



研究機構能源科技專案

106 年度執行報告

高效能地熱發電技術研發計畫

(第 2 年度)

年度計畫：自 106 年 1 月 1 日至 106 年 12 月 31 日

執行單位：財團法人工業技術研究院

中 華 民 國 107 年 03 月

研究機構能源科技專案
106 年度執行報告

高效能地熱發電技術研發計畫
(第 2 年度)

受委託單位：財團法人工業技術研究院

研究主持人：顏志偉

協同主持人：柳志錫、李奕亨

研究期程：中華民國 106 年 1 月至 106 年 12 月

研究經費：新臺幣 8955 萬元

經濟部能源局 委託研究

中華民國 107 年 03 月

(本報告內容純係作者個人之觀點，不應引申為本機關之意見)

經濟部研究機構能源科技專案 106 年度期末審查意見回復表

計畫編號：106-D0101

執行期間：106.01.01~106.12.31

計畫名稱：高效能地熱發電技術研發計畫(2/3)

執行單位：財團法人工業技術研究院

| NO | 審 查 意 見 | 執 行 單 位 回 復 意 見 |
|----|---|---|
| 1 | <p>本計畫依原規劃內容執行並具體完成工作項目。惟大屯山區四磺子坪鑽探後續相關BOT案及開發延遲之案例，對臺灣整體地熱發電開發所面臨困境應加以深入討論及評估。</p> | <p>感謝委員督促。有關大屯山地熱電廠BOT案，新北市政府就業者現況、開發時程及繳交權利金等部分綜合評估後，已規劃「申請電業籌設」及「申請地熱發電試驗性計畫」等 2種開發模式，提供業者逕為申請。能源局將持續推動大屯山地熱電廠開發，劃設大屯山徵兆區範圍及規劃酸性地熱電廠示範案，並針對大屯山酸性地熱開發所面臨的困境，透過耐酸腐蝕管材技術的研發及國產化發電機組設計，以降低電廠建置成本，與推動地熱發電申設政策與法規障礙調和，加速我國地熱開發腳步，達到地熱發電產業發展的政策目標。</p> |
| 2 | <p>本計畫建立地熱專家知識庫對於臺灣地熱開發具重要貢獻，目前大屯火山地區的資料較為完整，未來應將知識庫的收集區域擴展至臺灣其他地熱潛能區，並充實資料庫內容。</p> | <p>感謝委員督促與肯定。地熱專家知識庫本年度除了持續蒐集更新大屯火山地區的相關資料外，也將今年宜蘭清水-土場地區，以及新北市金山-萬里地區之地球物理探測、地球化學採樣及探測井等資料匯入資料庫內容中，未來將繼續蒐集全臺灣地熱潛能區相關資訊，以協助推動台灣地熱發電產業之蓬勃發展。</p> |
| 3 | <p>有關耐酸蝕合金鍍層研究，應參考評估國際最新發展，並考量獨立開發的經濟效益。</p> | <p>本計畫會持續參考國際最新發展現況，進行技術改良。過去大多數研究未聚焦於混酸高溫環境，但仍可作為新材料評估之參考。耐酸蝕合金鍍層將可衍生應用於沿海風力發電、石化產業管線防蝕，工廠管線防蝕、以及沿海日常民生用品抗蝕，本計畫將會進一步考量獨立開發之經濟效益。</p> |
| 4 | <p>地電阻與大地電磁所量測的物理量，對於地下流體與溫度反應具相關性，應將兩者所量測資料整合，共同建立地下三維地熱模型，並配合地表地質調查做成聯合解釋。</p> | <p>感謝委員建議，本計畫目前僅於清水地熱區IC-21井附近進行流體成像之地電阻剖面量測，而大地電磁則於清水-土場進行大區域的調查，兩者調查區域與尺度不同。未來於地熱場址進行較詳細的調查時，將會應用與整合兩者資料並配合地表地質資料，以進行聯合解釋與地熱地質模型之建立。</p> |

| | | |
|----|--|--|
| 5 | 本計畫長期對於大屯火山地區進行微震監測，對於地下構造及熱源分布，提供具體資訊並整合於地熱專家知識庫內。相對大屯火山地區，宜蘭地區的微震監測相對缺乏。應及早規劃相關監測或綜整現有資料並整合於地熱專家知識庫。微震監測的另一重要性，在於可提供地熱開發區有關觸發地震的背景資料，對於影響環境因數提出具體證據。 | 感謝委員建議，關於宜蘭清水-土場地區的地震資料，本結案報告已進行綜整與分析，相關成果報告彙整於附冊之附件五、清水-土場地區地熱潛能區塊分布調查報告中第六章、背景地震資料蒐集。 |
| 6 | 建議持續清水小型示範系統長期轉運，提升地熱田開發關鍵研究。 | 目前規劃107年度與結元公司業合計畫，針對清水地熱區開發300 kW地熱電廠，原本的50 kW小型示範系統將停止長期運轉測試任務。 |
| 7 | 本計畫在地熱發電之基礎工作及開發(含：資源評估與開發技術研發、資源調查與評估、產業推廣與國際合作等)，已累積豐富經驗及成效，未來宜強化橫向工作項目(如：腐蝕)之整合及整體綜效呈現。 | 感謝委員肯定，計畫團隊未來將加強橫向溝通整合，以彰顯計畫成果並達成推廣之目標。 |
| 8 | 可考量盤點在現有資源調查評估、技術(如：防蝕、結垢)、產業投入意願、住民支持等，設計階段性開發目標，列出具潛力開發場址之優先次序及組合，並考量政府政策工具搭配可行性，使地熱發電目標落實更具像化。 | 感謝委員指教。本計畫已根據國內地熱潛能區進行盤點，並將具潛力開發場址之優先次序及組合進行規劃，考量政府政策工具搭配可行性於FY107將協助能源局進行地熱開發相關配套措施研擬及協助業者開發，以促進我國地熱發電產業發展。 |
| 9 | 本計畫在產業發展成效優良，可考量成立產業策略聯盟可行性，另對地熱發電關鍵問題(如：蘊藏量、腐蝕、結垢等)宜引入外部可用資源。 | 謝謝委員建議，工研院已規劃集結地熱發電相關業者成立策略聯盟，以加速地熱發電開發之進行;另有關酸腐蝕、地熱水抽注影響、振動引發及生態保育等地熱發電關鍵議題，已與金屬中心、交通大學、成功大學及台師大等進行合作研究解決之道。 |
| 10 | 每項任務之重要成果宜重點式的敘述說明。(摘要報告之執行成果，敘述的大都為“執行”，“成果或結論”部分較為缺乏) | 感謝委員指導與建議，有關摘要報告之主要執行成果，將依每項任務之重要成果重點式敘述說明。 |
| 11 | 耐酸蝕材料仍須現場測試，例如利用北投的小地熱實驗。 | 感謝委員指導與建議，本耐酸蝕材料開發(鑄造與表面改質)，場域環境腐蝕測試係針對大屯山系嚴苛混酸(含有氯、硫酸根離子)條件，於FY105年完成北投測試場址階段性材料測試與發電系統運轉，本年度進行新北市金山現地測試(pH=2.11、溫度68.4°C、氯離子濃度5861ppm、硫酸根離子1852ppm)與北投水質條件同屬於大屯山系。 |
| 12 | 清水21號井的地電阻及電位監測系統相當成功，可作為未來地熱生產之重要監測技術。 | 感謝委員督促與肯定，本監測系統將會持續規劃應用於未來地熱電廠的運維監控管理。 |

| | | |
|----|---|---|
| 13 | <p>土場的MT作圖 (p.90) 拘泥於南北向之二度分帶地圖，過分外插。宜開發隨測點分布範圍之作圖，並將地表河川，斷層或鄉鎮資料直接標示，俾利閱讀。1km以下，土場利澤系統顯與清水系統無關，宜再仔細審視。大屯山MT作圖 (p.97,98) 有相同問題，看不出位置所在。</p> | <p>感謝委員指導與建議，已依委員意見進行圖資內容的修訂於執行報告最新修訂版中。</p> |
| 14 | <p>大屯山地震層析成像，仍看不出與火山之關係，令人疑惑。宜修改觀測策略，例如：線型陣列加人工爆炸，此部分宜加強。</p> | <p>感謝委員指導與建議，以下條列說明之：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.地震層析成像解析成果主要特徵為兩東北-西南向高速條狀分布，呼應FY103地熱計畫空中磁測成果，皆呈兩條顯著的東北-西南向帶狀磁力高區，均顯示與深部地殼東北方向之張裂構造有關。 2.建立大屯火山連續微震基線資料為本分項工作主要目標，為提昇三維地震重定位之精度，完整測站包覆度為關鍵因子，故均勻的測站佈設相較於二維線型陣列，對於微震定位精度之提昇將更為合適。 3.委員所建議之人工震源與二維線型反射震測，本計畫始於FY104、105及106年分別針對四礮子坪與金山-萬里地區(金山斷層至野柳岬一帶)均進行調查工作，相關工作成果完整陳述於執行報告。 |
| 15 | <p>地熱之應用在全球僅少數國家開發成功，我國應先瞭解如冰島、菲律賓等國，其國內產業參與之模式和自主技術之應用狀況，才能規劃有效科技研發。</p> | <p>感謝委員指導與建議，有關地熱之應用開發成功案例，如冰島、菲律賓及紐西蘭等國其國內產業參與之模式和自主技術之應用狀況，本計畫均已安排考察活動或研討會方式進行多方交流，以規劃計畫之技術研發方向。</p> |
| 16 | <p>我國原先沒有大規模地熱產業條件下，現在已能引進本土產業投入合作研發，相當不容易，只是這些廠商是否具有足夠能量，應慎重考量和輔導。</p> | <p>感謝委員指導與建議。</p> <p>目前國內建置運轉之ORC機組最大發電量已達330kW；工研院與國內機電相關產業亦投入500kW與880kW級渦輪膨脹機之研製，希冀能將創能產業落實於台灣，提供相關地熱產業具競爭力與可靠穩定之設備技術與後勤維修保養服務，降低地熱產業投資門檻。</p> |

經濟部研究機構能源科技專案 106 年度執行報告

總目錄

目錄

| | |
|--------------------------------|------|
| 目錄 | IV |
| 圖目錄 | VI |
| 表目錄 | XIII |
| 106 年度政府部門科技計畫年度摘要報告 | i |
| 一、前言 | 1 |
| (一) 研究背景 | 1 |
| (二) 研究目的 | 2 |
| 二、技術應用之情境 | 3 |
| (一) 應用情境與衍生之技術需求 | 3 |
| (二) 專利佈局說明 | 5 |
| (三) 產業化佈局 | 6 |
| 三、計畫執行情形 | 7 |
| (一) 計畫實際執行內容 | 7 |
| 1. 實際工作內容與進展說明 | 7 |
| 1.1 資源評估與開發技術研發 | 7 |
| 1.1.1 專家決策輔助系統 | 7 |
| 1.1.1.1 地熱專家知識庫更新與維護 | 7 |
| 1.1.1.2 潛能評估與分析資訊化技術 | 16 |
| 1.1.2 地熱田開發關鍵技術 | 29 |
| 1.1.2.1 耐酸蝕井管金屬材料技術 | 29 |
| 1.1.2.2 耐酸蝕管材製造技術 | 32 |
| 1.1.2.3 地熱流體監控管理技術 | 65 |
| 1.2 資源調查與評估 | 86 |
| 1.2.1 地熱資源調查與政策環評可行性評估 | 86 |
| 1.2.1.1 宜蘭清水-土場地熱資源調查 | 87 |
| 1.2.1.2 磺嘴山區地熱資源補充調查 | 112 |
| 1.2.1.3 潛能區塊水文地質模式建立 | 137 |
| 1.2.1.4 四磺子坪區地熱儲集層特性調查評估 | 214 |
| 1.2.1.5 地熱發電政策可行性評估 | 227 |
| 1.2.2 地熱場址監測 | 262 |
| 1.2.2.1 微震觀測網監測與分析 | 262 |
| 1.3 產業推廣與國際合作 | 275 |
| 1.3.1 地熱電廠推廣 | 275 |

| | | |
|---------|----------------------------|-----|
| 1.3.1.1 | 分散式電廠推廣 | 275 |
| 1.3.1.2 | 新北市商業電廠 BOT 推廣 | 279 |
| 1.3.1.3 | 清水地熱發電系統長期示範運轉 | 286 |
| 1.3.2 | 國際合作 | 289 |
| 1.3.2.1 | 火山型地熱國際研討會 | 289 |
| 1.3.2.2 | 增強型地熱發電技術國際合作 | 290 |
| 2. | 計畫研發技術之實際應用情形 | 294 |
| 2.1 | 研發技術實際應用情形 | 294 |
| 2.2 | 地熱業界合作洽談之情形 | 294 |
| 2.3 | 地熱產業推廣 | 295 |
| 3. | 分包研究計畫執行說明 | 296 |
| (二) | 實際進度與預定進度比較 | 298 |
| (三) | 查核點說明 | 299 |
| (四) | 目標達成情形 | 303 |
| (五) | 計畫延長或變更執行情形 | 306 |
| 四、 | 執行績效說明 | 307 |
| (一) | 人力運用情形 | 307 |
| (二) | 經費運用情形 | 308 |
| (三) | 研發成果收入 | 309 |
| (四) | 重要成果統計 | 310 |
| (五) | 重要成果清單 | 311 |
| (六) | 重要績效指標(KPI)統計 | 324 |
| (七) | 重要成果說明 | 325 |
| (八) | 設備使用情形 | 327 |
| (九) | 性別主流化推動成果說明 | 327 |
| 五、 | 結論與檢討 | 328 |
| 5.1 | 研究結果 | 328 |
| 5.2 | 執行檢討與建議 | 333 |
| 六、 | 參考文獻 | 334 |
| 七、 | 附件 | 339 |
| 附錄 | FY106 期末工業技術研究院節能與環保成效自評說明 | 346 |
| 附件一、 | 研究成果照片及說明 | 338 |
| 附件二、 | 分包計畫摘要說明 | 343 |
| 附件三、 | 分包研究期末報告-4D 地熱流體成像技術 | |
| 附件四、 | 分包研究期末報告-耐酸蝕複合管材先期研發期末報告 | |
| 附件五、 | 清水-土場地區地熱潛能區塊分布調查報告 | |
| 附件六、 | 台灣東北部變質岩區之水文地質 | |
| 附件七、 | 耐酸蝕井管金屬材料開發技術報告 | |

圖目錄

| | |
|--|----|
| 圖 1、清水仁澤區域 AMT 測點分布圖 | 8 |
| 圖 2、金山萬里地區微震監測站分布圖 | 9 |
| 圖 3、磺嘴山地區補充調查熱液採樣點分布圖 | 10 |
| 圖 4、磺嘴山地區土壤氣體採樣點分布圖 | 10 |
| 圖 5、清水土場地區水樣採樣點分布圖 | 11 |
| 圖 6、全台主要地熱潛能區分布圖 | 12 |
| 圖 7、全國地熱潛能屈區發電可併網容量資料 | 14 |
| 圖 8、火山型地熱系統國際研討會議程海報 | 15 |
| 圖 9、第 39 屆紐西蘭地熱研討會議程海報 | 15 |
| 圖 10、長期運轉最佳發電量分析流程 | 17 |
| 圖 11、地熱儲集層模擬程序 | 18 |
| 圖 12、清水地熱儲集層網格數值化 | 19 |
| 圖 13、清水地熱儲集層東西向(XX')之滲透係數輸入結果 | 20 |
| 圖 14、清水地熱儲集層南北向(YY')之滲透係數輸入結果 | 20 |
| 圖 15、地熱流體溫度及流量與 ORC 發電量關係圖 | 24 |
| 圖 16、回注井 IC-16 抽水組合之年發電量 | 25 |
| 圖 17、回注井 IC-14 抽水組合之年發電量 | 26 |
| 圖 18、回注井 IC-14 與 IC-16 抽水組合之年發電量 | 27 |
| 圖 19、最佳發電量評估模組操作介面 | 28 |
| 圖 20、電化學腐蝕試驗 | 31 |
| 圖 21、管件製作流程圖 | 34 |
| 圖 22、模具內部清潔過程 | 35 |
| 圖 23、高週波爐熔融材料過程 | 35 |
| 圖 24、將熔融之材料澆鑄至高速旋轉之模具內 | 36 |
| 圖 25、降溫過程中，模具保持高速旋轉 | 36 |
| 圖 26、將降溫後成形完成之管件由模具中取出 | 37 |
| 圖 27、粉末離心鑄造流程圖 | 37 |
| 圖 28、管材加熱後離心成形過程 | 38 |
| 圖 29、精密離心鑄造製作之雙層管件 | 39 |

| | |
|--|----|
| 圖 30、管件焊接加工流程圖 | 39 |
| 圖 31、經 TIG 銲接後之雙相不銹鋼管 | 40 |
| 圖 32、 γ -RT 之檢測示意圖 | 41 |
| 圖 33、 γ -RT 之檢測分析報告 | 42 |
| 圖 34、管件之真直度測試檢測方法示意圖 | 45 |
| 圖 35、套入直度棒進行真直度量測 | 46 |
| 圖 36、經氮化處理後之 10cm 部分管件 | 47 |
| 圖 37、經裁切後之硬度測試試片 | 47 |
| 圖 38、氮化處理後之截面積金相圖 | 49 |
| 圖 39、表面氮化層之金相圖 | 49 |
| 圖 40、水壓試驗流程圖 | 52 |
| 圖 41、經加工銲接後之管件 | 52 |
| 圖 42、依序為高壓液壓氣動系統、高壓加壓機、壓力計和碼表(已達到 試驗標準 $196\text{kg}/\text{cm}^2$ 、持壓五秒以上)..... | 53 |
| 圖 43、試驗完成後之管件本身及兩端並無洩漏及爆破之情形發生 | 53 |
| 圖 44、地熱耐酸蝕管件腐蝕試驗流程圖 | 54 |
| 圖 45、3 種雙相不銹鋼之腐蝕速率變化圖。 | 56 |
| 圖 46、Duplex 2205 腐蝕試片剖面表面型態 SEM 影像 (上方為鑲埋膠) ... | 57 |
| 圖 47、Duplex 2205 腐蝕剖面取樣點 S1-S6 元素百分比變化 | 59 |
| 圖 48、1560 腐蝕試片剖面表面型態 SEM 影像(上方為鑲埋膠，導電度差 易累積電荷使影像模糊)..... | 60 |
| 圖 49、Duplex 2205 腐蝕剖面取樣點 S1-S6 元素百分比變化 | 61 |
| 圖 50、(a)~(f)為第一組試片腐蝕前試片表面金相觀察 | 63 |
| 圖 51、腐蝕後試片取出後未清理前 | 63 |
| 圖 52、(a)~(g)為第一組試片腐蝕後試片表面金相觀察 | 64 |
| 圖 53、(a)~(c)為第二組試片腐蝕前試片表面觀察 | 64 |
| 圖 54、(a)~(c)為第二組試片腐蝕後試片表面觀察 | 65 |
| 圖 55、砂箱實驗槽體與實驗量測情形 | 67 |
| 圖 56、模擬線源環境井下電極於不同注水條件之電場觀測資料 | 68 |
| 圖 57、線源電場砂箱入滲實驗之垂直方向電位差。 | 68 |
| 圖 58、地熱流體雙工監測系統作業流程 | 70 |

| | |
|--|-----|
| 圖 59、清水地熱場址地電阻法與自然電位法監測測線配置圖 | 70 |
| 圖 60、清水地熱地電監測場址建站工作照片 | 71 |
| 圖 61、清水地熱區測線 A 於 3 月 12 日至 3 月 18 日之地電阻影像剖面 .. | 75 |
| 圖 62、清水地熱 B 於 3 月 12 日至 3 月 18 日之地電阻影像剖面 | 77 |
| 圖 63、測線 A 之自然電場監測資料及四分位差 | 79 |
| 圖 64、測線 B 之自然電場監測資料及四分位差 | 80 |
| 圖 65、測線 A 於 3 月 12 日下午的自然電位剖面 | 81 |
| 圖 66、測線 B 於 3 月 12 日下午的自然電位剖面 | 81 |
| 圖 67、測線 A 於 3 月 13 日至 4 月 6 日的自然電位變化剖面 | 83 |
| 圖 68、測線 A 於 3 月 14 日至 3 月 17 日的自然電位分布剖面 | 84 |
| 圖 69、測線 B 於 3 月 13 日至 4 月 6 日的自然電位變化剖面 | 85 |
| 圖 70、清水-土場地熱區位置圖與調查範圍 | 87 |
| 圖 71、清水至土場區域大地電磁測點分布圖 | 90 |
| 圖 72、大地電磁現場探測作業情形 | 90 |
| 圖 73、大地電磁測勘結果之視電阻率與相位曲線 | 93 |
| 圖 74、清水至土場地區之三維電阻模型 | 93 |
| 圖 75、土場地區三維電阻模型之等深度切片圖(0-3000m) | 95 |
| 圖 76、土場仁澤地區之電阻剖面圖 | 95 |
| 圖 77、清水至土場仁澤地區 50 ohm-m 等電阻面三維分布圖 | 96 |
| 圖 78、清水-土場地熱潛能區採樣點位分佈圖 | 98 |
| 圖 79、清水-土場地熱潛能區溫泉樣本採集點位現場照片 | 99 |
| 圖 80、清水-土場地熱潛能區水質菱形圖(Piper Plot) | 102 |
| 圖 81、仁澤地區 Stiff 水質圖 | 104 |
| 圖 82、英士地區 Stiff 水質圖 | 105 |
| 圖 83、清水地區 Stiff 水質圖 | 105 |
| 圖 84、東溪橋和拳頭姆淺井 Stiff 水質圖 | 106 |
| 圖 85、清水-土場地熱潛能區水溶氦氣和氬氣同位素關係圖 | 108 |
| 圖 86、清水-土場地熱潛能區地熱水和溪水氫氧同位素關係圖 | 109 |
| 圖 87、磺嘴山東北地區大地電磁測站與反射震測測線分布圖 | 113 |
| 圖 88、磺嘴山區大地電磁測勘結果之視電阻率與相位曲線 | 114 |
| 圖 89、大屯山地區之三維電阻模型 | 116 |

| | |
|--|-----|
| 圖 90、大屯山地區之電阻剖面圖 | 116 |
| 圖 91、大屯山地區三維電阻模型之等深度切片圖(0-3000m) | 118 |
| 圖 92、大屯山地區 20 ohm-m 等電阻面三維分布圖 | 118 |
| 圖 93、震源車圓潭溪岸現場施測情況 | 121 |
| 圖 94、反射震測原始記錄檔(Shot records)..... | 122 |
| 圖 95、反射震測重合剖面 | 123 |
| 圖 96、反射震測解釋剖面 | 123 |
| 圖 97 鄰近磺嘴山地熱潛能區地熱溫泉水之水質菱形圖 | 126 |
| 圖 98、土壤氣體量測點位分布圖 | 129 |
| 圖 99、野外量測土壤二氧化碳通量 | 130 |
| 圖 100、土壤氬氣採樣分析示意圖 | 131 |
| 圖 101、土壤溫度分布圖 | 136 |
| 圖 102、土壤二氧化碳逸氣通量分布圖 | 136 |
| 圖 103、土壤氬氣濃度分布圖 | 137 |
| 圖 104、磺溪及萬里磺溪小集水區為淡水河流域之次流域 | 139 |
| 圖 105、清水溪及土場溪小集水區分別為蘭陽溪流流域之次與小流域 | 139 |
| 圖 106、磺溪及萬里磺溪水文觀測站規劃位置圖(圖中綠色小屋) | 140 |
| 圖 107、清水溪與土場溪水文觀測站規劃位置圖(圖中綠色小屋) | 140 |
| 圖 108、萬里磺溪水文觀測站選定之站址 | 142 |
| 圖 109、磺溪水文觀測站選定之站址 | 142 |
| 圖 110、清水溪水文觀測站選定之站址 | 143 |
| 圖 111、土場溪仁澤水文觀測站選定之站址 | 143 |
| 圖 112、清水地熱潛能區水文觀測站之觀測儀器 | 147 |
| 圖 113、清水地熱潛能區水文觀測站安全設置 | 147 |
| 圖 114、清水地熱潛能區降水量與蒸發量分布圖 | 148 |
| 圖 115、清水地熱潛能區土壤含水量與降水量關係圖 | 148 |
| 圖 116、清水地熱潛能區土壤張力值與降水量關係圖 | 149 |
| 圖 117、清水地熱潛能區土壤地溫與環境溫度及降水量關係圖 | 149 |
| 圖 118、清水地熱潛能區清水溪水位與流速及降水量關係圖 | 150 |
| 圖 119、清水地熱潛能區清水溪流量與累積流量關係圖 | 150 |
| 圖 120、清水地熱潛能區降水量與中央氣象局玉蘭測站比較圖 | 151 |

