以會在比較容易發生事故的地點對管線設立護欄加強保護。一旦有這種事故，公司應會在幾分鐘後就知道，並儘速反應。

為了從源頭來做預防，公司也會定期與承包商、周邊鄰里、企業進行宣導會議，以確保他們也遵守所實施的交通流程和營運標準，因為 PGPC 不是唯一使用這條道路的單位。以上這些緩解措施是我們健康環境和安全標準的一部分。

4. 廠區影響範圍有界定嗎(例如 500 公尺以外的社區也來投訴)?如何應對投訴?

基本上針對所有投訴都會進行評估及處理。近期也確實有距離鑽井場域 500 公尺以外的居民來投訴。一般來說，公司會派員(公司職員或承包商代表)直接與受影響的家庭溝通，去詳實了解訴求，再去核實，必要時，會請專業第三方機構以科學數據協助評估(舉了一些案例，如 H_2S 濃度過高造成健康危害、因鑽井震動造成房屋損壞、地熱蒸汽造成椰子樹死亡-經農業機構檢驗，是天然的植物病蟲害)，計算損害範圍，並依計算結果來進行賠償。

因為 PGPC 在此已經營超過 50 年，對於控訴的樣態已有許多經驗，所以大多數情況下，這些投訴並非真實情況。有時，投訴人只是想被承包商僱用或要求家中孩童的獎學金等。但還是會針對各種投訴做實質的評估並妥善處理，在地經營必須廣結善緣，避免樹敵。





四、心得

此次赴印尼與菲律賓的參訪，讓團隊對地熱能開發的完整流程有了更深入的理解，從探勘、井場設計、鑽井技術、蒸汽集輸、電廠運轉到社區互動，各階段均展現了當地長期累積的經驗。特別是印尼與菲律賓在政策法規、電價機制及社會溝通方面，皆已建立相對完善的架構，確保地熱產業能持續發展並與社區共存。

在技術層面上，無論是鑽井公司對井徑設計、鑽頭選擇與工安管理的高度專業，或是電廠對模組化開發與小型機組的推廣經驗，都提供台灣地熱產業具體且可行的借鏡。這些作法不僅降低初期投資風險，也縮短了開發週期，對正處於起步階段的台灣而言，具有極高的參考價值。另如 Baker Hughes 及 PDSI 等公司，展現了從資源評估到整合性井場管理的完整技術鏈，這對於台灣未來提升自主專業能量並減少對外依賴，也有重要啟發。

另一方面，PGPC 在社區經營上的努力尤其令人印象深刻。透過教育推廣、環境保護、農業支持與利害關係人參與等多面向計畫，展現了地熱開發與地方發展共榮的模式。這提醒我們，台灣未來在推動地熱時，除技術與經濟面外，更應重視社會溝通與回饋機制，建立長期信任與合作，才能避免衝突並爭取地方支持。

綜合而言，本次出國參訪不僅增進了專業知識，更啟發了政策、產業及社會整合的思考方向。未來若能將印尼與菲律賓的成功經驗轉化並落實於台灣，將有助於加速地熱能的開發，提升能源自主，並實現永續發展的目標。此行亦建立了跨國交流的寶貴管道，為後續可能的技術合作與人才培育奠下基礎，對台灣再生能源的推進具有長遠意義。

五、 具體建議

1. 強化鑽井能量與專業合作

- 印尼 Apexindo、PDSI 及 Baker Hughes 等公司展現了完整的鑽井技術鏈與工安管理。

台電可評估：

- 短期：引進具經驗的國際廠商合作（如日費計價的鑽井合約），確保探勘井與生產井的成功率。
- 中期：與外商建立長期合作（如 5 年以上規劃），避免因單次案場造成運輸及培訓成本過高。
- 長期：培育國內專業團隊，並與學研單位合作建立「地熱鑽井培訓中心」，逐步降低外部依賴。

2. 推動模組化、漸進式開發

- PGPC 的經驗顯示，以小型機組（10 – 20MW）先行開發，再逐步擴充，可降低初期資本風險並縮短回收期。
- 台電可在試驗性質的地熱場域先行導入，累積運轉經驗與社會溝通基礎，再逐步擴展規模。

3. 建構完整的資源管理機制

- 借鏡 PGPC 的 Resource Management (RM) 部門，建立專責單位負責：
- 3G 探勘（地質、地球物理、地球化學）與概念模型建置
- 長期監測（精密重力、水準測量、地震網、示蹤試驗）
- 儲集層數值模擬與井場最佳化管理
- 透過此機制，可及早發現冷鋒突破、酸性流體等問題，減少井衰竭風險。

4. 優化營運維護技術

- 引進 Baker Hughes 的結垢處理（CT 洗井）、抗蝕化學方案與人工舉升技術（ESP 泵浦），確保老井產能維持。
- 建立「生產 – 回注平衡」監測機制，避免井間干擾與產能衰退。

5. 加強社會溝通與回饋機制

- Tiwi 的案例顯示，地熱廠與社區共榮至關重要。建議台電：

- 設立專責「社區參與管理計畫」(Stakeholder Engagement Plan)。

- 積極與地方大學、NGO 合作，辦理環境教育與就業培訓，提升社會支持度。

6. 建立國際合作與人才培育平台

- 與印尼 PGE、菲律賓 PGPC 或國際服務公司建立長期交流，導入最新技術與案例。
- 鼓勵技術人員赴國外實習，或邀請國際專家駐台短期指導，縮短台灣與成熟地熱國家的差距。