| | |
|--|-----|
| 圖 121、清水地熱潛能區日照強度與供電系統電力關係圖 | 152 |
| 圖 122、大屯火山磺溪地熱潛能區水文觀測站之觀測儀器 | 153 |
| 圖 123、大屯火山磺溪地熱潛能區水文觀測站安全設置 | 153 |
| 圖 124、大屯火山磺溪地熱潛能區降水量與蒸發量分布圖 | 154 |
| 圖 125、大屯火山磺溪地熱潛能區含水量與降水量分布圖 | 154 |
| 圖 126、大屯火山磺溪地熱潛能區土壤張力值與降水量關係圖 | 155 |
| 圖 127、大屯火山磺溪地熱潛能區土壤溫度與環境溫度及降水量關係圖 | 155 |
| 圖 128、大屯火山磺溪地熱潛能區磺溪水位與流速及降水量關係圖 | 156 |
| 圖 129、大屯火山磺溪地熱潛能區磺溪流量與累積流量關係圖 | 156 |
| 圖 130、大屯火山磺溪地熱潛能區降水量與中央氣象局金山與三和測站 比較圖 | 158 |
| 圖 131、大屯火山磺溪地熱潛能區日照強度與供電系統電力關係圖 | 158 |
| 圖 132、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區水文觀測站之觀測儀器 | 159 |
| 圖 133、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區水文觀測站安全設置 | 159 |
| 圖 134、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區降水量與蒸發量分布圖 | 160 |
| 圖 135、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區含水量與降水量分布圖 | 160 |
| 圖 136、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區土壤張力值與降水量關係圖 | 161 |
| 圖 137、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區土壤溫度與環境溫度及降水量關 係圖 | 161 |
| 圖 138、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區磺溪水位與流速及降水量關係圖 | 162 |
| 圖 139、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區磺溪流量與累積流量關係圖 | 162 |
| 圖 140、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區降水量與中央氣象局金山測站比 較圖 | 163 |
| 圖 141、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區日照強度與供電系統電力關係圖 | 163 |
| 圖 142、二氧化碳氣體純化管線 | 167 |
| 圖 143、碳-14 採樣點位分布位置 | 167 |
| 圖 144、大屯山地區水體 C-14 含量與空氣混合比例分布圖 | 168 |
| 圖 145、氟氯碳化物濃度背景分布圖 | 170 |
| 圖 146、氟氯碳化物採樣方法示意圖 | 171 |
| 圖 147、氟氯碳化物分析流程圖 | 172 |
| 圖 148、CFC-11 檢量線圖 | 174 |
| 圖 149、CFC-113 檢量線圖 | 174 |

| | |
|---|-----|
| 圖 150、氟氯碳化物分析圖譜 | 175 |
| 圖 151、磺嘴山區地熱水樣之採樣點位置圖 | 179 |
| 圖 152、磺嘴山附近採樣點 CFCs 地熱水補注年代分布 | 193 |
| 圖 153、地熱潛能區水文地質圖及概念模式之組成元件 | 198 |
| 圖 154、台灣地熱潛能區之大尺度水文地質環境分區 | 200 |
| 圖 155、台灣地熱潛能區之中尺度之水文地質環境分區 | 201 |
| 圖 156、台灣北部變質岩 NM1 區之地熱地質環境分析圖 | 204 |
| 圖 157、東北部變質岩之地熱徵兆與水文地質單元分布圖 | 211 |
| 圖 158、臺灣地區年降水量分布圖 | 212 |
| 圖 159、注水試驗期間壓力與時間變化曲線 | 215 |
| 圖 160、E303 井注水試驗壓力 Horner Plot 分析 | 218 |
| 圖 161、E303 井注水試驗壓力 Horner Plot 分析 | 218 |
| 圖 162、磺嘴山區井深 1500 公尺(海拔)地熱儲集層 top view 剖面 | 219 |
| 圖 163、排掃面積形狀因子(drainage area shapes) | 219 |
| 圖 164、E303 井注水 Homogeneous reservoir 分析 | 220 |
| 圖 165、E303 井注水 Fractured reservoir (one fracture)分析 | 221 |
| 圖 166、六顆岩心及切割照 | 222 |
| 圖 167、岩心 1 之三維顯影 | 224 |
| 圖 168、岩心 2 之三維顯影 | 224 |
| 圖 169、一般政策環評內容與架構 | 228 |
| 圖 170、各種發電方式對環境生態影響比較圖 | 237 |
| 圖 171、各種發電方式對人體健康影響比較圖 | 238 |
| 圖 172、政策評估公眾參與架構與方法 | 246 |
| 圖 173、Earthworm 系統模組流程圖 | 265 |
| 圖 174、SWARM 即時波形展示 | 266 |
| 圖 175、大屯火山寬頻微震網之測站分布 | 267 |
| 圖 176、新站址(DT09)現地狀態 | 268 |
| 圖 177、微震網實際觀測紀錄 | 269 |
| 圖 178、大屯火山區微震分布圖 | 271 |
| 圖 179、大屯火山區每月地震活動度 | 272 |
| 圖 180、大屯火山區 2014 年 2 月份地震活動度 | 272 |

| | |
|---|-----|
| 圖 181、高精度微震定位速度成像 | 274 |
| 圖 182、清水地熱園區空拍照 | 276 |
| 圖 183、清水地熱 200kW 發電機組定位 | 277 |
| 圖 184、200kW 發電機組連續運轉測試 | 277 |
| 圖 185、200kW 發電機組連續運轉測試數據 | 278 |
| 圖 186、四礮子坪場址區位圖 | 280 |
| 圖 187、四礮子坪場址規劃開發範圍圖 | 281 |
| 圖 188、BOT 前置作業及招商階段作業流程 | 282 |
| 圖 189、BOT 招商作業各階段之工作內容 | 283 |
| 圖 190、研擬之地熱發電規劃相關申請籌設作業流程 | 285 |
| 圖 191、清水地熱 50kW 發電示範系統 | 286 |
| 圖 192、清水地熱展示海報 | 287 |
| 圖 193、遠端即時監控 | 287 |
| 圖 194、連續運轉資料監控 | 288 |
| 圖 195、清水地熱 50kW 發電系統月累積發電量 | 288 |
| 圖 196、火山型地熱系統國際研討會議程海報 | 289 |
| 圖 197、9 月 30 日國際地熱能源管材應用技術交流會海報 | 291 |
| 圖 198、9 月 30 日國際地熱能源管材應用技術交流會會場照片 | 292 |
| 圖 199、法商 Schlumberger 公司介紹深層地熱井人工提取技術 | 293 |

表目錄

| | |
|---|-----|
| 表 1、全台主要地熱潛能區列表 | 13 |
| 表 2、清水地熱儲集層數值模型輸入參數 | 19 |
| 表 3、抽水井及回注井基本資料 | 23 |
| 表 4、抽注模擬案例數量 | 24 |
| 表 5、類神經網路訓練組與數值模擬誤差 | 24 |
| 表 6、雙層管研發之選用材料 | 33 |
| 表 7、雙層管研發之選用材料 | 38 |
| 表 8、熔接材料 DP3 (UNSS31260) 之成分列表 | 40 |
| 表 9、國際化性成分檢測標準規範 | 43 |
| 表 10、國際管件拉伸試驗、硬度試驗、非破壞試驗及尺寸量測檢測標準 規範 | 44 |
| 表 11、真直度量測之結果 | 46 |
| 表 12、雙相不鏽鋼硬度試驗之實際量測結果 | 48 |
| 表 13、經氮化處理後外層管件硬度試驗之量測結果 | 48 |
| 表 14、2507 雙相不銹鋼管件硬度試驗之量測結果 | 50 |
| 表 15、3 種雙相不銹鋼經不同天數所計算出之腐蝕速率 | 56 |
| 表 16、金山溫泉井相關資料 | 62 |
| 表 17、第一組試片(192hr)腐蝕速率表 | 62 |
| 表 18、第二組試片(700hr)腐蝕速率表 | 64 |
| 表 19、高溫靜態腐蝕試驗結果與動態腐蝕試驗結果比較 | 65 |
| 表 20、清水至土場區域大地電磁測點座標 | 89 |
| 表 21、清水-土場地熱潛能區採樣位置作標資訊 | 100 |
| 表 22、清水-土場地熱潛能區溫泉水基本水質參數 | 101 |
| 表 23、清水-土場地熱潛能區水質成分組成 | 103 |
| 表 24、清水-土場地熱潛能區水溶氣體成分組成與同位素組成 | 107 |
| 表 25、清水-土場地熱潛能區二氧化矽地質溫度計估算儲集層溫度 | 110 |
| 表 26、大屯火山區大地電磁測點座標 | 114 |
| 表 27、磺嘴山地熱潛能區水質現地資料紀錄表 | 125 |
| 表 28、溫泉水成分組成表 | 125 |
| 表 29、溫泉水水溶氣體成分組成 | 128 |

| | |
|---|-----|
| 表 30、土壤氣體調查結果 | 133 |
| 表 31、碳-14 分析結果與空氣混合比例 | 168 |
| 表 32、CFCs 溶解計算參數 | 177 |
| 表 33、磺嘴山區現地採集紀錄一覽表 | 185 |
| 表 34、地熱水 CFC-11 分析濃度與定年 | 188 |
| 表 35、地熱水 CFC-113 分析濃度與定年 | 189 |
| 表 36、CFCs 綜合判釋補注年代 | 192 |
| 表 37、大屯山地區溫泉水氡定年採樣說明與分析結果 | 196 |
| 表 38、台灣北部變質岩_NM1 地熱區之地質環境特性表 | 205 |
| 表 39、台灣北部變質岩_NM2 地熱區之地質環境特性表 | 206 |
| 表 40、臺灣地下水地質分類表 | 208 |
| 表 41、地熱潛能區水文地質單元分層及特性表 | 209 |
| 表 42、臺灣東北部變質岩區之水文地質單元面積百分比 | 213 |
| 表 43、E303 井注水試驗紀錄 | 215 |
| 表 44、E303 井注水試驗分析參數值 | 217 |
| 表 45、六顆岩心之孔隙率和滲透率 | 223 |
| 表 46、四磺子坪區地熱儲集層特性綜合比較表 | 226 |
| 表 47、地熱發電政策評估項目與內容 | 229 |
| 表 48、空氣品質標準 | 231 |
| 表 49、陸域地面水體分類及水質標準(河川、湖泊、地下水) | 233 |
| 表 50、陸域地面水體分類及水質標準(河川、湖泊、地下水)(續 1)..... | 233 |
| 表 50、陸域地面水體分類及水質標準(河川、湖泊、地下水)(續 2)..... | 234 |
| 表 51、放流水標準 | 234 |
| 表 52、營建工程噪音管制標準 | 235 |
| 表 53、工廠(場)噪音管制標準 | 235 |
| 表 54、各種發電方式用地需求比較表 | 240 |
| 表 55、地熱發電溫室氣體排放係數表 | 242 |
| 表 56、地熱發電減碳量估算表 | 243 |
| 表 57、不同發電方式生命週期之溫室氣體排放比較表 | 243 |

106 年度政府部門科技計畫年度摘要報告

| | | | | |
|---------------------------------------|---------------|------------------|---------|----------------|
| 計畫名稱：高效能地熱發電技術研發計畫(2/3) | | 計畫編號：106-D0101 | | |
| 主管機關：經濟部能源局 | | 執行單位：財團法人工業技術研究院 | | |
| 計畫主持人：顏志偉 | 協同主持人：柳志錫、李奕亨 | 計畫聯絡人：顏君揚 | | |
| 聯絡電話：03-5918576 | | 傳真號碼：03-5820017 | | |
| 年度期程：自 106 年 1 月 1 日至 106 年 12 月 31 日 | | | | |
| 經費：新臺幣 | | 89,550 | 千元 | 投入人力：18 人年 |
| 執行進度 (%) | 期 間 | 預 定 (A) | 實 際 (B) | 比 較 (B-A) |
| | 當 年 | 100 | 100 | 0 |
| 經費支用 (新臺幣千元) | 期 間 | 預 定(C) | 實 際(D) | 支 用 率(D/C) (%) |
| | 當 年 | 89,550 | 89,072 | 99.47 |

主要執行成果：

一、計畫內容概要

根據本年度工作架構主要可分為資源評估與開發技術研發、資源調查與評估、產業推廣與國際合作等三項，期有效促進我國地熱發電產業之發展。本年度計畫之內容如下：

1. 開發地熱資源資料庫專家決策輔助系統及高效能地熱田開發關鍵技術，以突破地熱開發之障礙。
2. 進行場址資源調查與評估，以及建立潛能區塊水文地質模式，並透過政策可行性評估，掌握潛在地熱區資源分布及突破法規障礙。
3. 進行產業推廣與國際合作，以分散式地熱電廠推廣與新北市商業電廠BOT招商規劃，推動酸性示範電廠與小型商業電廠之推廣。

二、計畫執行成果

(一) 資源評估與開發技術研發

1. 專家決策輔助系統

1.1 地熱專家知識庫更新與維護

- (1) 本年度完成磺嘴山地區以及宜蘭清水至土場地區水樣採樣化驗成果資料蒐集歸納，並針對台灣可能地熱潛能區做一完整盤點，以加速台灣地熱發電開發之推廣。
- (2) 完成本年度土場與仁澤間之音頻大地電磁(AMT)調查資料及成果蒐集。
- (3) 完成「台灣地熱發電資訊網」網站框架建置。

1.2 地熱田營運監測與分析技術

針對地熱田長期運轉穩定性與最大發電量評估需求，進行最佳發電量評估模組開發。以宜蘭清水為例，依據清水地熱井歷史產能資料，共模擬93種抽注井搭配及4000種抽水量組合之儲集層熱流自然狀態。可依抽注井組合、取水量上限與最低溫度限制，評估取水建議及發電總量，可供宜蘭清水地熱電廠抽注操作參考。

2.地熱田開發關鍵技術

2.1 耐酸蝕合金鍍層材料技術

本分項主要目標為開發評估具機械強度，耐酸蝕且具附著力之管閥件表面披覆材料，適用於地熱或溫泉強酸環境下，滿足抗腐蝕之要求。本年度使用矽烷衍生物反應為聚合物，加入環氧樹脂作為交聯劑，強化合成物交聯後強度，提高材料可塗佈性，可製作成緻密塗層，並增加耐溫性。搭配適當的工件表面粗化處理，可使披覆塗層之工件通過長時間表面抗蝕能力測試。相對應之高壓釜模擬環境測試以及金山地熱場域測試仍持續進行。本年度另外開發表面電漿處理技術，針對不鏽鋼表層植入特定元素，來加強其表面抗蝕能力，雖可植入N、Mo等元素，但其耐酸蝕能力不如預期。

2.1 耐酸蝕管材製造技術

- (1)本年度計畫透過地熱環境適用性分析，挑選耐酸性腐蝕合金作為內層/外層之金屬材料，經材料之高溫腐蝕測試(200 °C，pH=1-2)，外層選用雙相不鏽鋼2507，而內層材料選用之Hoganas 1560鎳基合金，完成7吋2公尺長耐蝕雙層金屬管材之開發。
- (2)雙層管件經真直度量測、水壓試驗、及高溫動態、靜態腐蝕測試後，其整體完整度及性質部分均接近各規範及預訂之耐腐蝕標準，靜態腐蝕以大屯火山地熱水體作為模擬溶液，進行200°C高溫腐蝕試驗，雙相鋼2507之1日耐腐蝕速率為0.1976 mm/a，50天降至0.0148 mm/a(皆<0.2 mm/a之目標)。
- (3)完成國際地熱管件拉伸試驗、硬度試驗、非破壞試驗及尺寸量測分析規範標準方法之彙整與分析，未來相關檢測方法與規範亦可應用於分析不鏽鋼類以及鎳基合金等耐蝕地熱管件常用材料之機械性質及管件製程後之成品完整度與尺寸量測。

2.2 地熱流體監控管理技術

- (1)完成模擬地熱場線源條件與回注情境之砂箱實驗，以掌握線源電場對流體的反應與解析成效，提供後續實際進行野外現地測勘與規劃之參考與比對。
- (2)完成清水地熱IC-21井產能測試期間之電位、電阻現地測試與監測資料分析，解析地下流體之分布變化。展現了本研究所開發的雙工監測系統之成效，並且成功地捕捉到產能井的噴湧回注行為，在地層間引發的水體變化及其伴生的地電阻率與地電場的改變。

(二)資源調查與評估

1.地熱資源調查與政策環評可行性評估

1.1 宜蘭清水-土場資源調查

- (1)已完成調查範圍內仁澤、排骨溪、芄芄溫泉、清水和土場等地熱潛能區之溫泉井/天然露頭樣本採集，並完成現地量測水溫、溶氧量、導電度、總固體溶解度、氧化還原電位和酸鹼值。地熱水普遍受到陽離子交換反應，導致鈣鎂離子濃度偏低而鈉鉀

離子富集。氦同位素比值($^3\text{He}/^4\text{He}$)變化介於0.78 Ra至1.13 Ra，顯示主要受到空氣飽和水及地殼影響。

- (2)完成清水-土場地區總計45個大地電磁測點，建立三維電阻模型，據以研判地熱儲集構造。根據調查結果研判地下熱水的可能蘊藏位置，主要分布於調查區北側，延伸至清水地區，以及土場至仁澤一帶區域，呈條帶狀分布。

1.2 磺嘴山區地熱資源補充調查

- (1)完成馬槽、大油坑、八煙、四磺子坪、煥子坪和金山等地熱潛能區之溫泉井/天然露頭等樣本採集，依水中硫酸鹽與氯鹽比可將大屯山地熱區分為兩區。磺嘴山區土壤氣體異常區受熱液活動影響，氦氣高區則落在山腳斷層和噶哩岸線型中間區域；二氧化碳通量高值區分布大致與噶哩岸構造相關。
- (2)完成大地電磁探測與2條總長度3,352公尺反射震測之地球物理補充調查。大地電磁調並整合本年度與過去年度調查資料，根據大屯山、磺嘴山地區之三維逆推顯示，低電阻小於30 ohm-m主要分布於金山斷層以東至崁腳斷層以西之間，在深度500-750m有大範圍分布，深度2000m以下，低電阻主要位於磺嘴山區之東北側，顯示具有地熱蘊藏潛能，而金山萬里一帶區域，地熱潛能主要蘊藏於深度1000m以內。
- (3)震測資料研判，噶哩岸線型屬於層間斷層或岩性分界之特性，此構造以西至金山斷層裂隙較多，形成熱水通道。

1.3 潛能區塊水文地質模式建立

- (1)完成大屯火山(磺嘴山區)及清水土場地熱潛能區水文觀測站設置工作。磺溪及萬里磺溪集水區面積分別為50及40平方公里；清水溪集水區面積為98平方公里。水文觀測站觀測項目包括：(a)50/100 cm深度的土壤含水量、(b)河川水位、(c)河川表面流速、(d)皿蒸發量、(e)50/100 cm深度的土壤張力值、(f)50/100 cm深度的地溫、(g)降水量、(h)環境中溫度與濕度及(i)日照強度等9項。
- (2)完成台灣地熱潛能區大尺度與中尺度水文地質環境及熱水上升分區，並針對東北部清水土場地熱潛能區進行小尺度水文地質單元分類與分析。
- (3)完成大屯火山群磺嘴山地熱區放射性碳同位素(碳-14)分析。藉由衰變公式計算其碳-14年代，結果顯示在大油坑、馬槽、七股、煥子坪與四磺子坪為兩萬年到三萬年的年紀；雖然水尾與金泉距離主要熱液活動區較遠，但碳-14年代仍顯示為一萬兩千到三萬年。推測在金泉和水尾地區可能存在另一個岩漿庫或是岩漿通道以供給熱源和熱水。
- (4)CFCs綜合判釋推測熱水來源年代，顯示大屯山地熱區以金泉溫泉及泉源公園井最年輕，受地表補注影響大；地熱谷爆裂口之熱水來源年代最老，推測地熱流體來源可能為較深層之岩漿熱液，或是來自補注途徑較長之熱液循環流體。
- (5)推斷磺嘴山地熱區儲集層補注年代，四磺子坪、八煙、煥子坪熱水年齡分別約西元

1953前、1969、1983前後，流體循環時間約35~65年區間。

1.4 四礮子坪區地熱儲集層特性調查評估

根據E303井回注試驗結果，可推估E303井鄰近地熱儲集層之kh值為3.08 darcy-meter、 S_{skin} 值-1.77、 ϕ 值為0.085；再根據以上結果可計算出礮嘴山區儲集層可能存在 16.5×10^8 立方公尺地熱流體。

1.5 地熱發電政策可行性評估

- (1)辦理「地熱發電政策環評委託專業服務」，委託光宇顧問公司進行政策環評說明書中替代方案分析、政策可能造成環境影響之評定、減輕或避免環境影響之因應對策。
- (3)根據本政策評估結果，專區開發方式進行地熱開發有利於政府各部門協調與資源整合，且預先迴避敏感及保護區位，以符合國家環境保護政策及國土空間整體利用規劃，更有助於地熱發電規模經濟之發展，為具有永續性考量之產業開發政策。

2. 微地震監測

- (1)完成大屯火山微震網設備訪查及即時監測系統擴增建置，可藉由無線傳輸模組進行資料回傳並即時展示。
- (2)完成微震資料下載，更新微震背景監測定位成果與P波速度成像模型，並整合2014至2017年之微震事件共4,275個。顯示震源叢集持續發生於七星山、擎天崗及礮嘴山西側三處，金山-萬里地區未監測到密集微震事件。更新大屯山速度構造模型，主要特徵與構造走向相符呈東北-西南分布。

(三) 產業推廣與國際合作

1. 地熱電廠推廣

1.1 分散式電廠推廣

- (1)完成清水地熱園區建構地熱300kW級發電機組測試平台，利用IC-21之熱源及冷卻水塔與冷凝器銜接，發電機組採用工研院所自行研發之200kW系統進行測試，總運轉時數達374.3小時，平均發電量(Gross power)為105.6kWe，已驗證本發電機組測試平台之可行性。
- (2)持續協助地方政府與民間業者，包括宜蘭縣清水地熱外，台東縣延平鄉紅葉溫泉、金崙溫泉、台電綠島及新北市萬金溫泉區等地區推廣地熱發電。

1.2 新北市商業電廠 BOT 推廣

以四礮子坪地區為目標，協助新北市政府進行BOT招商規劃，加速地熱商業電廠開發腳步，本計畫協助新北市在3月底舉辦「大屯山四礮子坪地熱開發座談會」，然經發局科長告知原訂八月份辦理招商作業暫停，12月18日新北市召開淺層地熱開發說明會，表示業者可透過電業開發模式或申請地熱發電機組試驗性計畫方式進行地熱開發，傾向不再辦理商業電廠BOT案。未來本計畫仍持續協助能源局推動大屯山四礮子坪地熱電廠開發，目前已劃設大屯山徵兆區範圍及規劃酸性電廠示範案之推動。

1.3 清水地熱發電系統長期示範運轉

由本年度 6 月份開始進行無人化遠端監控之連續運轉測試，本 50kW 示範系統由 101 年起運作至今年累積運轉發電量達 106,000kWh，而今年度累積發電量為 29,167.2kWh，二氧化碳減排量達 18.1 公噸。並提升民眾對清水地熱發電及綠色能源之認識，假日入園人次可達 6,000 人次，帶動宜蘭縣觀光資源。

2. 國際合作與推廣

2.1 火山型地熱系統國際研討會

(1) 本年度與紐西蘭 GNS Science 合作於 5 月 15~17 日假台大集思會議中心舉辦「2017 火山型地熱國際研討會」，邀請來自日本、菲律賓、印尼及紐西蘭等國的地熱專家學者，討論的主題包括：(1) 地熱發電與酸性地熱系統；(2) 大屯火山地熱系統；(3) 西太平洋地熱開發經驗等三項，建立地熱技術溝通與交流管道。

(2) 紐西蘭駐臺代表處邀請我方籌組地熱參訪團，赴紐與地熱發電產、學、研進行地熱發電技術與開發經驗交流，議題包含地熱法規、環評、原住民公民電廠、地熱田運轉維護等，透過實質拜訪討論與人員訓練等互動，促進我國地熱發電產業發展。

2.2 增強型地熱發電技術國際合作

(1) 於 9 月 30 日由能源局指導、工研院與金屬中心承辦，在高雄蓮潭國際會館舉行國際地熱管技術交流會，以地熱能源管件之低成本化、高耐久化、低熱能損耗為目標，進行管件材質、複合、設計、制作、鍍膜...等地熱能源應用需求之技術交流。

(2) 於 11 月 15 日與法商 Schlumberger 公司於工業技術研究院共同舉辦地熱井測與人工提取技術研討會，透過專家技術交流及視訊會議了解 Schlumberger 公司在歐洲深層地熱使用人工提取技術，增加地熱產能。

(3) 柳志錫博士於 11 月 13 日至 17 日赴美國參加地熱同儕審查會議，根據美國長期之地熱開發經驗，歸納出地熱開發成功關鍵是技術的演進，而非技術的革命；地熱開發有一定的技術發展歷程，無法一蹴即成。建議國內地熱開發應從淺入深，由小到大逐步發展，當技術及產業發展均達到一定規模時，地熱發電產業就會有顯著的成長。

(4) 李奕亨博士於 11 月 20 日至 24 日赴紐西蘭參加 39 屆紐西蘭地熱研討會，獲取紐西蘭地熱探勘與儲集層工程技術最新發展狀態，主辦國展現區域合作之海洋國家決心和胸懷，值得台灣借鏡，建議台灣在地熱發展上應加入太平洋火環之地熱國際合作組織，以加速密集進行技術之交流、專業人員訓練及開發場址技術參與。

三、預期產業效益

為時近五年，宜蘭縣政府配合中央再生能源發展政策，推展地熱資源開發利用。於今年 7 月 14 日宜蘭縣代理縣長吳澤成與宜元股份有限公司(台灣汽電與結元科技)依據「促進民間參與公共建設法」，以「BOT+ROT」方式簽定合作契約設置清水地熱發電廠。第一期先設備裝置容量 1MWe，全年可得淨發電量約為 6.7 百萬度，大約可提供 7000 多戶家庭

用電，並預定於109年開始商轉，第二期則鑽鑿新井擴大產能並將增建員工宿舍、餐廳等生活空間，擴充後總裝置容量至少為4MWe，預估營運期(20年)縣府可獲取約新台幣4千萬元權利金。

計畫變更說明：

- 1.原計畫書林淑華 4人月，於第二季人力調整變更為林淑華 1人月、徐傑輝 3人月，總工時數不變。
- 2.查核點 20及21有關BOT案文件招商活動企畫書之擬訂及公告招商文件，原規劃由 BOT 主管單位(即新北市)同意辦理BOT方式後本計畫進行BOT文件發包工作，由於新北市年度未明確討論辦理方式，故查核點因故展延，第三季辦理變更。
- 3.原計畫書柳志錫10人月、李奕亨6人月、李毓仁4人月、廖彥喆10人月、蔣立為6人月、陳敏祥10人月、黃炎聰7人月、杜培欣11人月、待聘3.2人月，於第四季人力調整變更為柳志錫12人月、李奕亨6.7人月、李毓仁2人月、廖彥喆7人月、蔣立為7人月、陳敏祥11人月、黃炎聰9人月、杜培欣12人月、待聘0.5人月，總工時數不變。

落後原因：

落後原因：查核點20: BOT案招商活動企畫書預定完成時間為106年6月，然依新北市意見，原訂八月份辦理招商作業暫停，故BOT案招商文件活動企畫書委託案因主辦機關未定案無法執行辦理展延。12月18日新北市召開淺層地熱開發說明會，表示業者可透過電業開發模式或申請地熱發電機組試驗性計畫方式進行地熱開發，傾向不再辦理商業電廠BOT案，但整案已於去年發包持續執行完成。

因應對策（檢討與建議）：

無

一、前言

(一) 研究背景

地熱為淨潔之再生能源，發電技術成熟且已商業化，自1960年代起蓬勃發展，迄今已有廿餘國擁有地熱發電廠，全世界地熱發電裝置量以平均每年6.2%成長(Lund, 2005)。根據Bertania (2015)的統計，全球的電裝置容量已達11,700 MWe，較2013年裝置容量成長了864 MWe。地熱專家預測，由於相關技術將持續精進，因此未來地熱發電的成本將持續下降(Fridleifsson, 2001)，成為所有再生能源中投資成本最低的。美國、菲律賓、墨西哥、印尼、日本、紐西蘭、冰島等地熱發電先進國家，其發電裝置容量具相當規模，發電成本已與一般電價接近，加上供電品質穩定，對舒緩尖峰用電壓力助益很大，為極佳之替代再生能源。以環境保護角度觀之，地熱發電所釋放之二氧化碳及硫化物遠比其他火力發電為少，對環境影響之衝擊相對較低，國內蘊藏地熱資源豐富，應該加以重視並積極開發利用。

利用再生潔淨能源來發電已是世界各國明顯的發展趨勢，地熱能源是所有再生能源中最有效率且低成本的項目之一，全球的地熱能源的開發與發電技術的研發也正蓬勃發展當中。我國位於太平洋火環帶，具備開發地熱發電的先天優勢條件，為配合全球的趨勢發展，政府在研擬「再生能源發展條例」階段，即已明列地熱發電為再生能源發展的一環。除了展開相關政策制訂之規劃與檢討之外，並在95年度啟動了清水地熱區的地熱發電潛能評估與電廠籌設的前期技術研發與規劃工作。「再生能源發展條例」在98年6月立法院通過後，為改善發展再生能源的投資環境，再生能源躉購電價目前已在99年1月25日公告並定期修訂之，預估未來相關的法案與措施逐漸完備後，可有效促進民間企業投入發展各種再生能源產業的意願。

台灣本島除大屯火山區屬火山型地熱，餘皆屬裂隙熱水型地熱，雖具備溫度條件，但對於蘊藏量與分布範圍仍須進一步調查與研究，方有利於地熱能源與發電的永續經營。國內過去曾於1981年在宜蘭縣的清水地熱區建構一座3 MWe先驅試驗發電廠，由台電公司負責電廠運轉試驗、中油公司負責地

熱井場管理。該發電機組為單閃發蒸汽發電方式，僅利用地熱總產量中10~20%之蒸汽，大量之高溫熱水則排放未用，因供汽條件因供汽條件(壓力、流量)未能滿足發電機規格，發電效率始終偏低。清水地熱區因地熱產量逐年衰減以致發電量亦隨之遞減，於82年11月停止發電試驗，累計運轉時間長達12年有餘。產能衰減原因主要為未充分掌握儲集層特性，生產過程未達最佳生產管理及過度生產造成生產井結垢所致。為開發我國地熱發電產業，除政策之鼓勵措施外，在資源調查與開發技術方面亦應著墨，除針對過去地熱產能不穩定性的問題，開發相對應的技術外，亦應積極投入潛能區的資源調查評估工作。此外，深層地熱發電為未來地熱能源的開發區式，我國應盡早投入相關研究，以符合2030年地熱發電裝置容量250MW的政策目標。

(二) 研究目的

本年度計畫延續99-101年度執行的「地熱能源永續利用及深層地熱發電技術開發」計畫執行成果，從技術面及政策面具體促進我國傳統地熱發電的實現與永續利用之達成，並逐步展開國內深層地熱開採技術發展與發電潛能評估等工作。計畫研究目的如下：

- 1.地熱發電與其它再生能源項目相比，具有不受天候影響、可作為基載電力的優點。全世界地熱發電以平均每年約6%的速率成長，地熱專家預測，由於相關技術持續精進，未來地熱發電的成本將持續下降，將是所有再生能源中投資成本最低的。如何擷取地球深部的熱能並將其轉化成電力，是目前國際上探討地熱發電的前瞻議題，如歐盟Saultz Hot Dry Rock計畫、美國能源部EGS計畫。台灣深層地熱(3000-5000m或更深)具有GWe級之發電潛能，若能有效開發利用，不僅能大力挹助國內的電力與經濟成長，並可降低對進口石化燃料的依存度，減少溫室氣體的排放。台灣地區缺乏傳統能源，但擁有豐富的地熱能源，若能突破關鍵之開發條件，估計傳統地熱將具有近1000 MWe之發電潛能；若考量3000-5000公尺的深層地熱能源，則有數個GWe的發電潛能。若能將此清潔的地熱能源加以開發利用，對能源之自主性、二氧化碳減量及環境保護等均將產生重大效益。

- 2.地熱資源開發初期將遭遇投資成本高、資源不確定性高的問題，為加速我國地熱資源開發，本計畫從資源探勘與評估、人工儲集層工程技術與地熱資源調查與產業推廣等三方向著手，透過資源探勘技術的研發提升對地熱資源的掌握度、人工儲集層工程技術研發解決火山型地熱酸腐蝕問題及變質岩區地熱結垢問題，進行潛能地熱區資源調查以建置我國地熱資源資料庫為目標，從技術研發與資源調查兩方面進行，加速我國地熱開發腳步，達到我國地熱發電再生能源發展的目標。
- 3.本計畫所開發之專家決策輔助系統、儲集層監控管理技術、微地震監測技術、結垢抑制技術與耐酸腐蝕技術等，均為地熱資源調查與電廠開發之重點技術，產業化之應用性很高。其中，儲集層監控管理技術、微地震監測技術與模擬技術除應用於地熱外，未來也可朝二氧化碳捕獲封存、溫泉開發及石油儲氣窖監測等方面進行佈局。
- 4.耐酸蝕技術除地熱應用外，將朝向工業管線、溫泉產業、電鍍業及高科技產業等對抗腐蝕技術有需求之產業發展。井管耐酸蝕合金材料研發，除可應用於地熱產業，也可將技術擴充，運用在海水淡化或其他嚴苛環境之資源開發。也可作為電鍍業及半導體產業高品質工業管線材料。

二、技術應用之情境

(一) 應用情境與衍生之技術需求

(1)地熱專家決策輔助系統

A.地熱概念模式建立往往需整合地表地質資料、地球物理調查、地球化學分析、鑽井與產能測試等資料，以獲得一個較合理的地熱概念模式。為整合不同特性資料及其在空間中的位置資訊，本計畫研提地熱專家決策輔助系統，透過不同特性調查資料在空間中的分布情形，提供地熱概念模式的重要參考資訊。

B.地熱專家決策輔助系統除可將不同特性資料以三度空間的方式展現以

外，亦增加發電潛能評估的蒙地卡羅統計分析模組以及串連TOUGH2模擬軟體的相關模組，提供更完整的分析工具，以加速我國地熱發電產業。

(2)地熱流體傳輸四維成像技術

- A.地熱流體成像技術乃利用地熱流體經過地層裂隙後產生流動電位與電阻變化的特性，透過精密量測系統的開發與三維數值逆推所獲致的不同時間切片圖，以精確估計裂隙分布位置的變化，可提供地熱蘊藏潛能評估與地熱田監測的重要參考資訊。
- B.地熱流體成像技術將開發一套可同時量測自然電位與人工電位的自動雙工監測電探系統，運用於地熱田環境上，以既有的金屬井孔為線性場源，可突破解析度與探測深度無法兼得之限制，提升國內地熱資源開發能力。
- C.自動雙工監測電探系統可依不同之探測目的需求，提供適度的資料收集與電極配置模式變更，除了應用於地熱開發與監測上，亦可多方面應用於海水入侵、地下水污染、邊坡滑動面監測等領域。

(3)耐酸蝕井管金屬材料技術

- A.針對特定區域的地熱環境，除了高溫之外，泉源中含高濃度之硫酸根、氯離子及銨根離子，亦處於極酸的狀態，因此地熱發電所使用的金屬管件及閥件，必須是具備耐酸蝕的特性。已知的金屬材料中，鈦合金、Inconel或是Hastelloy雖然具有極佳的抗蝕能力及機械強度，但是成本極高。在兼顧成本及材料特性的考量下，開發適合於高溫環境下的抗蝕鍍層成為本計畫的重要項目之一。
- B.常見之抗蝕鍍層無法承受高溫酸性且高氯離子濃度的環境，在金屬基材表面形成陶瓷鍍層或高分子塗層的修飾，如含矽化物或 Al_2O_3 的陶瓷膜，來增加抗氯離子及強酸之侵蝕性，同時提高鍍層之抗刮耐磨強度。並透過高分子層降低外力對陶瓷層的衝擊。
- C.多數地熱環境，除了高溫之外，熱液中含高濃度之硫酸根、氯離子及

鉍根離子，亦處於極酸的狀態，因此地熱發電所使用的金屬管件及閥件，必須是具備耐酸蝕的特性。已知的金屬材料中，鈦合金、Inconel或是鎳基合金Hoganas 1560與Hastelloy雖然具有極佳的抗蝕能力及機械強度，但是成本極高。在兼顧成本及材料特性的考量下，開發適合於高溫環境下的抗蝕鍍層與使用既有減薄之鎳基合金成為雙層耐酸蝕井管，為本計畫主要目標之一。

D.在耐酸蝕雙層管材中，外層選用雙相不鏽鋼2507，而內層材料選用之Hoganas 1560鎳基合金，而後進行7吋2公尺長耐蝕雙層金屬管材之開發。以大屯火山地熱水體作為模擬溶液(pH=1-2)，進行200°C高溫腐蝕試驗，經真直度量測、氮化處理後硬度測試、水壓試驗、及高溫動態、靜態腐蝕測試後，其整體完整度及性質部分均接近各規範及預定之標準。

E.常見之抗蝕鍍層無法承受高溫酸性且高氯離子濃度的環境，在金屬基材表面形成陶瓷鍍層或高分子塗層的修飾，如含矽化物或Al₂O₃的陶瓷膜，來增加抗氯離子及強酸之侵蝕性，同時提高鍍層之抗刮耐磨強度。並透過高分子層降低外力對陶瓷層的衝擊。

(二) 專利佈局說明

(1) 抗腐蝕技術

為了解決大屯火山地熱開發之強酸腐蝕問題，開發低成本耐酸腐蝕材料為本技術之重點。鑒於過去以塗料方式進行，生產井的抗腐蝕無法達到抗刮的效果，使防蝕能力大打折扣。未來在專利佈局方向，將朝抗蝕複合鍍層、複合沉積設備設計(大型地熱管件)及抗腐蝕複合鍍之製程等方向規劃。在產業方面，除地熱發電與溫泉產業外，將布局至電鍍產業、化學產業及石化產業等方向。

(2) 四維地熱流體監測技術

掌握地熱流體為地熱開發最重要的工作，為充分掌握地下地熱流體分

布，本計畫研發整合地熱探勘井與地表量測的分析方法與硬體設備，以獲得高解析度的分析資料。由於地層流體的電位訊號較微弱且監測與量測的距離較長，遠距離傳輸電路雜訊能量與量測所得之電位能量大小相似，使得真實地層電位訊號被傳輸電路雜訊掩蓋而不易判斷。因此，本計畫研發主動式放大電極之構想，提出「用於分離地層電位訊號及量測電路雜訊之電子裝置」之專利申請。

(三) 產業化佈局

- (1)本計畫所開發之地球物理併合成像技術、微地震監測技術、結垢抑制技術與模擬技術，未來將以地熱電廠開發為主要的產業佈局方向。其中，地球物理併合成像技術、微地震監測技術與模擬技術未來還可朝二氧化碳捕獲封存、溫泉開發等方面佈局。
- (2)耐酸蝕塗料及合金技術除應用在酸性地熱發電產業外，未來將朝營建業、電鍍、管線製造、化學工業及石化等產業發展。
- (3)地熱專家決策輔助系統除可應用在地熱概念模型建置外，未來可朝二氧化碳捕獲封存、石油探勘產業及汙染場址調查與整治產業發展。

輔導業者將技術實際產業化

| 本計畫 完成後指標 | 業界目前指標 | 技術領先國 目前指標(美) | 備註 (技術差距) |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|--------------|
| 評估與開發技術研發/整合 四維資料視覺化展示、運算 技術 | 三、四維資料客製化 連動展示與運算功 能 | 二、三維資料客製化 連動展示功能 | 無 |
| 評估與開發技術研發/四維 逆推 解析地層厚度: 50 m | 200 m | 200 m | 無 |
| 評估與開發技術研發/300 °C / (0.25mm/y) / 200µm (溫 度/腐蝕速率 / 鍍層厚度) | 300°C / (0.1mm/y) / 1µm (蒸鍍鈦) | 300°C / (0.1mm/y) / 1µm(蒸鍍鈦) | 無 |

三、計畫執行情形

(一) 計畫實際執行內容

1. 實際工作內容與進展說明

本計畫高效能地熱發電技術研發為期三年度的第二年，各項工作執行成果實際工作內容與進展說明如下，或請參考本報告附件二至附件七，根據本年度工作架構主要可分為資源評估與開發技術研發、資源調查與評估、產業推廣與國際合作三大項，現說明如下：

1.1 資源評估與開發技術研發

大屯火山區為我國最具傳統地熱開發潛能之地區，過去雖有許多地熱調查研究資料，但大部分集中在國家公園範圍內、且地熱流體之酸度高，開發困難。為加速我國地熱資源發展，本年度計畫在技術發展部分選擇專家決策輔助系統及耐酸腐蝕技術進行發展，以順利開發我國地熱發電潛能最高之區域。

1.1.1 專家決策輔助系統

1.1.1.1 地熱專家知識庫更新與維護

本項工作延續前期計畫規劃目標，持續針對地熱發展重點區域進行資源評估建置工作，主要方法與內容為蒐集、統整與建置地熱系統資料庫，項目包含現有研究文獻、地質資料、井測紀錄、地球物理探測資料(含微震監測、磁力探測、電阻率探測等)，以及地球化學資料(含水樣、氣體樣本、化學成分、濃度等)。前階段已大致完成其中大屯火山地熱區域近年地熱相關資料建置，今年上半年計畫工作亦立足於大屯火山地區所累積之資料庫建置經驗，並進一步擴展

資料庫建置範圍，延伸至台灣北部地熱潛能區域，包括宜蘭清水-土場、仁澤等重點地區，進行前置調查資料庫蒐集與建置工作，以下針對相關執行概況進行說明：

(1) 地球物理資料

本年度計畫為增進對宜蘭地區地熱潛能分布區域之瞭解，已在宜蘭清水至仁澤之間佈設 AMT 測點(圖 1)，以進行測量工作，目前已完成此區域之聲頻大地電磁測量，並將資料解算完畢，詳情請見後面工作成果說明章節內容。

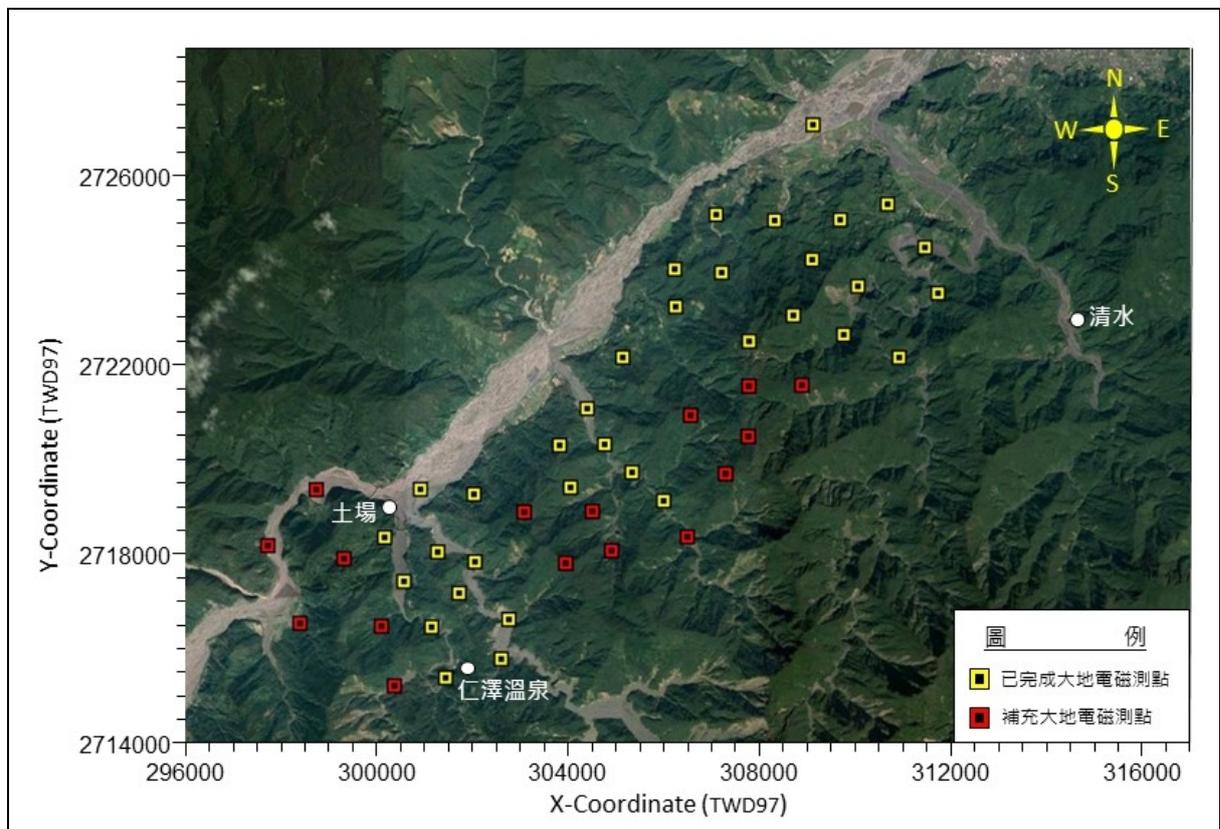


圖 1、清水仁澤區域 AMT 測點分布圖

此外，為了解將來地熱資源開發過程，如：地熱流體取用及回注是否會對周遭地區環境造成影響或誘發地震，需蒐集背景地震資訊作為基線資料庫，以作為將來電廠營運安全管理之依據，故除

本計畫所建置之地震監測站，同時也統整國內學術研究單位之微震監測資料，整併為完整微震監測網，其測站分布如圖 2，所記錄資料將依時間序列進行分析與記錄。

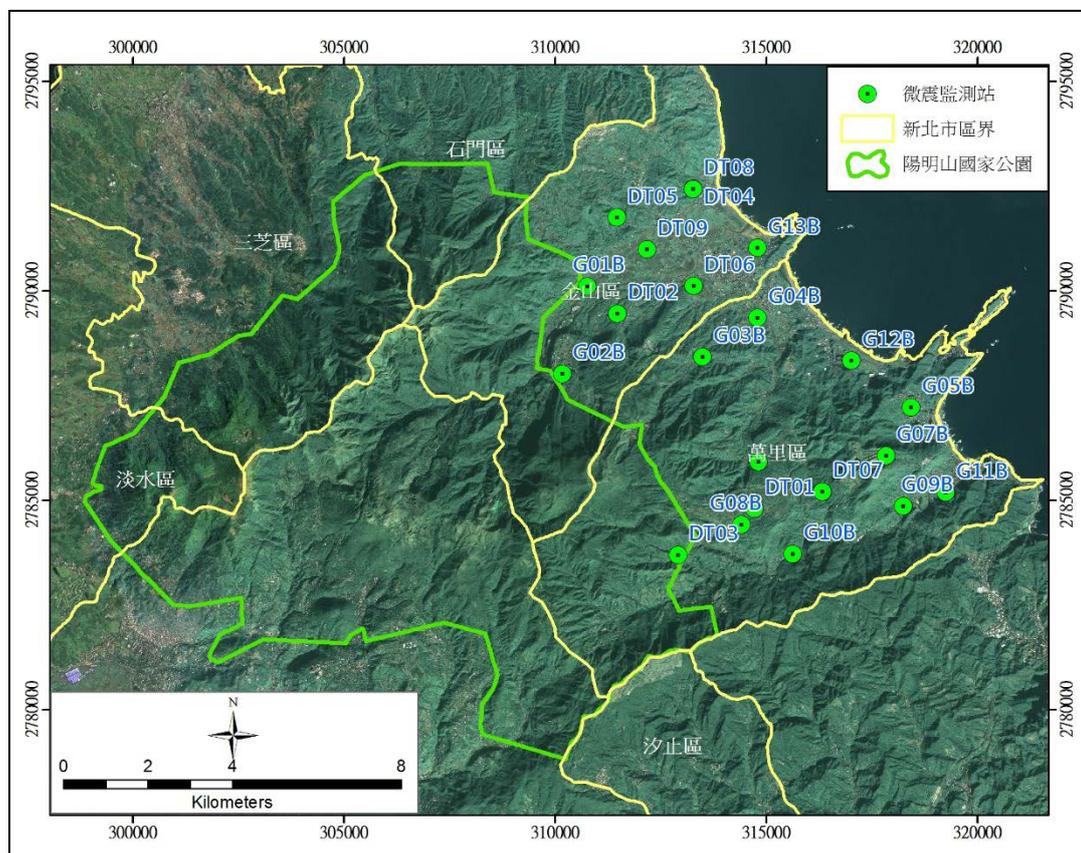


圖 2、金山萬里地區微震監測站分布圖

(2) 地球化學資料

本年度地球化學資料調查方面在磺嘴山地區規劃了一系列熱液流體和土壤氣體的補充調查，其目的為瞭解儲集層空間上之特性分佈(圖 3、錯誤! 找不到參照來源。)。而在宜蘭清水-土場地區則是進行溫泉井和天然露頭的樣本採集(圖 5)，藉由地球化學特性調查以了解場址儲集層溫度與地下熱源與熱液特性，並提供建立地熱概念模式所需之基本資訊。以上地球化學的調查成果已完成檢測並納入專家系統資料庫，其內容請見後面成果說明章節。

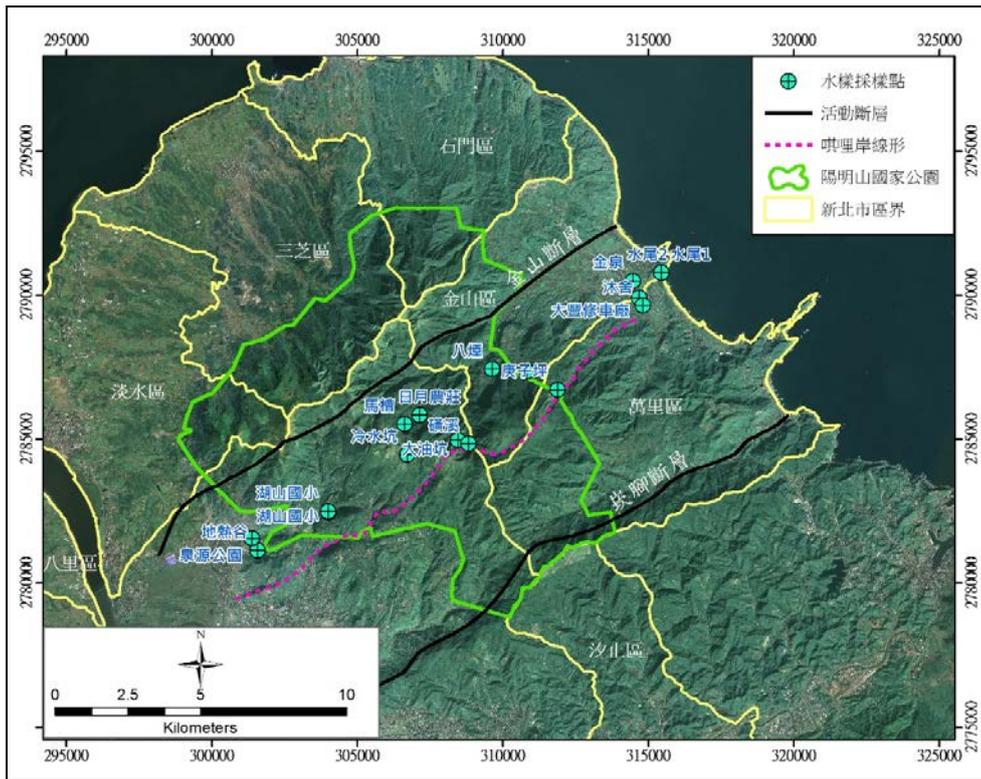


圖 3、磺嘴山地區補充調查熱液採樣點分布圖

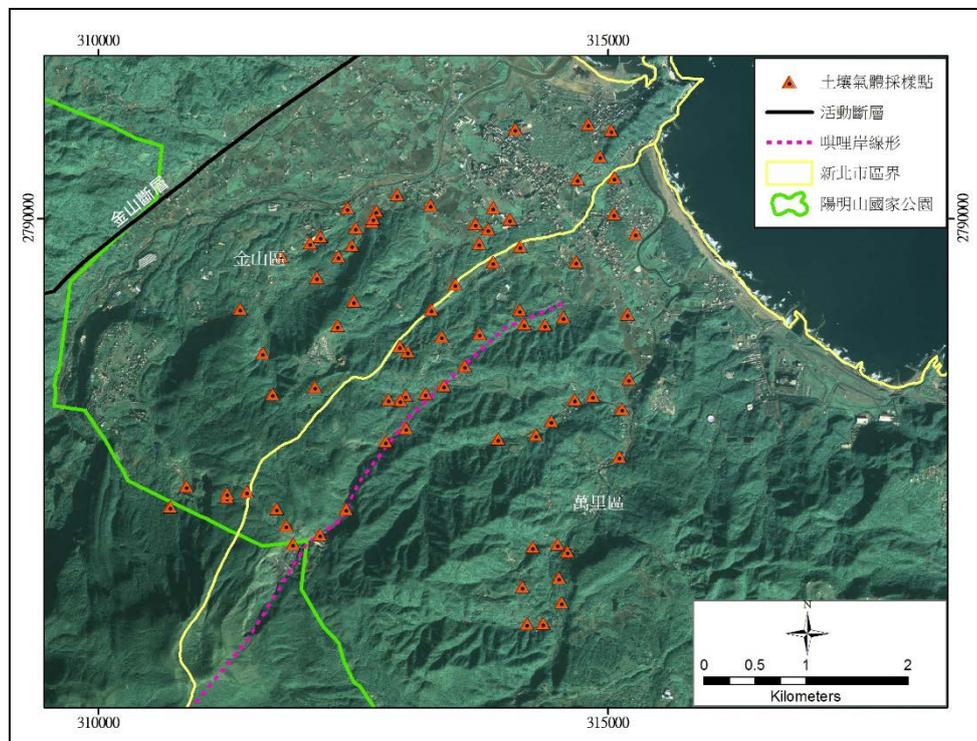


圖 4、磺嘴山地區土壤氣體採樣點分布圖

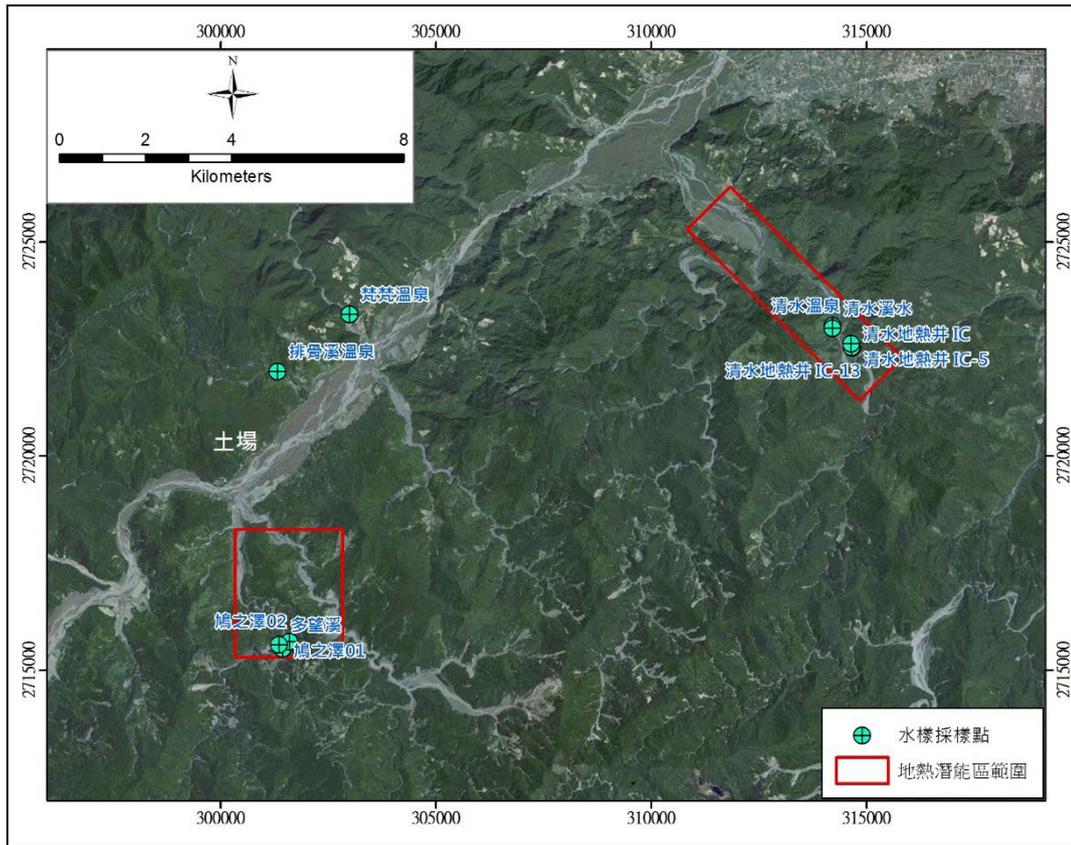


圖 5、清水土場地區水樣採樣點分布圖

(3) 全台地熱資源文獻盤點

為加速推廣台灣地熱電廠開發設置期程，本年度計畫將針對全台所有地熱潛能可能分布區域進行文獻盤點，共選出 27 處地熱潛能區位置(圖 6)，其發電潛能估算成果如表 1。盤點同時就各地熱潛能區當地電力可併網容量做一先期蒐集整理(圖 7)，做為將來電廠開發設置之參考數據。

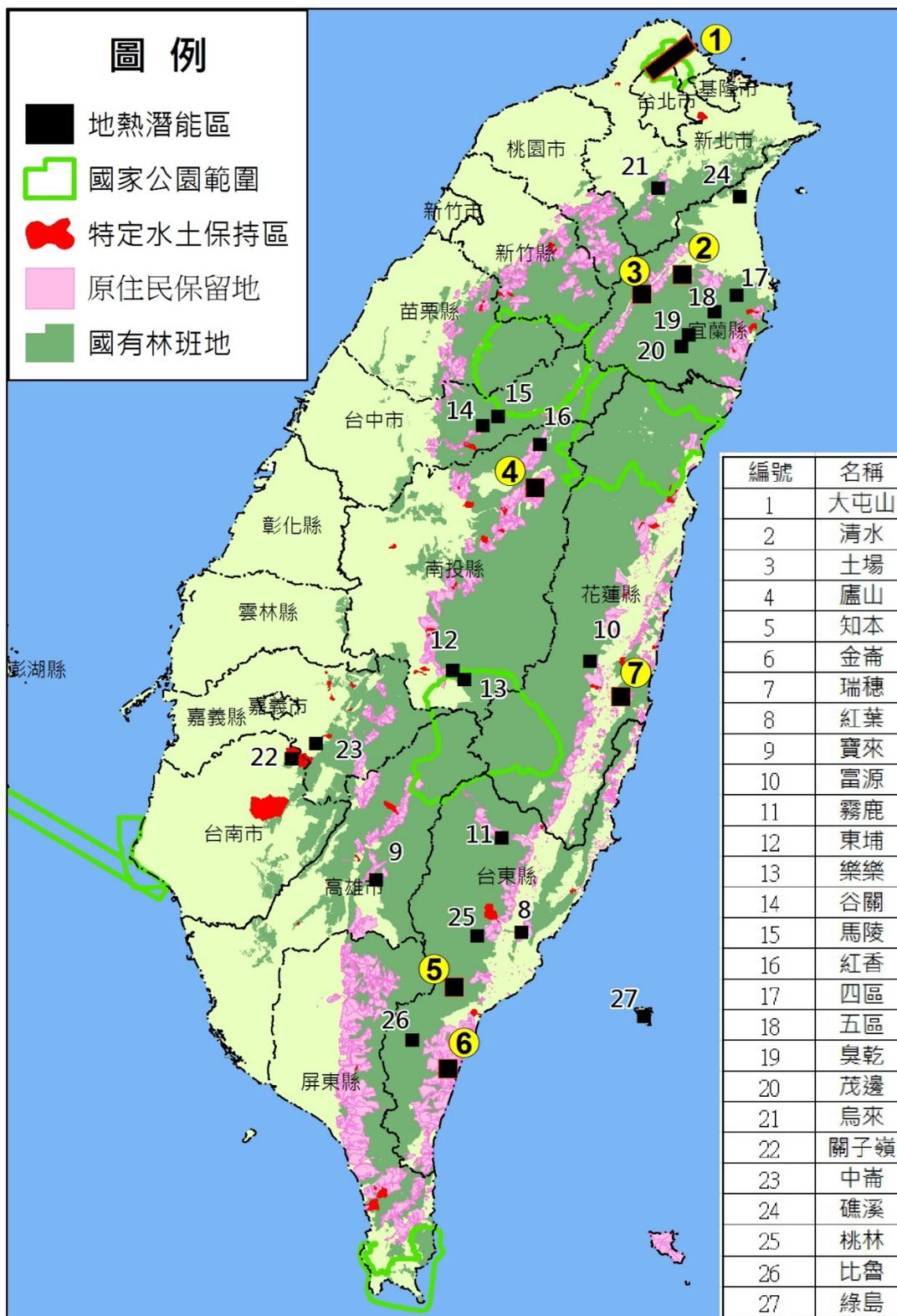


圖 6、全台主要地熱潛能區分布圖

表 1、全台主要地熱潛能區列表(摘自工業技術研究院，1994)

| 地熱區 | 溫度範圍 (°C) | 儲集層體積 (km ³) | 發電潛能 (MWe) | 縣市名 |
|--------|--------------|-----------------------------|---------------|---------|
| 1.大屯山 | 220-290 | 40 | 514 | 台北市，新北市 |
| 2.清水 | 180-220 | 6 | 61 | 宜蘭縣 |
| 3.土場 | 160-180 | 3 | 25 | 宜蘭縣 |
| 4.廬山 | 150-210 | 4.5 | 41 | 南投縣 |
| 5.知本 | 140-200 | 3 | 25 | 台東縣 |
| 6.金崙 | 140-180 | 6 | 48 | 台東縣 |
| 7.瑞穗 | 140-180 | 2 | 16 | 花蓮縣 |
| 8.紅葉 | 130-190 | 1.5 | 12 | 台東縣 |
| 9.寶來 | 110-160 | 2 | 14 | 高雄市 |
| 10.富源 | 80-160 | 1.5 | 9 | 花蓮縣 |
| 11.霧鹿 | 150-210 | 2 | 18 | 台東縣 |
| 12.東埔 | 120-180 | 2 | 16 | 南投縣 |
| 13.樂樂 | 120-140 | 1.5 | 9 | 南投縣 |
| 14.谷關 | 130-180 | 2 | 15 | 台中市 |
| 15.馬陵 | 130-170 | 1.5 | 11 | 台中市 |
| 16.紅香 | 130-170 | 1.5 | 11 | 南投縣 |
| 17.四區 | 140-210 | 2 | 18 | 宜蘭縣 |
| 18.五區 | 150-210 | 2 | 18 | 宜蘭縣 |
| 19.臭乾 | 135-185 | 2 | 16 | 宜蘭縣 |
| 20.茂邊 | 170-210 | 2 | 19 | 宜蘭縣 |
| 21.烏來 | 150-200 | 1.5 | 13 | 新北市 |
| 22.關仔嶺 | 120-190 | 1.5 | 11 | 台南市 |
| 23.中崙 | 120-185 | 1.5 | 11 | 嘉義縣 |
| 24.礁溪 | 100-160 | 1.5 | 9 | 宜蘭縣 |
| 25.桃林 | 150-210 | 1.5 | 14 | 台東縣 |
| 26.比魯 | 130-190 | 1.5 | 14 | 台東縣 |
| 27.綠島 | 160 | | 2.2 | 台東縣 |

併網資料蒐集 (106.12.1)

| 潛力區塊 | 發電潛能 (MW) | 饋線代號 | 可併網容量 (MW) | 所屬區處 | 所在鄉鎮 | 潛力區塊 | 發電潛能 (MW) | 饋線代號 | 可併網容量 (MW) | 所屬區處 | 所在鄉鎮 |
|---------|-----------|------|------------|--------|--------|--------|-----------|--------|------------|--------|--------|
| 金山-四礮子坪 | 100 | CX40 | 2.5 | 基隆區營業處 | 新北市金山區 | 馬陵 | 11 | GZ21 | 1.84 | 台中區營業處 | 臺中市和平區 |
| 清水地熱區 | 61 | DE28 | 1.54 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣大同鄉 | | | GZ22 | 1.87 | 台中區營業處 | 臺中市和平區 |
| | | DE27 | 2.30 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣大同鄉 | AN23 | 1.59 | 南投區營業處 | 南投縣仁愛鄉 | | |
| | | DF21 | 2.31 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣大同鄉 | AN21 | 1.92 | 南投區營業處 | 南投縣仁愛鄉 | | |
| | | DE22 | 1.84 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣大同鄉 | AN24 | 2.11 | 南投區營業處 | 南投縣仁愛鄉 | | |
| | | DF22 | 1.74 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣大同鄉 | AN25 | 3.48 | | | | |
| | | 土場 | 25 | DF21 | 2.31 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣大同鄉 | HN31 | 3.79 | 台中區營業處 | 臺中市和平區 |
| 蘆山 | 41 | AN24 | 2.11 | 南投區營業處 | 南投縣仁愛鄉 | DH22 | 2.13 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣南澳鄉 | | |
| 知本 | 25 | QI21 | 2.25 | 台東區營業處 | 臺東縣卑南鄉 | 五區 | 18 | DH22 | 2.13 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣南澳鄉 |
| | | QI12 | 2.56 | 台東區營業處 | 臺東縣卑南鄉 | 臭乾 | 16 | DH21 | 2.28 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣南澳鄉 |
| | | QI15 | 2.17 | 台東區營業處 | 臺東縣卑南鄉 | 茂邊 | 19 | DH21 | 2.28 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣南澳鄉 |
| 金崙 | 48 | QG11 | 1.99 | 台東區營業處 | 臺東縣金峰鄉 | 烏來 | 13 | WJ22 | 1.89 | 北南區營業處 | 新北市烏來區 |
| 瑞穗 | 16 | PH25 | 2.49 | 花蓮區營業處 | 花蓮市瑞穗鄉 | | | WK23 | 1.93 | 北南區營業處 | 新北市烏來區 |
| 紅葉 | 12 | QM11 | 2.13 | 台東區營業處 | 台東縣延平鄉 | | | WK21 | 2.17 | 北南區營業處 | 新北市烏來區 |
| 費來 | 14 | BF39 | 2.54 | 鳳山區營業處 | 高雄市六龜區 | 關仔嶺 | 11 | VB24 | 2.51 | 新營區營業處 | 台南市白河區 |
| 富源 | 9 | PH22 | 2.37 | 花蓮區營業處 | 花蓮縣瑞穗鄉 | | | VB26 | 3.02 | 新營區營業處 | 台南市白河區 |
| 霧鹿 | 18 | QB27 | 0.71 | 台東區營業處 | 台東縣海端鄉 | 中崙 | 11 | JY22 | 1.53 | 嘉義區營業處 | 嘉義縣中埔鄉 |
| 東埔 | 16 | AS22 | 2.81 | 南投區營業處 | 南投縣信義鄉 | | | JW32 | 3.06 | 嘉義區營業處 | 嘉義縣中埔鄉 |
| 樂樂 | 9 | AS22 | 2.81 | 南投區營業處 | 南投縣信義鄉 | | | JW21 | 2.60 | 嘉義區營業處 | 嘉義縣中埔鄉 |
| 谷關 | 15 | GZ21 | 1.84 | 台中區營業處 | 臺中市和平區 | 礪溪 | 9 | DD28 | 3.12 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣礪溪鄉 |
| | | GZ22 | 1.87 | 台中區營業處 | 臺中市和平區 | | | DD21 | 2.27 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣礪溪鄉 |
| 桃林 | 14 | QM11 | 2.12 | 台東區營業處 | 台東縣延平鄉 | | | DD30 | 2.90 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣礪溪鄉 |
| 比魯 | 14 | | | | DI32 | | | 2.86 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣礪溪鄉 | |
| 綠島 | 2.2 | | | | DI26 | | | 2.37 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣礪溪鄉 | |
| | | | | | DI24 | | | 1.98 | 宜蘭區營業處 | 宜蘭縣礪溪鄉 | |

Copyright 2017 ITRI 工業技術研究院

圖 7、全國地熱潛能屈區發電可併網容量資料

(4) 研討會論文蒐集

本年度所蒐集國內、外地熱相關之研討會論文內容如下:

(a) 火山型地熱系統國際研討會(2017.05.15~2017.05.17)

(如圖 8)



A THREE DAY
GEOHERMAL WORKSHOP

TAIWAN START TO STEAM

ACID VOLCANIC
GEOHERMAL SYSTEMS
AND THE CHALLENGES FOR
POWER DEVELOPMENT

LOCATION
TAIPEI, TAIWAN
GIS NTU CONVENTION CENTER

DATE
15-17 MAY, 2017

FEE
2 DAY SEMINAR NTD\$6000
1 DAY FIELD TRIP NTD\$1500

REGISTRATION OPENS APRIL 1ST 2017

MORE INFORMATION
www.gns.cri.nz/start2steam;
geothermalworkshop@gns.cri.nz

PROPOSED PROGRAMME

DAY 1

- Introduction to geothermal energy and benefits
- What's required for a successful geothermal development
- Acid volcanic geothermal systems: introduction and conceptual models
- Geology of Tatun volcano and Tatun geothermal system
- Results of recent geothermal drilling at Tatun

DAY 2

- Geothermal well drilling in aggressive reservoirs
- Materials selection technologies for acid reservoirs
- Indonesia acid volcanic geothermal systems
- Acid fluids in Otake and Hatchobaru geothermal systems, Japan
- Acid geothermal systems of Philippines
- Key messages for Taiwan and geothermal development of Tatun system

DAY 3

- Field trip to Tatun Volcano

- CONCEPTUAL MODELS of acid volcanic geothermal systems
- STRATEGIES for drilling geothermal wells into acid reservoirs
- MATERIALS SELECTION technologies for acid reservoirs
- CONCEPTUAL MODEL of Tatun geothermal system, Tatun Volcano, Taiwan
- CASE STUDIES from acid volcanic geothermal systems: Philippines, Japan, Indonesia

Contact Persons /
GNS, Dr. Andrew Ree | a.ree@gns.cri.nz | +64-7-376 0129
ITRI, Dr. Yen-Che Liao | yencheliao@itri.org.tw | +886-3-5916664

REGISTRATION
for more information...

Invited Speakers
Agenda
Accommodation

經濟部能源局
Ministry of Economic Affairs

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

GNS

圖 8、火山型地熱系統國際研討會議程海報

(b)39Th New Zealand Geothermal Workshop_Rotorua
2017(11.22~11.24) (如圖 9)



Programme
(Click on each paper title to open linked papers)

Author Index

Search

Sponsors

39th
NZGW
New Zealand
Geothermal Workshop

22-24 November
2017

圖 9、第 39 屆紐西蘭地熱研討會議程海報

1.1.1.2 潛能評估與分析資訊化技術

本項工作目標為衡量地熱田長期運轉穩定性與最大發電量，將藉由最佳化目標函數及條件限制擬定，進行最佳發電量評估模組開發。由於國內尚無地熱電廠長期穩定運轉的發電資料可供分析，只有部分發電機組測試運轉的數據可參考，故本項目以宜蘭清水地熱電廠為例，透過熱儲集層數值模擬的方式，模擬地熱田場址取熱水與尾水回注所造成之區域地層水流與熱流狀態，並藉此模擬結果進行發電產能最佳化分析，以地熱井長期運轉(20年)發電潛能最大化為目標，提供最佳之地熱井流量操作建議，以協助地熱電廠進行地熱井流量管理與參考，細步執行細節說明如下：

完整長期運轉最佳發電量分析流程如圖 10所示，數值模擬部分使用的是紐西蘭奧克蘭大學，依據美國勞倫斯柏克萊國家實驗室(Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL)所發展的 TOUGH2 儲集層模擬軟體，修改成為專門應用於地熱儲集層模擬之 AUTOUGH2，而地熱儲集層模擬程序如圖 11所列。所使用的清水地熱區儲集層網格如圖 12，網格東西向(X方向)總寬度為 2,284 公尺，共有 34 個網格；南北向(Y方向)總長度為 3,016 公尺，共有 30 個網格；地表至地底(Z方向)之深度為 2,400 公尺，共有 14 個層面，總計網格數量有 14,280 個。儲集層數值模型之參數輸入條件如表 2 所示，除清水溪露頭外所有儲集層地表為緻密岩層，屬於表 2內的岩層 LOW；小南澳斷層以南為緻密岩層，屬於表 2內的岩層 LOW；清水溪斷層以西為緻密岩層，屬於表 2內的岩層 LOW；除清水溪斷層之帶寬 200m 內為破裂岩層，屬於表 2內的岩層 HIG，其餘為表 2內的岩層 MID；HIG18、HIG19 及 HIG4 為對應 IC-18、IC-19 及 IC-4 井周遭之岩層。清水地熱儲集層之東西向(XX')及南北向(YY')滲透係數剖面輸入結果，如圖 13、圖 14所示。模擬成果經井位自然狀態模擬溫度比對及生產資料比對(李伯亨等人, 2011; 李

清瑞等人，2012)，顯示該數值模式具備良好可信度，可反應地層水流真實狀況，並以此模型進行抽注水行為模擬。

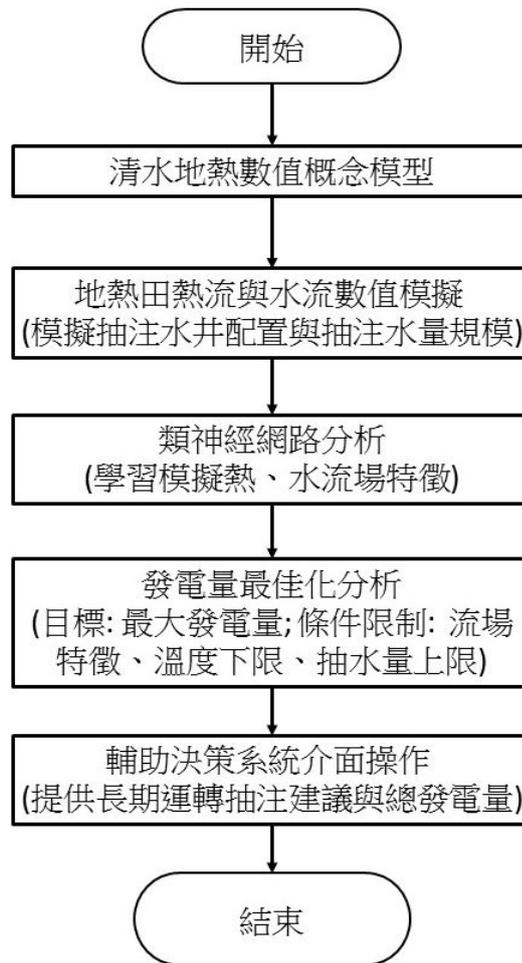


圖 10、長期運轉最佳發電量分析流程

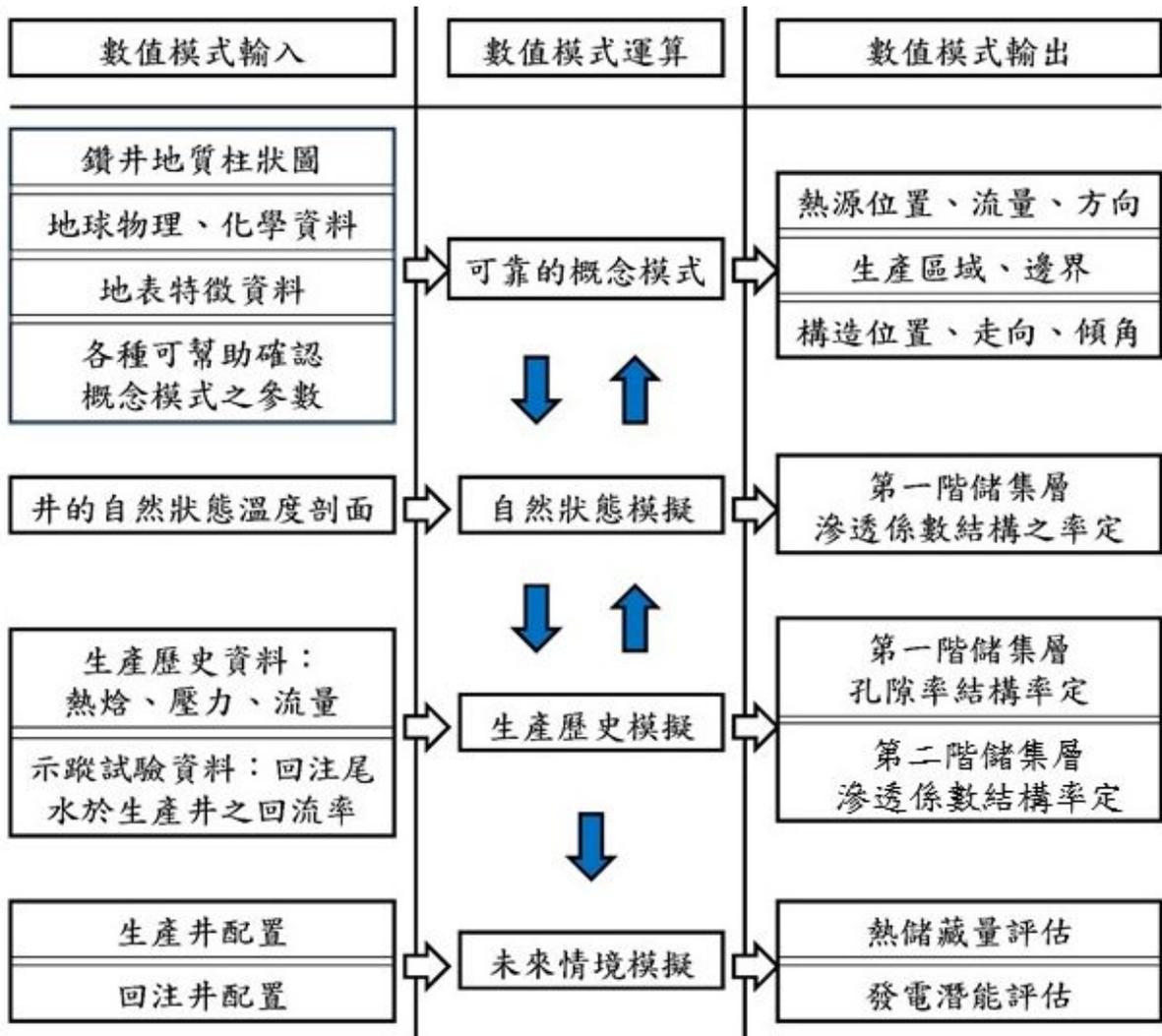


圖 11、地熱儲集層模擬程序

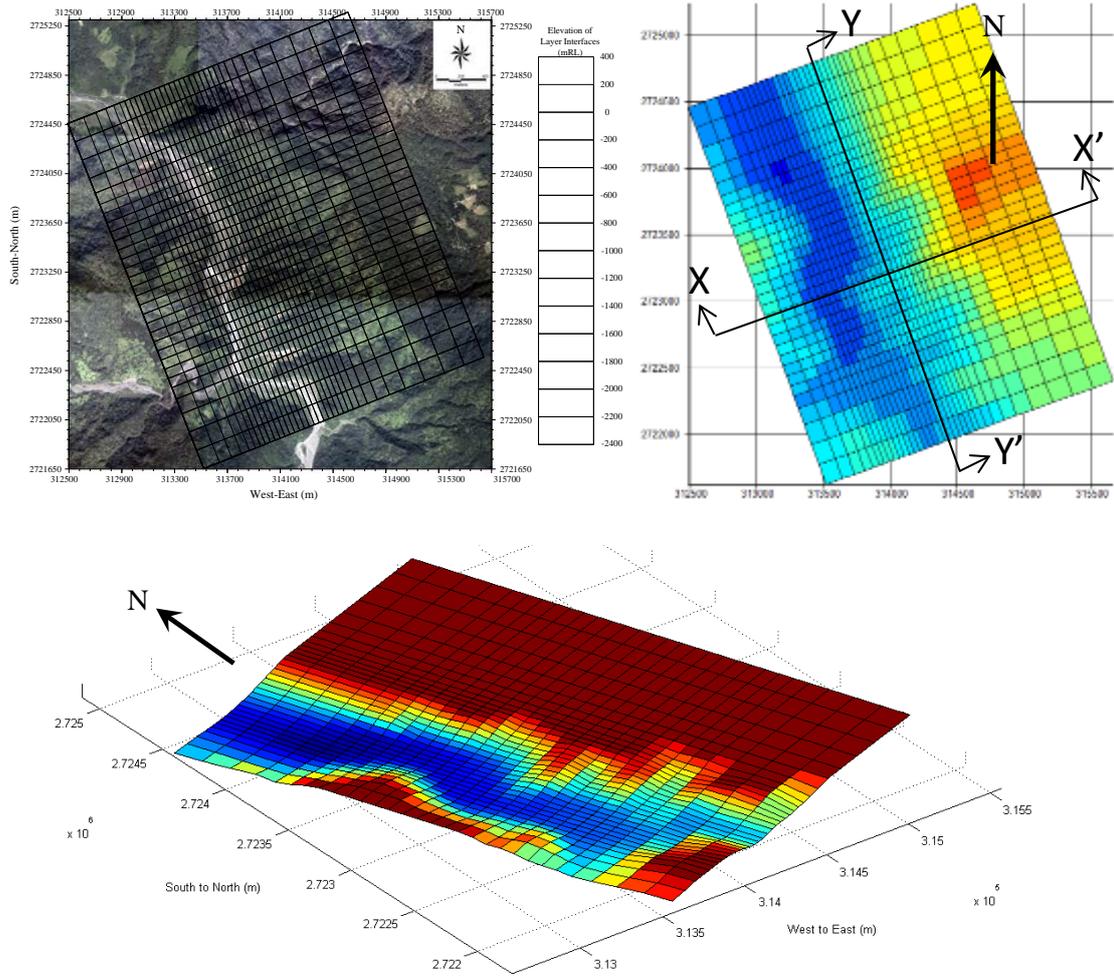


圖 12、清水地熱儲集層網格數值化

表 2、清水地熱儲集層數值模型輸入參數

| 數值 | | 參數 | 孔隙率 | k_{xy} (m^2) | k_z (m^2) | 網格 | 熱源 (W/m^2) | 邊界條件 |
|----|-------|----|------|-----------------------|--------------------|--|-------------------|---|
| 岩層 | LOW | | 0.01 | 0.5^{-15} | 0.5^{-15} | X=34 block (2284m) Y=30 block (3016m) Z=14 layer (mRL-2400) | 0.18 | 1.表面為 大氣層， 溫度 $15^{\circ}C$ 2.四周無 熱源及流 量進出 3.底部質 量流入 $12kg/s(26$ $0^{\circ}C)$ |
| | MID | | 0.05 | 5^{-15} | 5^{-15} | | | |
| | HIG | | 0.10 | 2.5^{-14} | 2.5^{-14} | | | |
| | HIG18 | | 0.10 | 2.0^{-14} | 2.0^{-14} | | | |
| | HIG04 | | 0.10 | 3.0^{-14} | 3.0^{-14} | | | |
| | HIG09 | | 0.10 | 1.0^{-14} | 1.0^{-14} | | | |

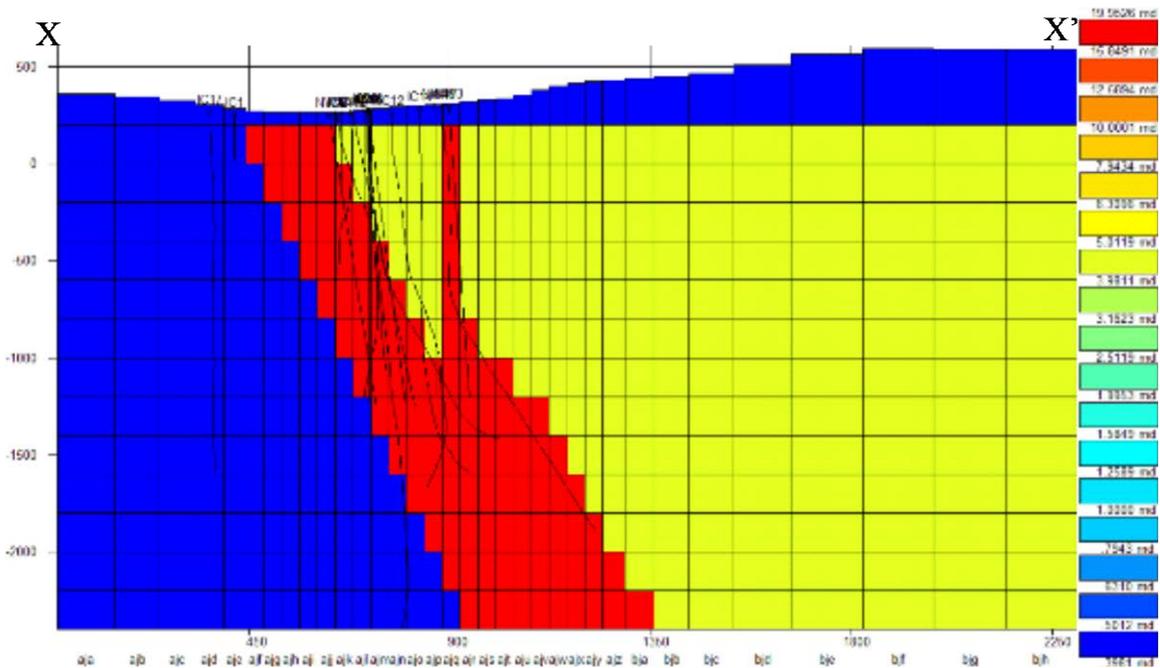


圖 13、清水地熱儲集層東西向(XX')之滲透係數輸入結果

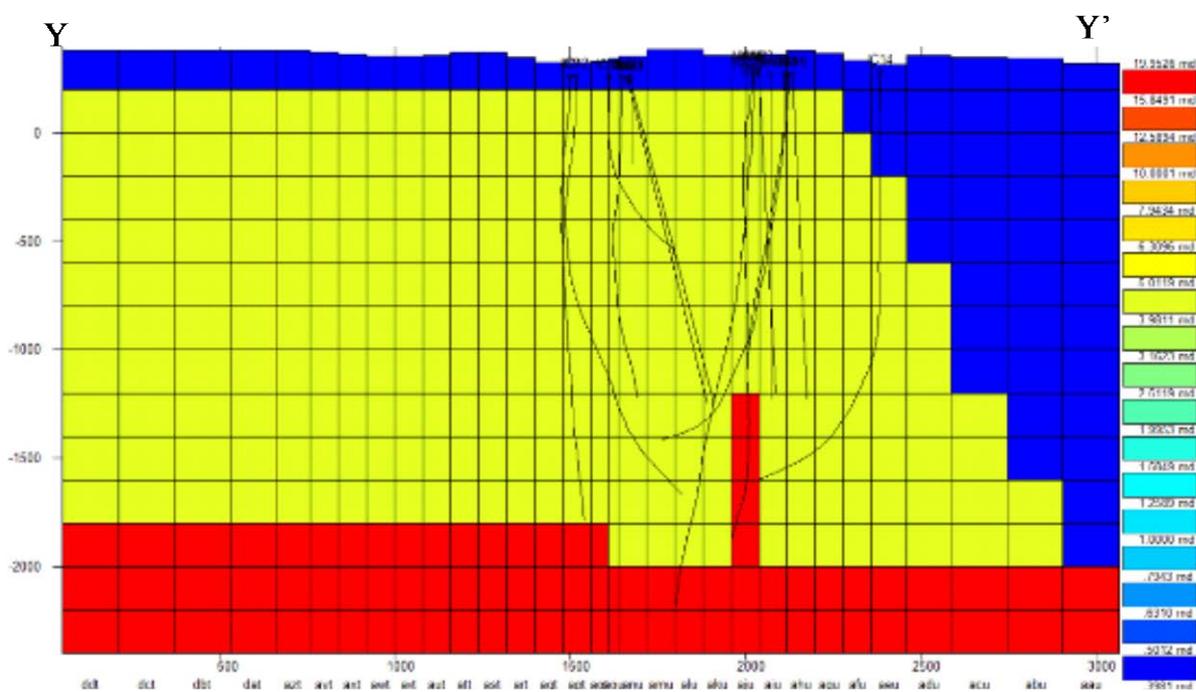


圖 14、清水地熱儲集層南北向(YY')之滲透係數輸入結果

本案考量地熱井過去使用情況及合理配置，設想情境假定共有 5 口抽水井及 2 口注水井，其基本資料及其在地層岩體孔隙水流與熱流模擬檔案中之網格代號(Block Name)如表 3 所列，其中抽水井 IC13 及 IC19 兩口井分別具有 3 個開篩段，因此有三個對應的生產網格。抽水井抽水量大小設定其範圍為 10 ~ 250 (ton/hour, TPH)，且抽出水量全部由回注井回注至含水層中。總共考量了 93 種抽注井搭配，以及 4,000 種不同抽水量組合案例(表 4)。

若要藉由數值模擬完成上述組合案例，其運算時間非常可觀，故透過類神經網路學習經數值模擬運算之熱、水流場特徵以節省運算時間。為驗證類神經學習成果與可信度，選擇 IC-21 井作為抽水井以及 IC-14 作為回注井進行測試，故本案例類神經網路具有 3 個輸入，即 IC-21、IC-14 之溫度，以及 IC-21 之抽水量，其中隱藏層數及節點數得視案例需求，並無一定規範，將分別使用 1~2 層隱藏層，5~7 個節點進行測試，測試過程採隨機選取分別 2 部分，第 1 部分佔整體比率 60%，用於類神經網路訓練，第 2 部分的資料則不參與訓練，僅用於類神經模擬之用。誤差評估如表 5 所示，經考量本研究最終採用 2 個隱藏層及 6 個節點作為使用評估模式。

發電量最佳化模式目標函數設定為最大發電量，可表示如下，

$$\max_{T,Q} \sum_{t=1}^N E(T(t), Q(t)) = \sum_{t=1}^N E_T(t) \times E_Q(t) \dots\dots\dots (1)$$

其中限制條件為：

$$T(t + 1) = f(T(t), Q(t)) \dots\dots\dots (2)$$

$$T(t) \geq T_c \dots\dots\dots (3)$$

$$T_{end} \geq T_d \dots\dots\dots (4)$$

$$Q \geq Q_{min} \dots\dots\dots (5)$$

依據 ORC 發電機組相關研究論文發表資料(Hung, et al., 1997)，並參照清水地熱電廠測試機組，使用 R245fa 為工作流體之實際運轉

數值，推估出不同熱水溫度條件下，流量與發電量經驗關係如圖 15，故可知方程式(1)其中的 $E_Q(t)$ 為抽水量與發電量函數則為線性關係，而 $E_T(t)$ 為發電量與溫度之關係，則為一非線性函數。而等號限制式的方程式(2)則描述所模擬的地熱系統狀態，溫度(T)與流量(Q)關係為高度非線性關係，在本案例實際評估時，則由類神經網路模擬結果取代之。 T_c 、 T_d 分為瞬時與最終溫度下限值， T_{end} 為長期運轉(20 年)後之溫度狀態， Q_{min} 則為抽水量下限值。最佳發電量優選結果若依回注井配置分類，則各個組合之年發電量將如圖 16、圖 17、圖 18 所示，大致而言不同抽水組合間其發電量有以 IC-14 做為回注井，具有比 IC-16 更大之趨勢，且以兩口井作為回注井其發電量優於單口回注井，並以 IC-9, IC-13, IC-19 之搭配組合，較能獲得最佳發電量。

最終，所開發之宜蘭清水地熱發電量最佳化分析模組，將提供地圖展示功能以及最佳化操作建議功能，操作介面初始畫面如圖 19 所示，操作人員可依不同抽注水井搭配組合，並設定最終溫度條件後執行最佳化評估，將運算後可提供模擬總時間、抽水井位置、注水井位置、注水溫度(攝氏)，以及最佳化操作建議，如抽水規模(噸/小時)、注水規模(噸/小時)、總發電量及 20 年後熱流狀態(攝氏)等資訊，可供宜蘭清水地熱電廠抽注操作參考。

表 3、抽水井及回注井基本資料

| | 井名 | | 井底座標 (TWD67) | | 高程 (m) | 深度(m) | 生產層海拔(m) | 對應網格 | 推估生產層流量與佔總流量百分比 |
|-------|---------|----------|--------------|-----------|----------|----------|--------------|-------|-----------------|
| | | | X | Y | | | | | |
| 抽水井 | IC-9 新 | | 313727.8 | 2723174.8 | -1,776.8 | 2,060.00 | *-1700~-1900 | apn11 | 100% |
| | IC-13 新 | IC-13-1 | 314006.0 | 2723190.9 | -1,415.3 | 1,822.04 | -430 | aim5 | 10.4 (30%) |
| | | IC-13-2 | | | | | -730 | ain6 | 10.4 (30%) |
| | | IC-13-3 | | | | | -880 | ajo7 | 13.9 (40%) |
| | IC-19 新 | IC-19-1 | 313692.0 | 2722982.5 | -579.5 | 901.50 | -57 | aok3 | 6.3 (20%) |
| | | IC-19-2 | | | | | -223 | ank4 | 9.45 (30%) |
| | | IC-19-3 | | | | | -486 | amk5 | 15.75 (50%) |
| | IC-20 | | 313808.5 | 2722854.6 | -227.4 | -500.00 | *-100~-450 | ajl4 | 100% |
| IC-21 | | 313645.9 | 2723144.2 | -148 | 1,058.00 | -388 | ank4 | 100% | |
| 回注井 | IC-14 | | 314041.5 | 2722904.8 | -1,593.2 | 2,000.00 | -1500 | ahq10 | 100% |
| | IC-16 | | 313803.4 | 2723025.4 | -2,699.5 | 2,991.98 | -2300 | aln14 | 100% |

*註：假設以井底為開篩段，並經人工判斷其生產網格之名稱，並搭配其他已知井的網格資訊，判別該網格對應之井底高程是否合理。

表 4、抽注模擬案例數量

| 單口回注井 | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 口抽水井 | 2 口抽水井 | 3 口抽水井 | 4 口抽水井 | 5 口抽水井 |
| 125 | 400 | 600 | 800 | 1200 |
| 雙口回注井 | | | | |
| 1 口抽水井 | 2 口抽水井 | 3 口抽水井 | 4 口抽水井 | 5 口抽水井 |
| 125 | 600 | 600 | 800 | 1000 |

表 5、類神經網路訓練組與數值模擬誤差

| | 5 個節點 | | 6 個節點 | | 7 個節點 | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | IC-21 | IC-14 | IC-21 | IC-14 | IC-21 | IC-14 |
| 1 層隱藏層 | 0.0898 | 0.1219 | 0.1758 | 0.0874 | 0.0046 | 0.1183 |
| 2 層隱藏層 | 0.1178 | 0.0739 | 0.1656 | 0.0229 | 0.1486 | 0.1820 |

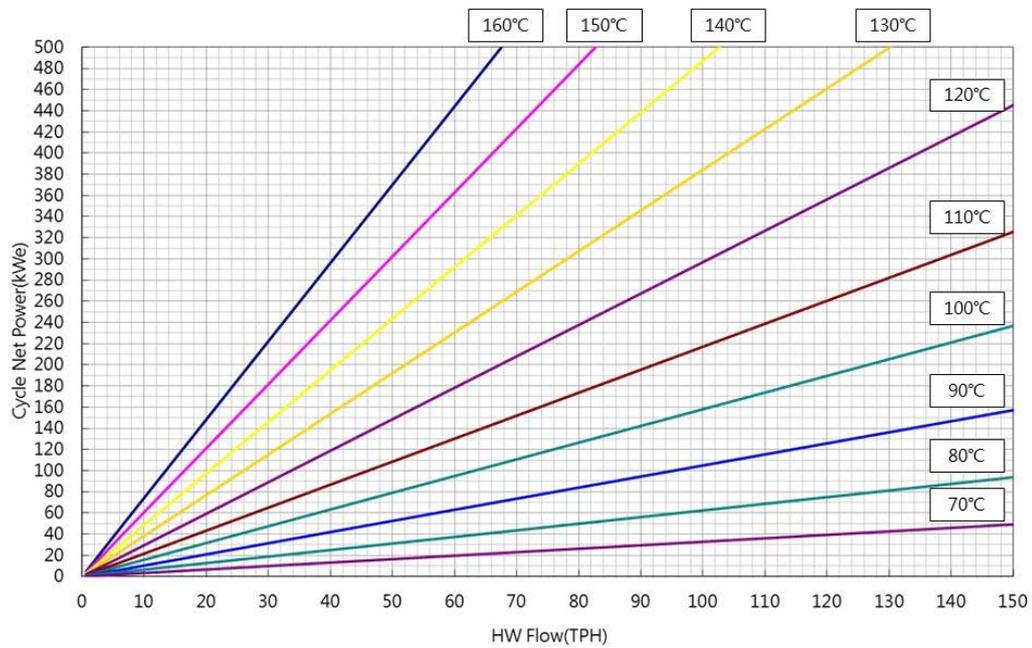


圖 15、地熱流體溫度及流量與 ORC 發電量關係圖

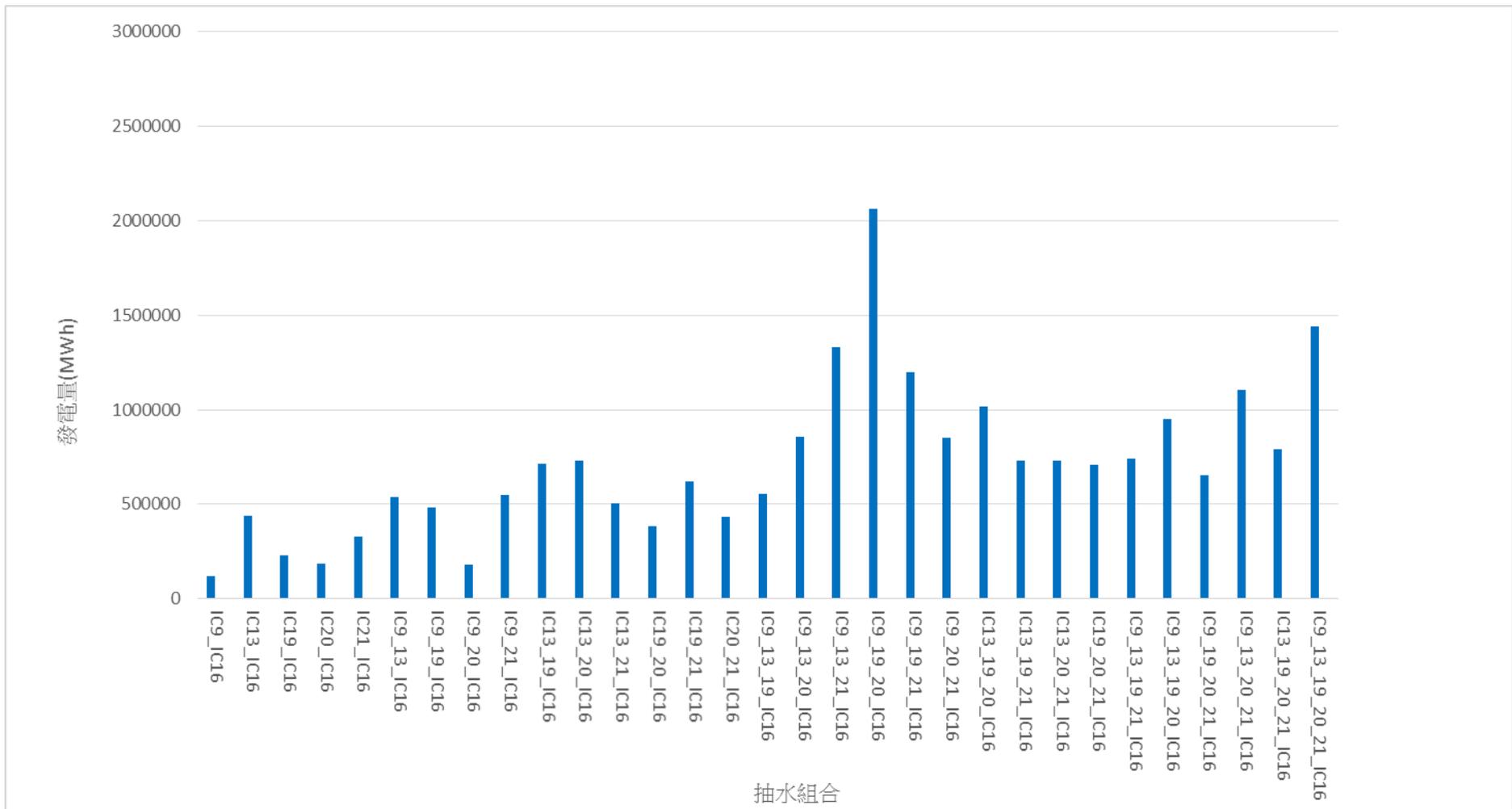


圖 16、回注井 IC-16 抽水組合之年發電量

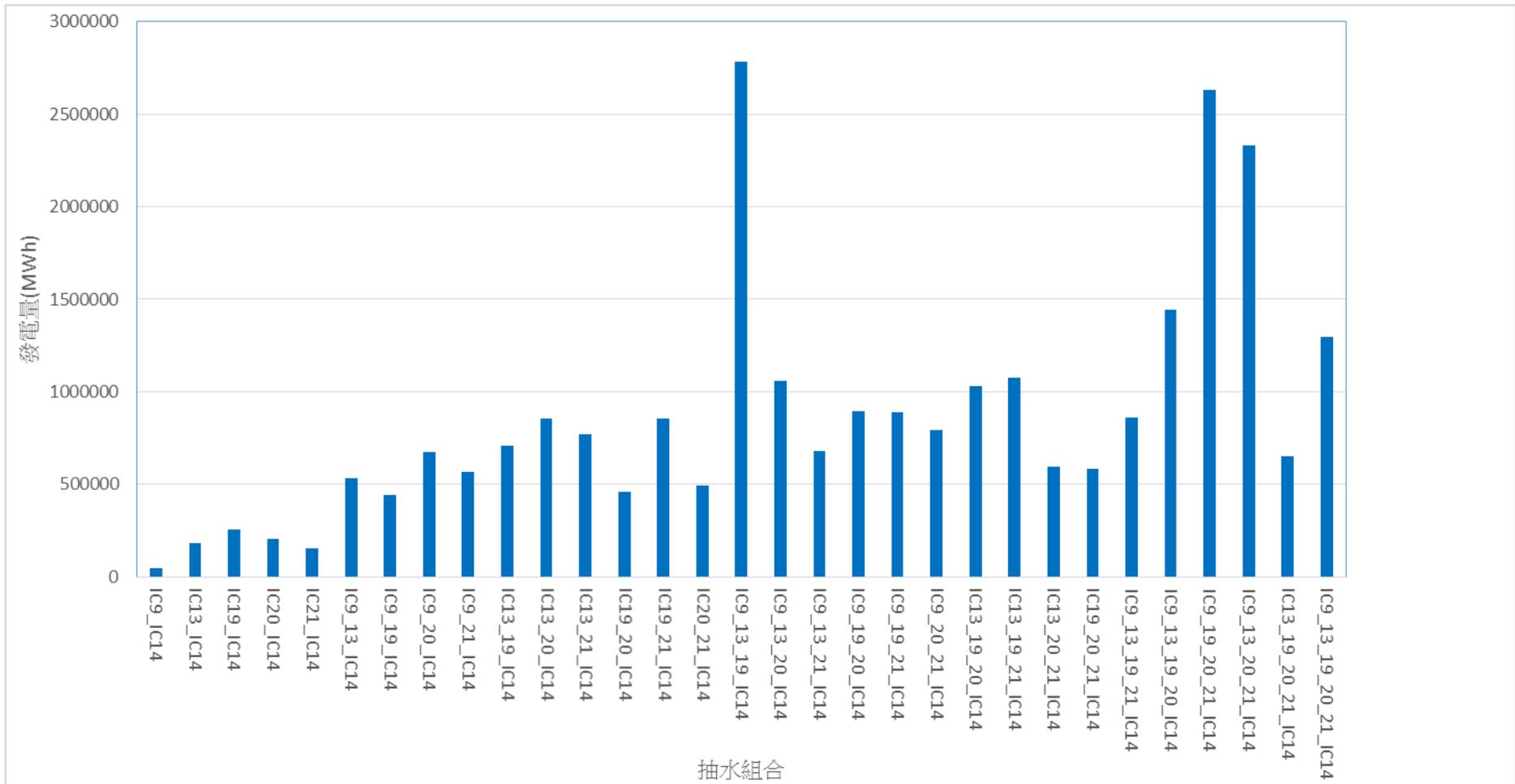


圖 17、回注井 IC-14 抽水組合之年發電量

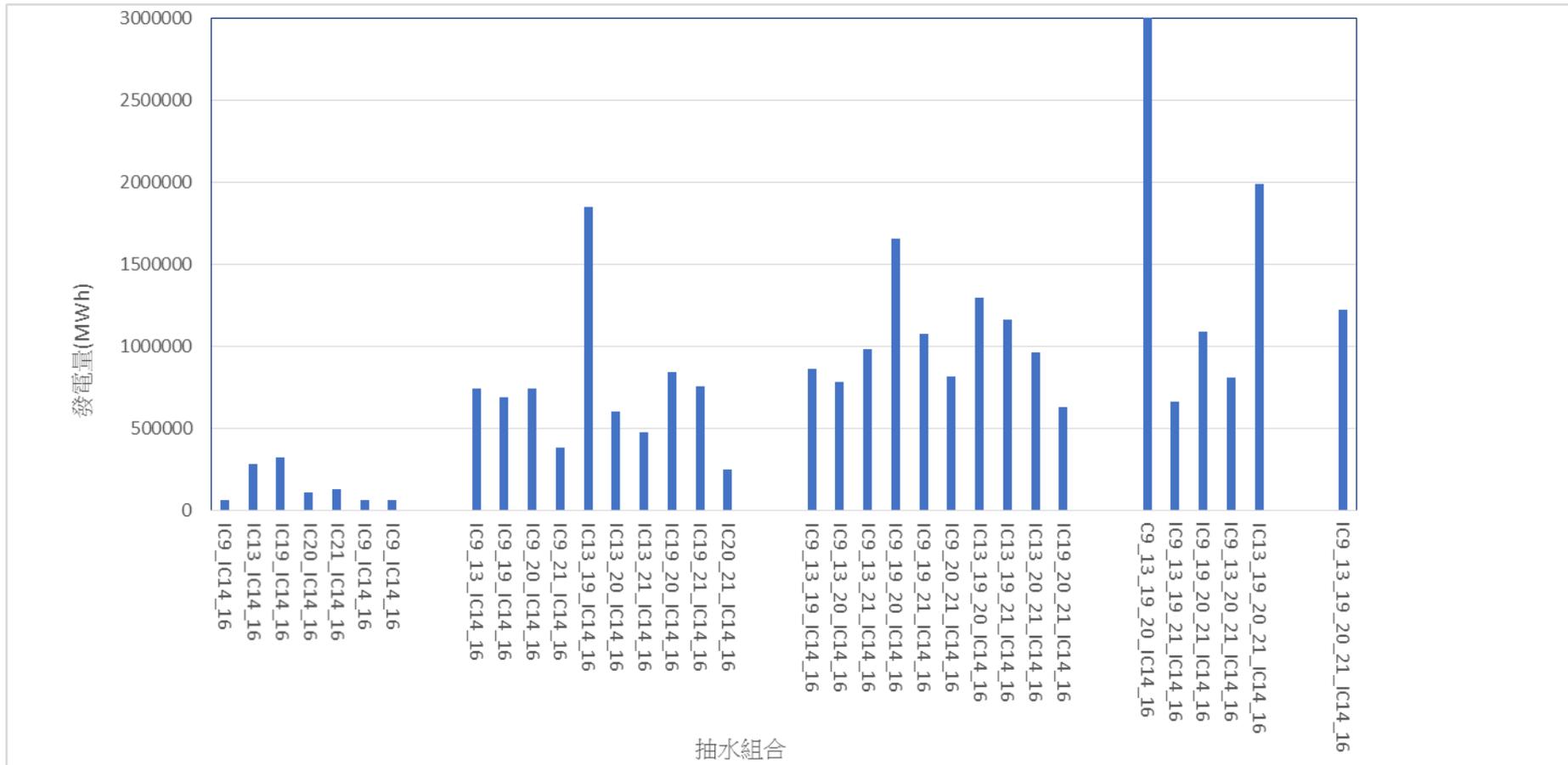


圖 18、回注井 IC-14 與 IC-16 抽水組合之年發電量

GIDEA-最佳化模組

測量距離

測量面積

WGS84X:

WGS84Y:

定位

回原位

清除

匯出報表

地圖 衛星檢視

溫室
清水地熱廣場

赤龍坑溪 清水溪 清水溪 清水溪

地圖資料 ©2017 Google 使用條款 回報地圖錯誤

量測距離:
量測面積:

選擇抽水井

IC9 IC20
 IC13 IC21
 IC19

選擇注水井 IC14 IC16

選擇熱流低溫下限 160 度C

計算此組合最佳化結果

最佳化抽注水建議

| | |
|-------|-------|
| 模擬總時間 | 20年 |
| 抽水井位置 | |
| 注水井位置 | |
| 注水水溫 | 攝氏80度 |

建議操作模式

| | |
|--------------|----------------------|
| 抽水規模 (噸/小時) | 查看列表 |
| 注水規模 (噸/小時) | 查看列表 |
| 總發電量(KWe) | 查看列表 |
| 20年後熱流狀態(°C) | 查看列表 |

圖 19、最佳發電量評估模組操作介面

1.1.2 地熱田開發關鍵技術

1.1.2.1 耐酸蝕井管金屬材料技術

在鍍鎳的基礎上添加鉻，鍍層中鉻含量不同，其性能有很大差別。含鉻合金由於表面會形成一層鉻的鈍化膜，阻擋腐蝕介質的浸入，當鎳鉻合金鍍層中鉻含量超過 20% 時，其表面形成的非晶態鎳鉻合金結構具有較高的抗腐蝕性。在金屬材料表面沉積一層含鉻鎳合金，能提高基材抗腐蝕性，甚至優於含鉻量近似的不鏽鋼。另外以鎳鉻合金代替金屬鉻層，使鍍層具有較高的耐高溫硬度。鉻層在較高溫度會變軟，300°C 時硬度便開始下降，510°C 鍍層已處於完全退火狀態。此外，鍍鉻層還具有微裂紋結構，降低對基體的保護能力，用鎳鉻合金代替鉻層可問題得以解決。

(1) 以金屬表面電漿改質技術提升表面抗蝕能力

以孔蝕抵抗當量 PREW(pitting resistance equivalent value) 為基礎學理，透過表面電漿技術，嘗試在不鏽鋼表面增加 N 元素含量，藉以提升孔蝕抵抗當量，提升抗蝕力。雖然成功滲入氮元素，但富氮化層的防蝕保護並不見效。經由文獻可知不鏽鋼氮化的結果經常出現矛盾的報導，推估癥結所在就是 Cr 的偏析(segregation): 高溫下 Cr 優先氮化並聚積在晶界上，反而削減原有鈍化保護的功能。SEM 的微觀形貌也顯示腐蝕是有區域選擇性的，滲氮並沒有形成全面性保護。換句話說，氮化後的組織雖可說短暫抗蝕能力的提升，然而卻失去原有鉻金屬的鈍化保護功能，成分的偏析甚至引起加凡尼(galvanic corrosion) 電流加劇了局部的腐蝕現象，使得最終的抗蝕能力反而變得更差，因此不足以作為防蝕的有效手段。

(2) 抗蝕塗層開發

本年度使用矽烷衍生物反應為聚合物，加入環氧樹脂作為交聯劑，強化合成物交聯後強度。因而提高材料可塗佈性，可製作成緻密塗層，並增加耐溫性。透過適當的工件表面處理粗化，可通過長時間表面抗蝕能力測試。為了增強耐蝕材料特性，本團隊嘗試將奈米層片混摻於塗層中，希望藉由其特性延長耐蝕塗層在應用時的壽命。在各種常用的奈米層片中，石墨烯及其衍生物常被用來製備複合物以增強耐蝕性。因此，我們嘗試在耐蝕塗層中混摻進氧化石墨烯。由於氧化石墨烯在水中的分散性較石墨烯為佳，其官能基亦較易與矽氧烷類親合避免分相。在矽氧烷共聚物中混摻氧化石墨烯，除預期能增強材料本身耐蝕性外，亦能增強材料在溫泉水中的耐熱性，以及延遲泉水滲透至鋼材表面的時間。以模擬的地熱井水進行電化學腐蝕試驗，實驗結果如圖 20所示，經過約一週後才開始量測到腐蝕電流，且皆只有約 10^{-8} A。腐蝕電流維持在 10^{-8} A 約四週，才再度上升至 10^{-7} A。測試在經過一個月後，腐蝕電流仍小於不鏽鋼板的腐蝕電流。試片拆卸後，於試片表面幾乎無法觀察到任何腐蝕的現象(參考 3f)。

(3) 場域現地測試

將本計畫開發之抗蝕材料，施作於測試工件表面，至金山溫泉場域進行現地浸泡測試。在重複的測試中發現，鍍膜本身之抗蝕能力維持良好，然而鍍膜與基底試片之間的接著，成為關鍵問題，在高溫狀態下，疑似因膨脹係數的差異，導致接合介面間產生間隙，所以底材出現腐蝕現象，而鍍膜維持完整。調整基材表面處理方式，在鋁合金表面透過噴砂程序，增加表面粗糙度，再將耐蝕塗層披覆上去，經過相同的浸泡測試時間，可以觀察到覆膜區域完整沒有腐蝕脫落，而對比的無覆膜區域，則被侵蝕近 50%。顯示透過適當的表面處理，

增加基材與塗層間的附著，經能使抗蝕塗層能夠充分發揮其抗蝕能力。

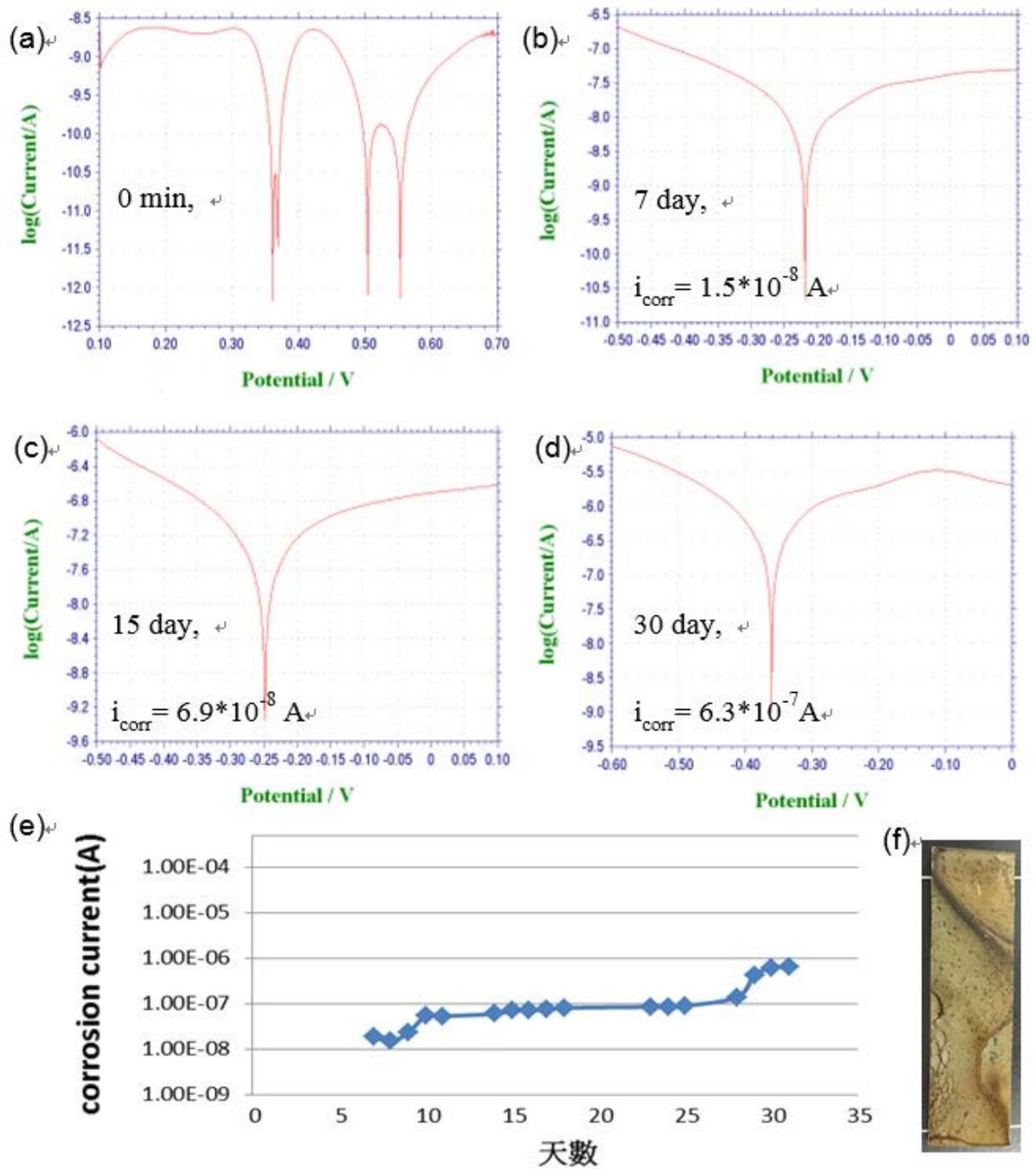


圖 20、電化學腐蝕試驗

經抗蝕塗層處理之試片，在經過一個月時間的地熱模擬環境測試，腐蝕電流仍小於不鏽鋼板的腐蝕電流。試片拆卸後，於試片表面幾乎無法觀察到任何腐蝕的現象。

1.1.2.2 耐酸蝕管材製造技術

酸蝕管材關鍵技術研發主要目的在於開發地熱能管材之關鍵技術，並使能產業化以因應未來地熱市場開發時之國產能量擴展，本年度以地熱井較常使用之寬口徑長管材製程開發為主，技術上藉由耐蝕合金雙層複合管材製程及成本優化、耐蝕先期研究進行關鍵技術評估，產業推動則藉由檢測驗證方法標準及能量建置規劃及國際管材產業技術交流落實國產化推動。

(1) 耐腐蝕結構雙層複合金屬管材技術

本年度計畫研發之耐酸蝕管材料選擇乃依據 FY105 年度耐蝕合金先期研發成果，結果顯示 UNS S32205 (Duplex 2205) 較於他種材料具有相對優異的耐蝕性能，因而選用雙相不銹鋼(作為耐酸蝕複合管的主體材料；在本年度計畫前期，針對雙相不銹鋼合金系列進行合金成分上差異的調查與耐蝕性能的評估。依據地熱環境中高溫強酸之實際應用，列舉出 Duplex 2205、2507、2594 三種雙相不銹鋼進行靜態及動態腐蝕測試。

在複合管內層合金之選用，評估了鎳基合金 1560 及哈氏合金 C276，由於內層管需要藉由粉末離心鑄造的製程來達成。鎳基合金 1560 的熔點為 965°C，哈氏合金 C276 的熔點則為 1380°C，過於接近外層雙相不銹鋼 2205 的熔點，將導致管子在製程中變形，故選擇較合適之內層為鎳基合金 1560。

依現地熱環境之考量，選用內、外層管材料如表 6 所示。依 105 年先期研發成果，在初步材料選用上，選擇 2205 雙相不銹鋼製作外層管、內層管則用鎳基合金 1560，使用離心鑄造製作完成之雙層管(如圖 76 所示)。而在計畫執行過程中，經雙相不銹鋼高溫腐蝕測試後，報告顯示 2507 雙相不銹鋼(又稱超級雙相不銹鋼，UNS S32750)具備更低的腐蝕速

率，即更優異的材料耐蝕性能，進而後續也將 2507 雙相不鏽鋼作為外層管件母材、內層同樣選用鎳基合金 1560，以離心鑄造製程完成雙層合金管。

表 6、雙層管研發之選用材料

| | 材料1 | 材料2 | 材料3 |
|--------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 外管選用材質 | 雙相不鏽鋼2205 (1460-1465°C) | 雙相不鏽鋼2507 (1350°C) | 雙相不鏽鋼2594 (約1400°C) |
| 內管選用材質 | 哈氏合金C276 (1324-1371°C) | 鎳基合金1560 (965°C) | 哈氏合金C2000 (1328-1358°C) |

同時，為確認耐酸蝕複合管母材的可銲接性，也進行了 2205 及 2507 單層管的離心鑄造製作，其 2507 雙相不鏽鋼合金毛胚管之離心鑄造方式與 2205 雙相不鏽鋼管件製程相同，完整毛胚管之製造過程如下段陳述，為確認其實際應用性能，將生產之毛胚管以後加工處理並進行後續加工(尺寸修整、單層管銲接、精密雙層合金離心鑄造...等)及相關之檢測分析。以下為計畫之單/雙層離心鑄造耐酸蝕無縫管件之製作流程圖：

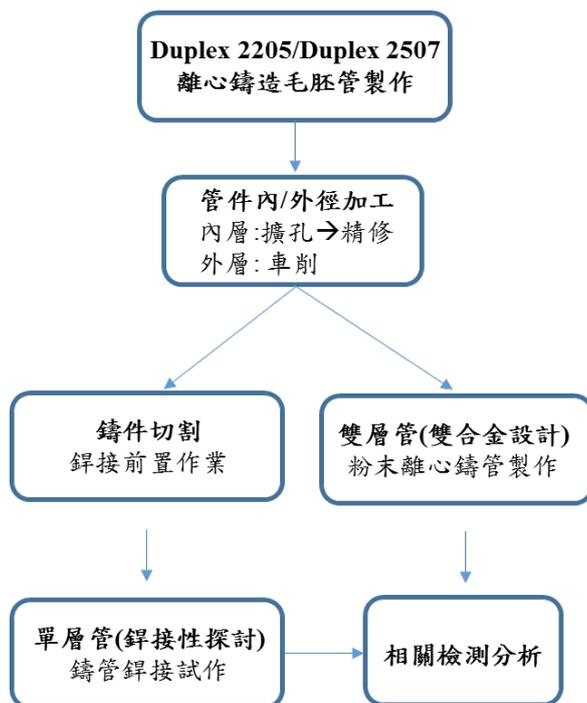


圖 21、管件製作流程圖

A. 2507 雙相不鏽鋼毛胚管製作

依據第三季的研究成果顯示，超級雙相不鏽鋼 2507 所能呈現相對雙相不鏽鋼 2205 更優異的抗腐蝕性能，本計畫中後其也增選該材料作為地熱管件外層材質。在外管離心鑄造的製程中，首先需要進行模具的清潔，如圖 22 所示。模具內部的雜質汙損會直接導致管件成品的外觀的成形不全，甚至造成管件內部結構的缺陷使得品質不佳，故模具的清潔問題首當其衝。



圖 22、模具內部清潔過程

製程中使用高週波爐將材料熔融為合金液，如圖 23 所示。



圖 23、高週波爐熔融材料過程

接著將所選用之材料以高週波爐熔融後，澆鑄至塗有脫模劑且高速旋轉之模具內，澆鑄溫度約為 1620°C ，澆鑄製程期間約花費 45 分鐘完成，如圖 24 所示。



圖 24、將熔融之材料澆鑄至高速旋轉之模具內

澆鑄完成後，保持模具之高速旋轉，並接續噴水至模具上進行降溫，使管件逐漸冷卻成形，如圖 57。



圖 25、降溫過程中，模具保持高速旋轉

在降溫至一定溫度以下，即可開啟模具並將管件取出，如圖 26所示，此時可以對管件之外觀進行檢視，觀察其是否有裂縫等缺陷產生，若產生缺陷，則探討缺陷產生

原因並對製程進行調整。若外觀完整則可進行粗加工，如尺寸修正與去除氧化層，才可進行內層管製作之粉末離心鑄造製程。



圖 26、將降溫後成形完成之管件由模具中取出

B. 二次粉末離心鑄造雙層管製作

粉末離心鑄造乃將欲製作為內層之金屬粉末封入經過除油除鏽之外管內，兩端封口後抽真空至 10^{-3} torr 左右，接著把管材送入加熱爐加熱至預定溫度(熔點以上)，並在高溫下持溫一段時間，而後將管材迅速送至離心機進行離心成形，經冷卻後切除兩端(因封口而有堆積不均情形)，並對內外徑進行二次加工，以得到符合需求之內外管徑，粉末離心鑄造流程如圖 27所示。



圖 27、粉末離心鑄造流程圖

圖 28顯示了粉末離心鑄造的過程，該技術的特點為可以製作薄如 1 mm 的內層合金，並且由於其製程中對管內抽真空的緣故，能在內層高活性超合金離心鑄造的過程中，避免氧化物產生而造成內外管界面無法良好接合。



圖 28、管材加熱後離心成形過程

在本計畫的選材部分，分為兩種外層雙相不鏽鋼合金成分(Duplex 2205 及 2507)並搭配鎳基合金系 1560 作為內層成分表 7 製作成雙層管圖 29。

表 7、雙層管研發之選用材料

| | 材料1 | 材料2 | 材料3 |
|--------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 外管選用材質 | 雙相不鏽鋼2205 (1460-1465°C) | 雙相不鏽鋼2507 (1350°C) | 雙相不鏽鋼2594 (約1400°C) |
| 內管選用材質 | 哈氏合金C276 (1324-1371°C) | 鎳基合金1560 (965°C) | 哈氏合金C2000 (1328-1358°C) |



圖 29、精密離心鑄造製作之雙層管件

C. 單層長管焊接製作評估

另一方面，保留原外層管料製作成單層管，施以兩端口銲接，並用以探討單層管件之可銲接性、內部微結構差異及相關應用基礎性質。其銲接加工流程如下圖 30所示。



圖 30、管件銲接加工流程圖

對於雙相不鏽鋼選用的銲接方式為鎢極惰性氣體保護焊 (Tungsten Inert Gas welding, TIG)，或稱為鎢極氣體保護電弧焊 (Gas Tungsten Arc welding, GTAW)，是以鎢端電

極放電產生電弧進行銲接，銲接時透過保護氣氛的加入隔絕大氣，通常在銲接時需使用接合銲料，能夠較容易的控制接合情形，有效提升銲接品質，是常用於銲接不銹鋼及鋁鎂之非鐵合金管件及薄板的銲接法。本計畫之單層管件銲接所使用之銲料為 DP3 (UNS S31260)熔接材料，由於其主體成分與銲接件相接近，因此大幅降低或消除因子母件的連接材料不匹配所導致接合不全或者影響原雙相不銹鋼母材的耐腐蝕性能(鉻化物析出問題)，因此適用於 2205 及 2507 系列之雙相不銹鋼的 TIG 銲接。其 DP3 熔接材之規範成分與實測成分列表如表 8 所陳列。

表 8、熔接材料 DP3 (UNSS31260) 之成分列表

| DP3 (UNSS31260) | C | Mn | Si | P | S | Cu | Ni | Cr | Mo | N |
|--------------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------|--------------|
| 規範值 | 0.03 max | 0.5- 2.0 | 0.9 max | 0.03 max | 0.03 max | 0.75 max | 7.5- 9.5 | 21.5- 23.5 | 2.5- 3.5 | 0.08- 0.2 |
| 實驗值 | 0.015 | 1.69 | 0.39 | 0.019 | 0.005 | 0.076 | 8.7 | 22.83 | 3.14 | 0.157 |

圖 31 為經由 TIG 銲接後的雙相不銹鋼單層管，可以看到兩端口接合處有明顯的銲接痕跡且接合完整，後續將進行相關缺陷檢測及實驗，以探討其管材基礎性能。



圖 31、經 TIG 銲接後之雙相不銹鋼管

在銲接管件的缺陷檢測上採用非破壞結構性檢測 (Nondestructive-Testing, NDT) 的 γ -射線照相檢測技術 (又稱 γ -RT) 進行連續性物質之間的缺陷製造加工上可能的瑕疵。利用具穿透能力的射線穿透被檢物，再利用底片或螢幕等介質產生影像，其與 XRD (X-Ray Diffraction) 不同的是，射線來源為不穩定同位素之衰變產生高能量電磁波，可適用絕大多數金屬材質，而且可以容易判讀瑕疵種類及其形式，是常用銲道檢測分析的方法。下圖 32 為 γ -RT 之檢測方法。而在單層銲接管經 γ -RT 檢測結果顯示並無判定缺陷存在於 TIG 銲接部位，其檢測結果如圖 33 所示。

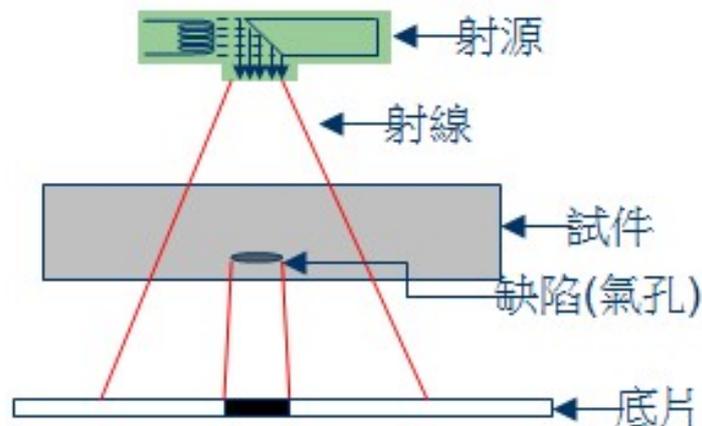


圖 32、 γ -RT 之檢測示意圖

合金等使用於耐酸蝕地熱管件材料之標準化學成份檢測驗證方法，提供未來國內主管機關、生產廠商參考。以確保生產之管材化學元素含量是否符合規範值範圍，使管材可達到預期功能性，如強度或防蝕性能。

化性成分檢測驗證方法目前制定方法為：

- a. 感應耦合電漿放射光譜(ICP-OES)分析儀進行 Si、Nb、Ni、Mn、Mo、Cr、S、P、Cu、Co、B、Fe 等元素分析。
- b. 碳、硫/氮、氧分析儀進行 C、S、N、O 等元素分析。

依據國際化性成分檢測標準規範與其內容如表 9 所示，後續成分檢測亦會依照相關規範依據與方法進行。

表 9、國際化性成分檢測標準規範

| 規範號碼 | 規範內容 |
|------------|--|
| ASTM E1479 | Standard Practice for Describing and Specifying Inductively-Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometers |
| ASTM E1019 | Determination of Carbon, Sulfur, Nitrogen, and Oxygen in Steel and in Iron, Nickel, and Cobalt Alloys |
| ASTM A751 | Standard Test Methods, Practices, and Terminology for Chemical Analysis of Steel Products |
| ASTM E50 | Practices for Apparatus, Reagents, and Safety Considerations for Chemical Analysis of Metals, Ores, and Related Materials |
| ASTM E60 | Practice for Analysis of Metals, Ores, and Related Materials by Spectrophotometry |
| ASTM E350 | Test Methods for Chemical Analysis of Carbon Steel, Low-Alloy Steel, Silicon Electrical Steel, Ingot Iron, and Wrought Iron. |
| ASTM E353 | Test Methods for Chemical Analysis of Stainless, Heat-Resisting, Maraging, and Other Similar Chromium-Nickel-Iron Alloys |
| ASTM E354 | Test Methods for Chemical Analysis of High- Temperature, Electrical, Magnetic, and Other Similar Iron, Nickel, and Cobalt Alloys |

B. 地熱管件拉伸試驗、硬度試驗、非破壞試驗及尺寸量測

依第一分項成果訂定出以雙相不鏽鋼 2205 做為管件外層材料及管件內層材料鎳基合金 C276，進行離心

鑄造方式產生雙層耐酸蝕地熱管件，針對國際管件拉伸試驗、硬度試驗、非破壞試驗及尺寸量測檢測驗證方法進行蒐集彙整分析，並依此為依據制定出雙相不鏽鋼、鎳基合金等使用於耐酸蝕地熱管件材料之標準拉伸試驗、硬度試驗、非破壞試驗及尺寸量測檢測驗證方法，提供未來國內主管機關、生產廠商參考。以確保生產之管材機械性質、內外層缺陷及尺寸是否符合規範值範圍，使管材可達到預期功能性，如強度及完整度。

管件拉伸試驗、硬度試驗、非破壞試驗及尺寸量測檢測驗證方法目前制定方法為：

- a. 拉伸試驗利用萬能試驗機對雙層管件及單層管件(雙相不鏽鋼 2205)進行測試。
- b. 硬度試驗利用洛氏硬度試驗機對單層管件進行試驗。
- c. 非破壞試驗以超音波檢測(Ultrasonic Testing)進行檢測，將雙層管件進行加工產生人工缺陷，再進行超音波測厚及瑕疵判別。
- d. 管件尺寸量測將進行管長、管徑及管厚進行量測。

依據國際管件拉伸試驗、硬度試驗、非破壞試驗及尺寸量測檢測標準規範與其內容如下表表 10所示。

表 10、國際管件拉伸試驗、硬度試驗、非破壞試驗及尺寸量測檢測標準規範

| 規範號碼 | 規範內容 |
|-------------------|---|
| ASTM E8 | Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. |
| ASTM A370 | Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. |
| ASTM E18 | Standard Test Methods of Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials. |
| JIS Z2245 | Rockwell hardness test – Test method |
| ASTM E213 | Standard Practice for Ultrasonic Testing of Metal Pipe and Tubing |
| CNS 11224 | 脈波反射式超音波檢測儀系統評鑑 |
| CNS 14135 | 金屬材料超音波測厚法 |
| CNS 3-4、B1001-4 | 工程製圖(幾何公差) |
| CNS 3-16、B1001-16 | 工程製圖(幾何公差-檢測原理與方法) |

C. 管材開發檢測

(A) 管件真直度測試

管件製造完成後依照產品規範 API5CT 的規範，需進行管件的直度測試，以近期製作之 2m 雙層複合管件(外管雙相不鏽鋼 2205，內管鎳基合金 1560)進行測試，直度其檢測方法主要以目視檢測管件之平直度以及利用直線和直尺量測彎曲長度，圖 34 為檢測方法示意圖，2m 管件經目視檢測並無彎曲或凹處，再以直線輔助量測確定為完整，達到規範所規定之允收標準。

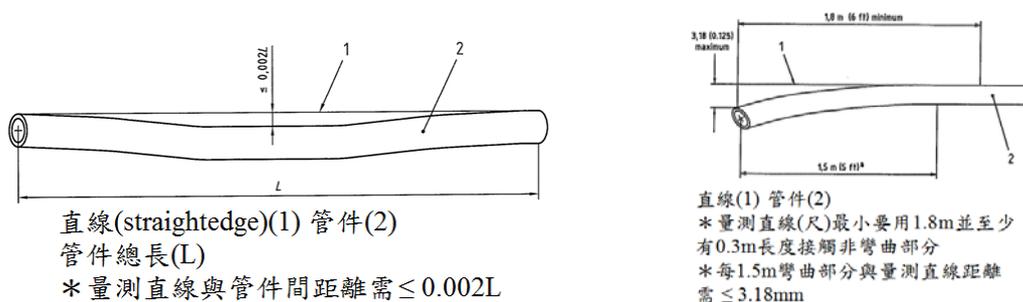


圖 34、管件之真直度測試檢測方法示意圖

將外徑約 151mm 之直度棒套入欲量測之雙層管件

中，如圖 35所示，以確認雙層管內層平直度，按此順序共量測 5 次，其結果如表 11所示，偏差皆小於 0.5mm，代表完成之雙層管件真直度已達本計畫之設定值。

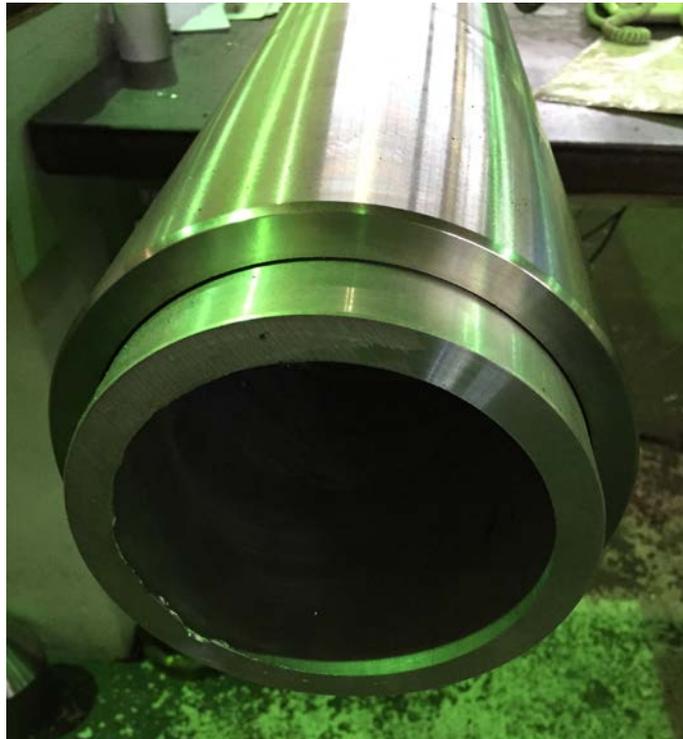


圖 35、套入直度棒進行真直度量測

表 11、真直度量測之結果

| 真直度量測值(mm) | | | | |
|------------|-----|------|------|------|
| 0.47 | 0.4 | 0.48 | 0.49 | 0.48 |

(B) 經氮化處理後之硬度試驗

依第二季管件硬度測試未達規範允收值，因此藉由氮化處理希望能提升管件表面硬度，圖 36為管件部分經裁切後進行氮化處理，經氮化處理後再將其裁切成硬度試驗試片如圖 37，表 12為第二季管件硬度

試驗之結果，表 13 為此次經過氮化處理後硬度測試結果，其中可發現第二季管件原本未能達到硬度值 HRC 標準，而經由氮化處理後試片硬度明顯有所提升，可達到硬度 25.5 HRC。

據第二季報告之陳述，完成之雙層管件硬度測試未達規範之允收值(表 12)，換算成 HRC 僅有 19.6；為提升表面強度，故藉由表面處理來提升硬度。因此採用氮化處理來強化表面硬度。

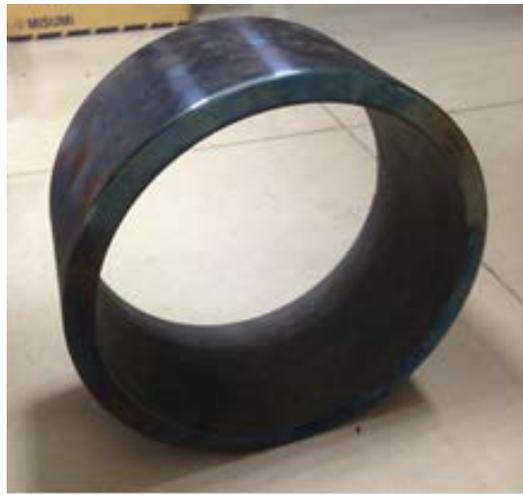


圖 36、經氮化處理後之 10cm 部分管件



圖 37、經裁切後之硬度測試試片

表 12、雙相不鏽鋼硬度試驗之實際量測結果

| 2205允收值 (HRC) | 硬度試驗值 | | | | | HRC |
|------------------|-------|------|------|------|------|------|
| | HRB | | | | | |
| < 30 | 96.9 | 97.0 | 97.6 | 99.1 | 97.9 | 19.6 |

氮化處理為表面處理技術之一種，主要應用於含鋁、鉻、鉬等元素之材料，藉由氮原子的擴散與材料形成 FeN、CrN 及 AlN 等氮化層來提高表面硬度。

圖 36與圖 37為裁切 10cm 之部分管件，以利進行氮化處理，及處理後由其中切取一部分進行硬度測試。表 13為硬度測試結果，與先前可發現經氮化處理後試片其硬度明顯有所提升，而圖 38及圖 39為氮化處理之截面積金相、表面氮化層之金相。由金相圖中可得知，氮化處理後呈現之金相與原先雙層件金相並無差異。

表 13、經氮化處理後外層管件硬度試驗之量測結果

| Duplex 2205 硬度試驗值(HRC) | | | | |
|------------------------|------|----|------|------|
| 25.5 | 24.6 | 25 | 24.6 | 24.1 |

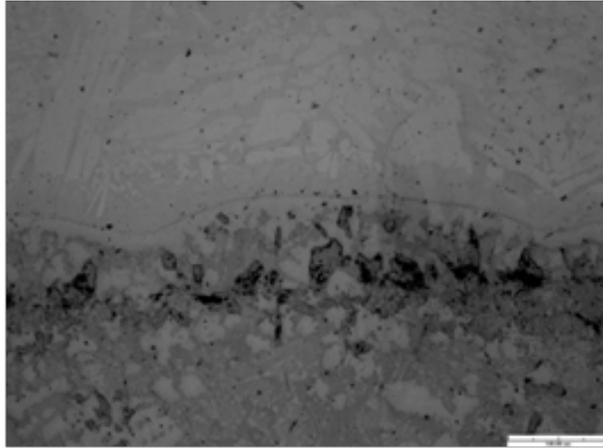


圖 38、氮化處理後之截面積金相圖



圖 39、表面氮化層之金相圖

有鑑於成形管件後之 2205 雙相不銹鋼與設定目標之硬度值尚有差異，且若進行氮化等表面處理將墊高製作成本(約 2 萬/m)，與本計畫原意有所偏離。故後續依據高溫腐蝕實驗成果，將選用 2507 雙相不銹鋼取代 2205 雙相不銹鋼做為外層管件材料(2507 雙相不銹鋼最大理論硬度值為 32 HRC)。

針對雙層地熱管件進行結合面之金相及顯微組織檢測，透過光學顯微鏡進行觀測，觀測結果如圖 38 所示，可以觀察到在結合面存在明顯的介面區，而在

雙相介面側邊出現些微細孔，其可能原因為雙相不鏽鋼屬於(FCC/BCC 結構雙相)與鎳基合金 1560 (FCC 結構)進行粉末離心鑄造時因晶體結構強度差異所產生之界面能，而在雙合金接合區間呈現出明顯交界，同時第二次離心鑄造所導致析出強化型之沃斯田鐵組織產生微幅偏析，因而有微細孔的生成。未來於雙合金管製造部分將會以此依據再進行內層材料製程參數的調整，以達內層材料高均勻性分佈，強化管材整體耐酸蝕性能。

同樣地在離心鑄造後冷卻成形 2507 雙相不鏽鋼之部分管件取樣，後經由 1080 °C-2 小時固溶化處理，其試片之硬度測試結果如表 14所示，固溶化處理是強化材料基底組織的方式之一，能夠提升雙相不鏽鋼內部沃斯田鐵對特定強化或功能元素相的溶解度，以達到穩定結構使管材性能優化的效果。其 2507 雙相不鏽鋼測試硬度可達到 30.6 HRC，已然達到原訂允收標準(>25 HRC)之硬度水平，也說明選擇 2507 取代 2205 雙相不鏽鋼作為管外層，能夠提高其管件表面強度並且有效解決氮化處理的製程成本提高之問題。若經由固溶化處理來強化管材性能，需特別留意其固溶化的溫度不可低於 950 °C，且持溫時間不可過長以避免雙相不鏽鋼於該溫域下致使基底界金屬相析出(通常為硬脆特性)或者大量的鉻化物析出(σ 相)將嚴重影響管件的耐蝕特性。

表 14、2507 雙相不鏽鋼管件硬度試驗之量測結果

| Duplex 2507 硬度試驗值(HRC) | | | | | avg. |
|------------------------|------|------|------|------|------|
| 27.0 | 26.1 | 26.8 | 26.6 | 30.6 | 27.4 |

(C) 水壓試驗

針對國際管件水壓試驗驗證方法進行蒐集彙整分析，並依此為依據制定出雙相不鏽鋼使用於耐酸蝕地熱管件材料之標準水壓試驗檢測驗證方法，提供未來國內主管機關、生產廠商參考。以確保生產之管材於水壓試驗時能符合規範值範圍，使管材可達到預期功能性，如強度或完整度。

水壓試驗驗證目前制定方法為：

- a. 水壓試驗值計算:水壓測試壓力值設定依循規範 ASTM A999 Standard Specification for General Requirements for Alloy and Stainless Steel Pipe，方程式為 $P = 2St/D$ ，其中 P:水壓測試壓力 Mpa (psi)、S:1/2 的管件降伏強度、t:管壁厚度 mm (in.)、D:管外徑 mm (in.)，將本試驗管件(管厚:11.7mm、管徑:178.2mm)帶入方程式，P(水壓壓力)得到 27.90Mpa，但因規範中規定管外徑 $> 88.9\text{mm}$ ，水壓測試壓力最大值 $\leq 19.3\text{Mpa}$ ，故以 19.3Mpa($19.3\text{Mpa} \doteq 2800\text{Psi} \doteq 196.81\text{kgf/cm}^2$)做為測試標準。
- b. 試驗前加工:將管件的兩端管口進行銲接，因水壓試驗時需在管中注入水，所以一端的管口需留直徑 1 吋的圓形孔並攻牙產生螺紋，以利後續與加壓管線連接。
- c. 管件試驗前檢查:管件兩端銲接加工完成後，從管件一端注入水並同時觀察銲接處是否完整無洩漏，完成後鎖上加壓管線，加壓管線一端與管件連接後，另一端與高壓液壓氣動系統及高壓加壓機連結。

d. 管件進行試驗:完成水壓測試系統建置後，即進行水壓試驗，慢慢加壓至 196.81kgf/cm^2 (約取 200kgf/cm^2)，到達此壓力時按下碼表，持壓 5 秒以上，管件無任何洩漏或爆破即為合格圖 40。

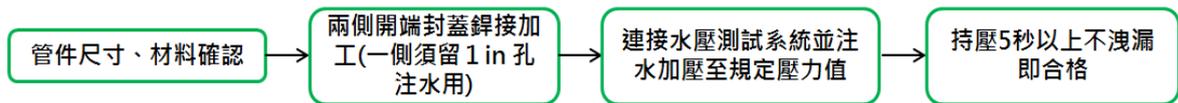


圖 40、水壓試驗流程圖

依據水壓試驗檢測規範，針對地熱管件進行水壓試驗：

利用水壓測試系統與依規範計算出之壓力值對地熱管件進行水壓試驗，檢測管件之有無洩漏甚至爆破之情形，實際試驗過程與結果如圖 41圖 42、圖 43 所示。由照片結果可以證明，管件並無洩漏及爆破之情形產生。



圖 41、經加工銲接後之管件



圖 42、依序為高壓液壓氣動系統、高壓加壓機、壓力計和碼表(已達到試驗標準 $196\text{kg}/\text{cm}^2$ 、持壓五秒以上)



圖 43、試驗完成後之管件本身及兩端並無洩漏及爆破之情形發生

(D) 腐蝕試驗

為達到耐酸蝕管件開發，針對國際管件腐蝕試驗檢測驗證方法進行蒐集彙整分析，並依此為依據制定出雙相不鏽鋼用於耐酸蝕地熱管件材料之標準高溫腐蝕試驗驗證方法，提供未來國內主管機關、生產

廠商參考。以確保生產之耐酸蝕管材是否符合規範值範圍，使管材可達到預期功能性，如抗腐蝕性及抗結垢性。此次試驗將分為兩種腐蝕方式進行，分別為靜態腐蝕浸泡試驗和動態腐蝕浸泡試驗，前者將模擬大屯火山腐蝕環境中的地熱水質作參考，配置出混合腐蝕液；後者將利用金山酸性溫泉井進行實地腐蝕試驗 圖 44，以下將針對兩種不同試驗進行試驗方法與結果之說明。

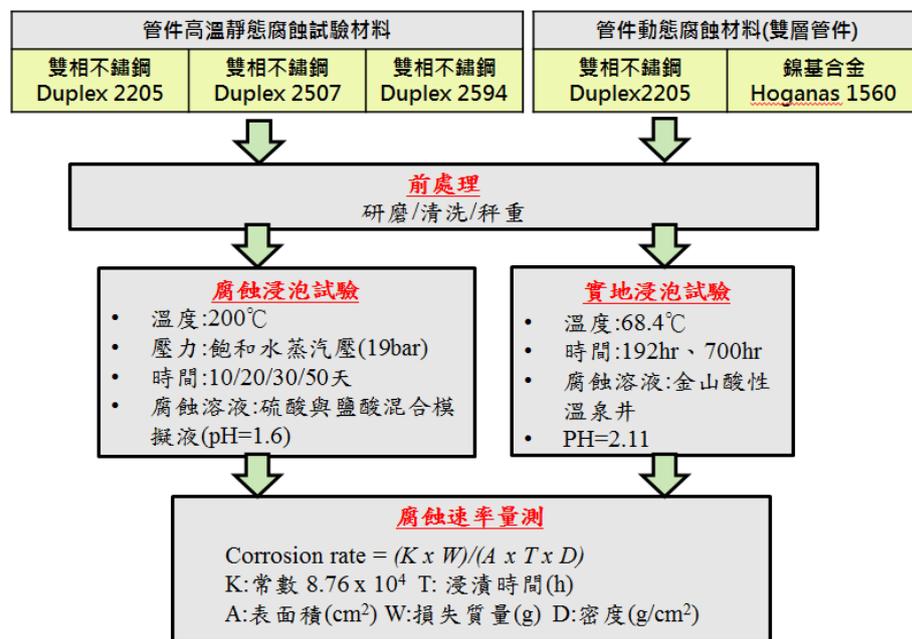


圖 44、地熱耐酸蝕管件腐蝕試驗流程圖

管件高溫靜態腐蝕試驗檢測驗證之試驗方法：

- a. 測試三種雙相不鏽鋼(Duplex2205、Duplex2507、Duplex2594)材料以及兩種鎳基合金(C-276、1560)材料對於酸性大屯火山模擬腐蝕環境中的耐蝕性，利用大屯火山地熱水質作參考，配製硫酸與鹽酸混合模擬液，氯離子濃度 800 ppm、硫酸根離子 1140 ppm，配製出混合液 pH=1.6，環境溫度為 200°C。

- b. 將欲試驗之試片與腐蝕溶液，利用高壓釜(飽和蒸汽壓反應器及鐵氟龍內罐)和烘箱達到高溫高壓的腐蝕條件，進行 10、20、30、50 天之高溫腐蝕試驗。
- c. 依腐蝕進行天數，將試片取出量測其重量和面積，(Duplex 2205、Duplex 2507、Duplex 2594、C276 與 1560。前四種尺寸大小為 30 * 15 * 10 mm，1560 試片尺寸為 20*10*5 mm)，計算其腐蝕速率，腐蝕速率方程式為 $\text{Corrosion Rate} = (K \times W) / (A \times T \times D)$ ，其中 K = 單位常數 K: 8.76×10^4 8.76×10^4 (所選擇單位的常數帶入計算，本實驗使用單位 mm/y)、T = 浸漬時間 (hour)、A = 試驗面積 (cm²)、W = 損失重量 (g)、D = 試片密度(g/ cm²)。

試驗結果：

- a. 管件高溫靜態腐蝕試驗:五種地熱管件內外層材料高溫腐蝕試驗之腐蝕速率結果如表 15，其腐蝕速率的時間變化結果如圖 45。在所有合金中，以 C-276 為腐蝕速率最低，雙相不鏽鋼中則 Duplex 2954 的腐蝕速率最低，其次為 Duplex 2507，再者 Duplex 2205；其中 1560 較為不同，在圖 45 中發現 1560 腐蝕速率為所有合金裡為最快，但由於 1560 鎳基合金的樣本尺寸較其他試片小，其溶液體積與表面積的比值較其他實驗組高，造成溶質比例偏低會影響溶解速率。以時間與腐蝕速率的變化圖中可看出在只浸泡腐蝕液十天下雙相不鏽鋼和鎳基材料其腐蝕速率因材料電位差的關係皆不同且偏高，原因在於試片剛開始腐蝕試驗時並沒有氧化層的生成，導致試片會被腐蝕液腐蝕，實驗持續進行中腐蝕速率為下降的狀態，推測與其氧化層形成有密切

的關係。目前材料的選擇關注於其耐用壽命，利用腐蝕速率即可估算其年限後的腐蝕量，腐蝕深度越少的即為越佳選擇材料。從實驗結果中可知三種材料對於酸性腐蝕而言皆有良好的抗性，本實驗中雙相不鏽鋼以 Duplex 2594 最佳，而鎳基合金 C-276 優於 1560。

表 15、3 種雙相不銹鋼經不同天數所計算出之腐蝕速率

| 腐蝕速率 | Duplex 2594 | Duplex 2507 | Duplex 2205 | C-276 | 1560 |
|------|-------------|-------------|-------------|--------|--------|
| 1天 | | 0.1976 | 0.3016 | | |
| 5天 | | 0.0645 | 0.2142 | | |
| 10天 | 0.0617 | 0.0409 | 0.0984 | 0.0940 | 0.3222 |
| 20天 | 0.0265 | 0.0274 | 0.0806 | 0.0432 | 0.1481 |
| 30天 | 0.0103 | 0.0209 | 0.0469 | 0.0471 | 0.1616 |
| 50天 | 0.0108 | 0.0148 | 0.0152 | 0.0247 | 0.0847 |

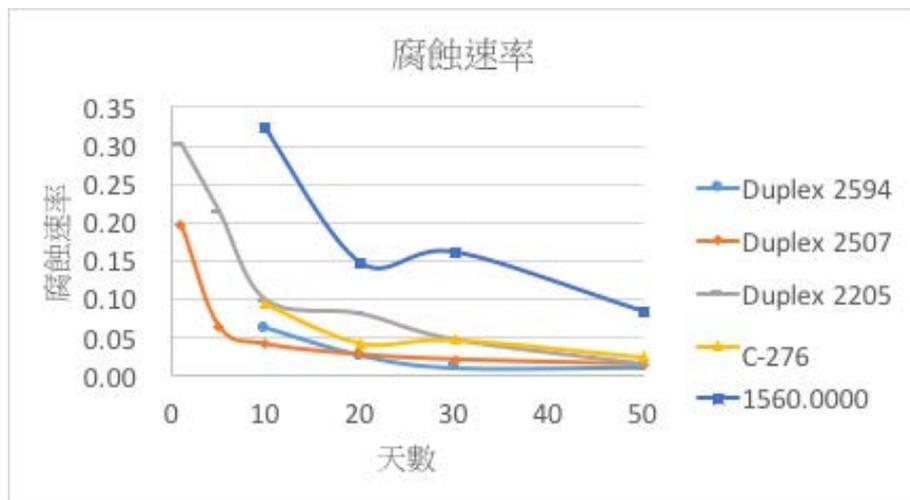


圖 45、3 種雙相不銹鋼之腐蝕速率變化圖。

- b. 從目前管件高溫靜態腐蝕試驗中得知試片表面的氧化層生成與腐蝕速率有密切關係，隨著腐蝕天數的增加，氧化層生成速度與緻密度將影響材料的腐蝕速率和抗腐蝕能力，而後續將進行 SEM 金相組織觀察及 EDS 氧化層物質分析，將結果與腐

蝕速率進行比對，確認是否與氧化層的生成相互輝映。

- c. 本試驗將取腐蝕 50 天後的材料進行 SEM 觀察。取出後的樣本表面已有鏽蝕、斑駁或脫落，為避免切割過程表面氧化(或沉澱層)在切割過程脫落，必須進行灌膠或冷鑲埋處理，才能進行切割與後續的拋光動作。切割後的材料將進行 SEM 和 EDS 分析。由於 SEM 影像灌膠的部分會有嚴重的放電現象，因此靠近膠的邊緣影像模糊，但金屬試體部分影像較為清楚。

在 SEM 影像下，Duplex 2205 腐蝕剖面上明顯被侵蝕且有生層物生成(圖 46)，從表面腐蝕情況判斷侵蝕並不均勻，形成大量凹坑和點腐蝕的情形。表面腐蝕最深處約可達 $20\mu\text{m}$ 。若未來管件使用一年情況下，則點腐蝕問題會更加嚴重。

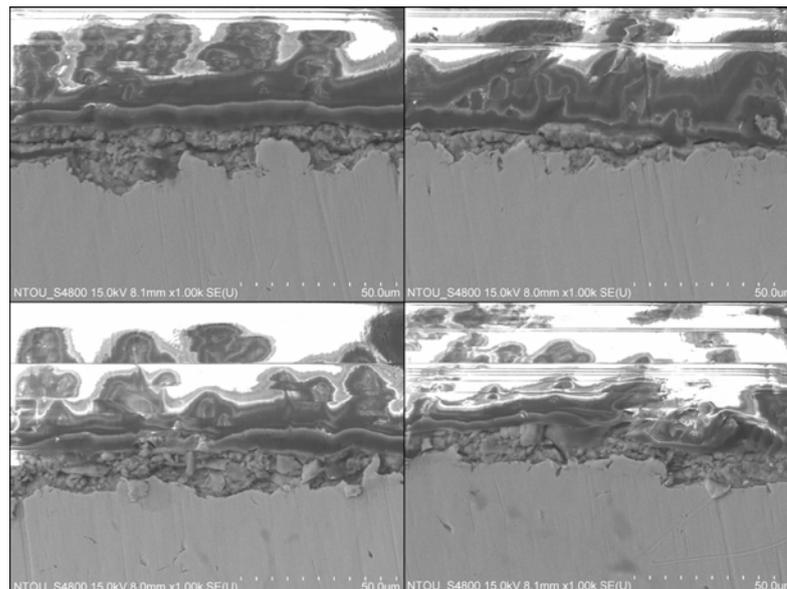


圖 46、Duplex 2205 腐蝕試片剖面表面型態 SEM 影像 (上方為鑲埋膠)

為了進一步分析成分組成的變化，首先我們針對 SEM 視野下進行全範圍 EDS 成分掃描，掃描後的結果如圖 47 所示，顯示此雙相不銹鋼材質主要組成依序為 $Fe > Cr > Ni > Mo \approx Mn$ 。氧元素大量分佈於上方被腐蝕的部分，代表腐蝕區存在氧化物。Fe 元素則相反在腐蝕處較稀少，在基材部分較多，O 元素增加 Fe 元素相對減少。Cr 元素則均勻分佈在腐蝕處與未腐蝕處。我們採用單點分析從表面的生成層 (S1、S2、S3、S4) 依序分析到材料基材 (S5、S6) 並將各點的原子數百分比由表面至材料基材作曲線圖，如圖 47 所示。由分析結果得知材料內的 Fe 元素腐蝕最快，少量含量的 Ni 元素也幾乎腐蝕，相對而言 Cr 元素較能抗酸蝕並殘留於表面，且在雙相不銹鋼表層形成次生氧化鉻層。O 元素和 Fe 元素含量的明顯變化可以用來判斷腐蝕層範圍。

從 SEM 觀察 1560 腐蝕試片剖面影像，如圖 48 所示，與其他材料的腐蝕行為有些不同，從 SEM 影像上明顯看到同時有均勻與局部腐蝕的存在，顯示材質本身結構的不均勻性甚大。其腐蝕的程度也較其餘的嚴重，內部腐蝕擴散已達 $200\mu m$ 。前面提到關於腐蝕溶液與材料表面積的比值有關係，此次 1560 材料裁切體積較小，故比表面積相對較大與其他材料的比值高出許多。在 EDS 分析中，1560 腐蝕試片剖面具有一定的深度差異，且內部腐蝕嚴重，顯示主要原因可能為材質結構的不均勻性。

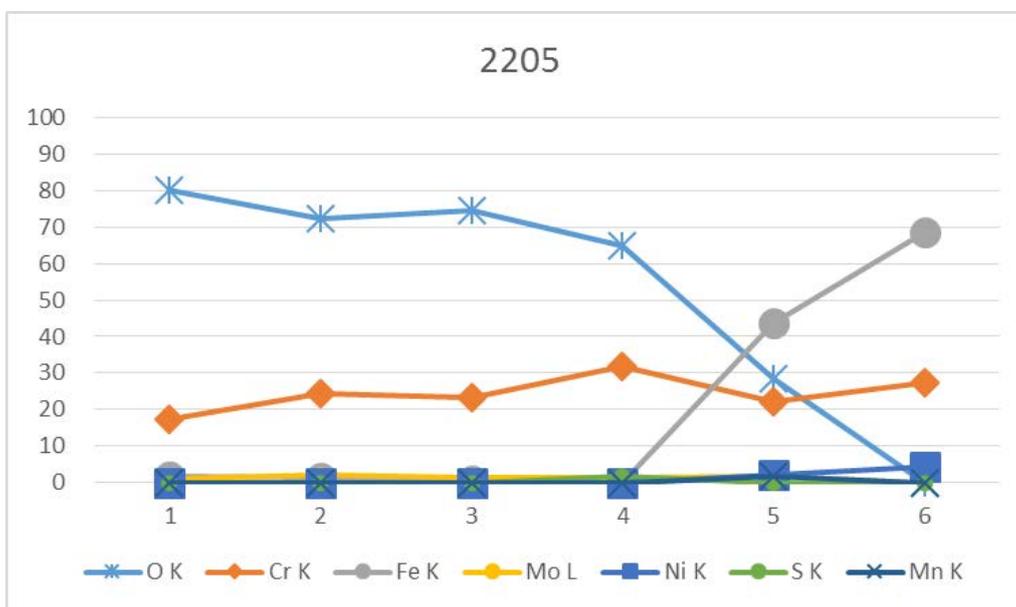
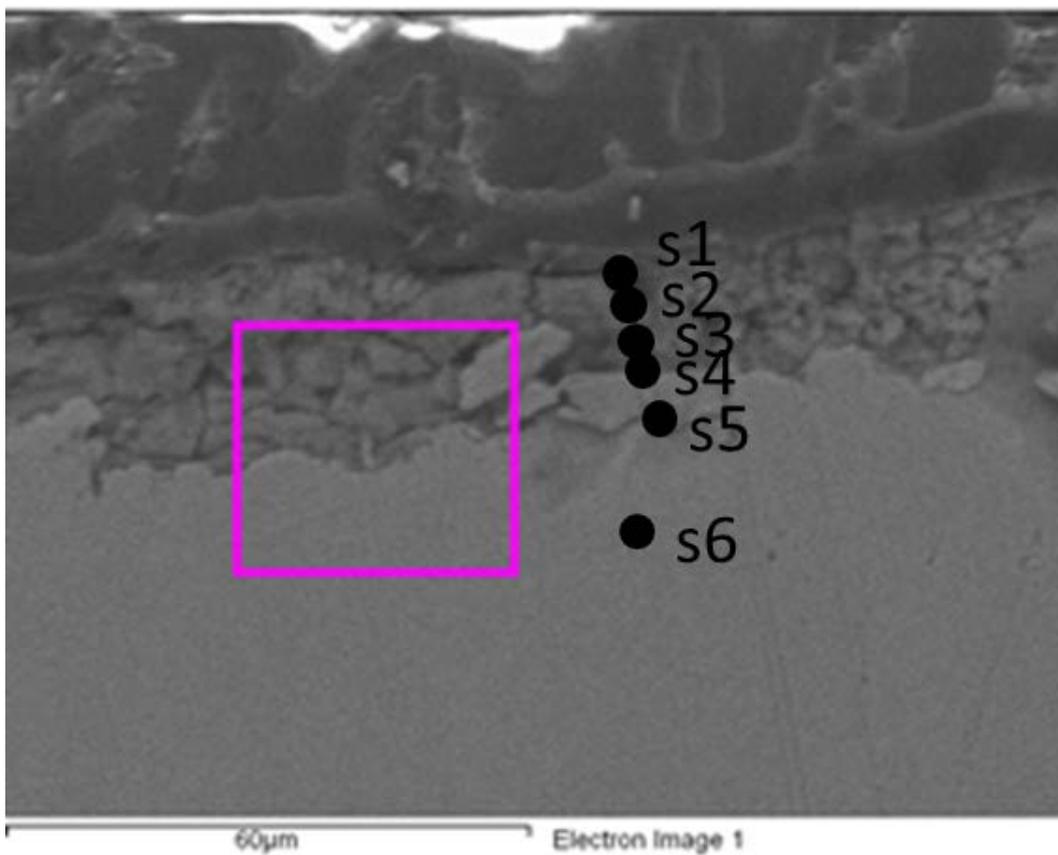


圖 47、Duplex 2205 腐蝕剖面取樣點 S1-S6 元素百分比變化

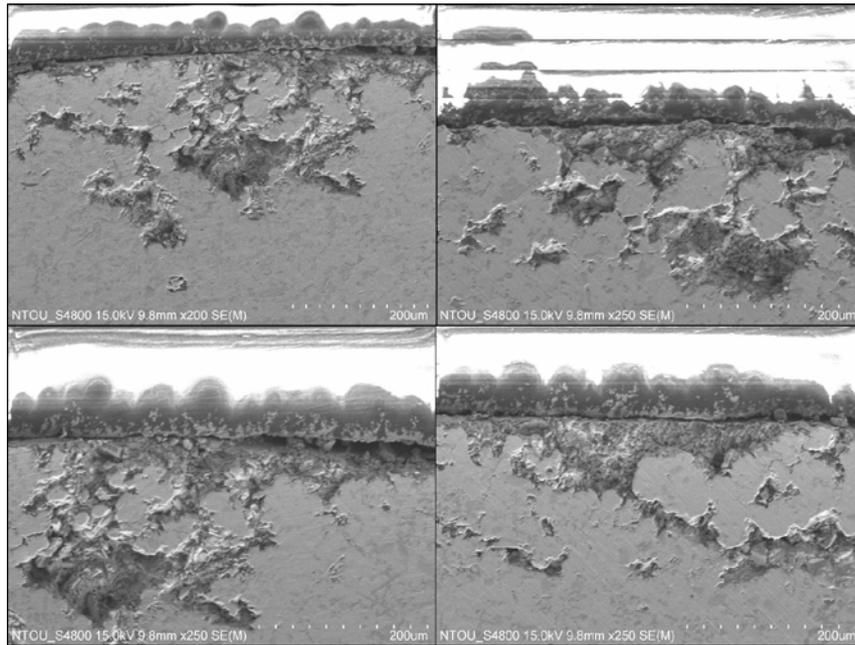
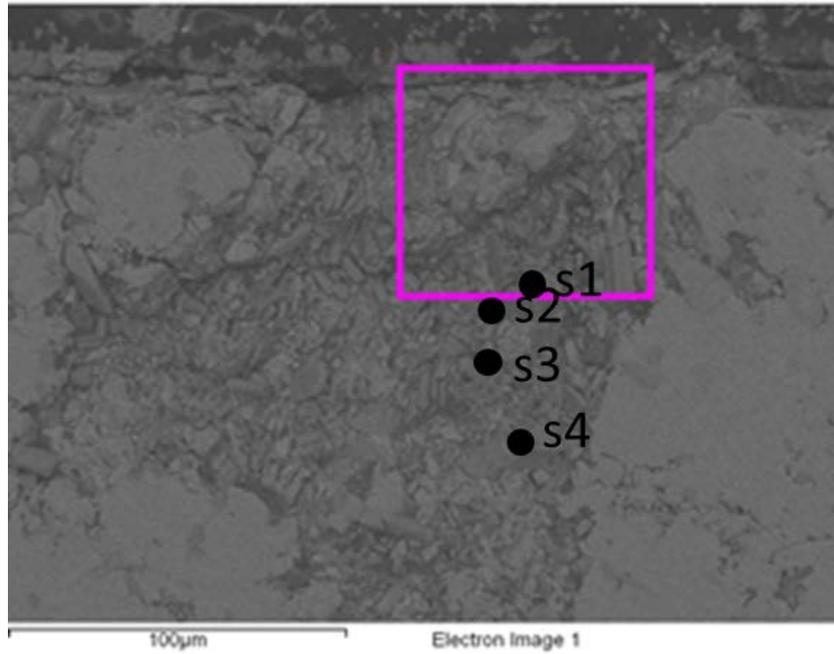


圖 48、1560 腐蝕試片剖面表面型態 SEM 影像(上方為鑲埋膠，導電度
差易累積電荷使影像模糊)

在掃描材料內部被腐蝕處(S1、S2、S3、S4)如圖 49 所示，也發現元素的分布相當不均勻，由於表面凹凸不平導致在較深的地方，數值接收較為困難，從表層到內部層分析也無法分析出可信的數據。檢視單點分析結果，原子百分比分析結果，顯示整體而言此合金成分差異很大，金屬含量約為 $Cr > Ni > Si > Fe$ 元素，添加 Si 元素和少量的 Fe 元素，應為鎳鉻合金。點分析結果呈現 Ni 元素與 Si 元素和 O 元素同時增加，而 Cr 元素含量則相對減少，表示材料本身結構與其他材質差異很大，可能意味材料來源添加含鎳的矽酸鹽礦物。而 Ni 元素與 Cr 元素的不均勻性和相分離問題可能造成此材料不均勻腐蝕發生，因此 1560 不論在重量損失的腐蝕速率和 SEM 觀察的結果都顯示對於抗酸蝕的能力較差。



| 1560 | S1 | | S2 | | S3 | | S4 | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Element | Weight% | Atomic% | Weight% | Atomic% | Weight% | Atomic% | Weight% | Atomic% |
| C K | 4.83 | 16.52 | | | 19.84 | 40.82 | 5.45 | 20.02 |
| O K | 4.75 | 12.21 | | | 20.24 | 31.26 | | |
| Cr K | 60.4 | 47.74 | 73.11 | 75.43 | 4.91 | 2.33 | 92.29 | 78.29 |
| Fe K | | | | | 1.38 | 0.61 | | |
| Ni K | 26.51 | 18.55 | 26.89 | 24.57 | 48.21 | 20.29 | 2.26 | 1.69 |
| Si k | 2.62 | 3.83 | | | 4.59 | 4.03 | | |
| S K | 0.9 | 1.15 | | | 0.84 | 0.65 | | |

圖 49、Duplex 2205 腐蝕剖面取樣點 S1-S6 元素百分比變化

管件動態腐蝕試驗檢測驗證之試驗方法：

- a. 試驗試片由地熱管件加工裁切取下，管件內層材料為鎳基合金 Hoganas 1560、管件外層材料為雙相不銹鋼 2205，在金山酸性溫泉井進行動態腐蝕試驗，採兩組不同浸泡腐蝕時數(192 小時、700 小時)來進行比較。
- b. 表 16顯示金山酸性溫泉井其水質特性為 pH=2.11、溫度 68.4°C、氯離子濃度 5861ppm、硫酸根離子 1852ppm。
- c. 試驗前後分別量測試片重量及金相觀察，腐蝕試驗後依照試片尺寸及重量損失計算出腐蝕速率，並觀

察雙層管件試片內外層材料腐蝕情形。

表 16、金山溫泉井相關資料

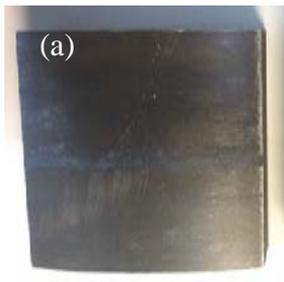
| 相關參數 | 數值 |
|--------------------------------|-------|
| 溫度(°C) | 68.4 |
| 導電度($\mu\text{s}/\text{cm}$) | 18420 |
| 總固溶體(mg/L) | 9210 |
| pH | 2.11 |
| 氧化還原電位(mV) | 93 |

動態腐蝕試驗檢測驗證之試驗結果：

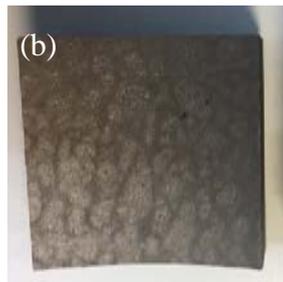
管件動態腐蝕試驗:第一組試片經 192 小時浸泡腐蝕後從井裡取出，為確認腐蝕程度，本試驗利尼龍刷將氧化析出物清洗刷除，並放置 80°C 烘箱乾燥 1 小時後秤重及觀察金相，第一組試片其腐蝕速率結果如表 17，其金相觀察如圖 50~圖 52，從結果看出有大量氧化物析出，而外層(雙相不鏽鋼 2205)被腐蝕較嚴重也是氧化層主要析出來來源，目前試驗階段以管件內層(鎳基合金 1560)抗蝕性較高，待第二組試片腐蝕完成(700 小時)作後續觀察；第二組試片浸泡 700 小時後取出，一樣試片經前處理後，進行秤重及金相觀察，而為了避免電偶腐蝕現象產生，試片以非金屬材質之尼龍繩固定，故試片上有明顯之固定繩結顯示，第二組試片其腐蝕速率如表 18，其金相觀察如圖 53~圖 54。

表 17、第一組試片(192hr)腐蝕速率表

| 試驗前重量 | 試驗後重量 | 總浸泡時數 | 重量損失 | 腐蝕速率 |
|----------|----------|-------|--------|-----------|
| 286.017g | 278.244g | 192hr | 7.733g | 354.6g/yr |



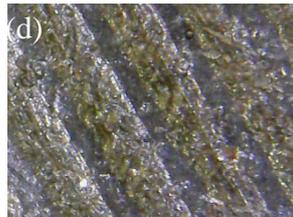
試驗前試片外層



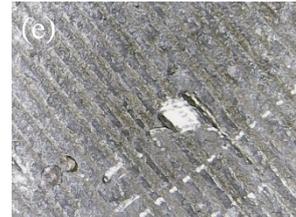
試驗前試片內層



試驗前試片側面



試驗前外層(高倍率)



試驗前外層(低倍率)



試驗前內層(高倍率)



試驗前內層(低倍率)

圖 50、(a)~(f)為第一組試片腐蝕前試片表面金相觀察

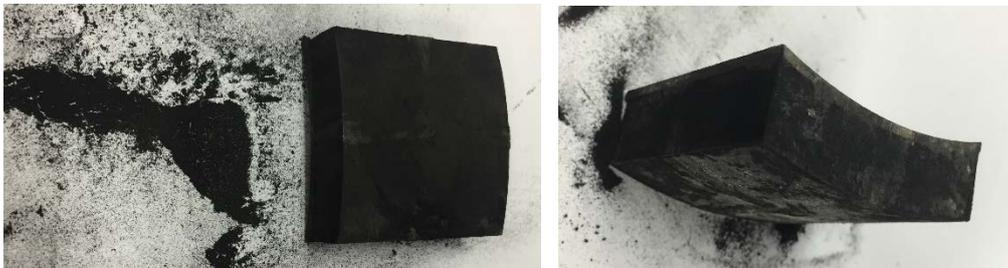


圖 51、腐蝕後試片取出後未清理前

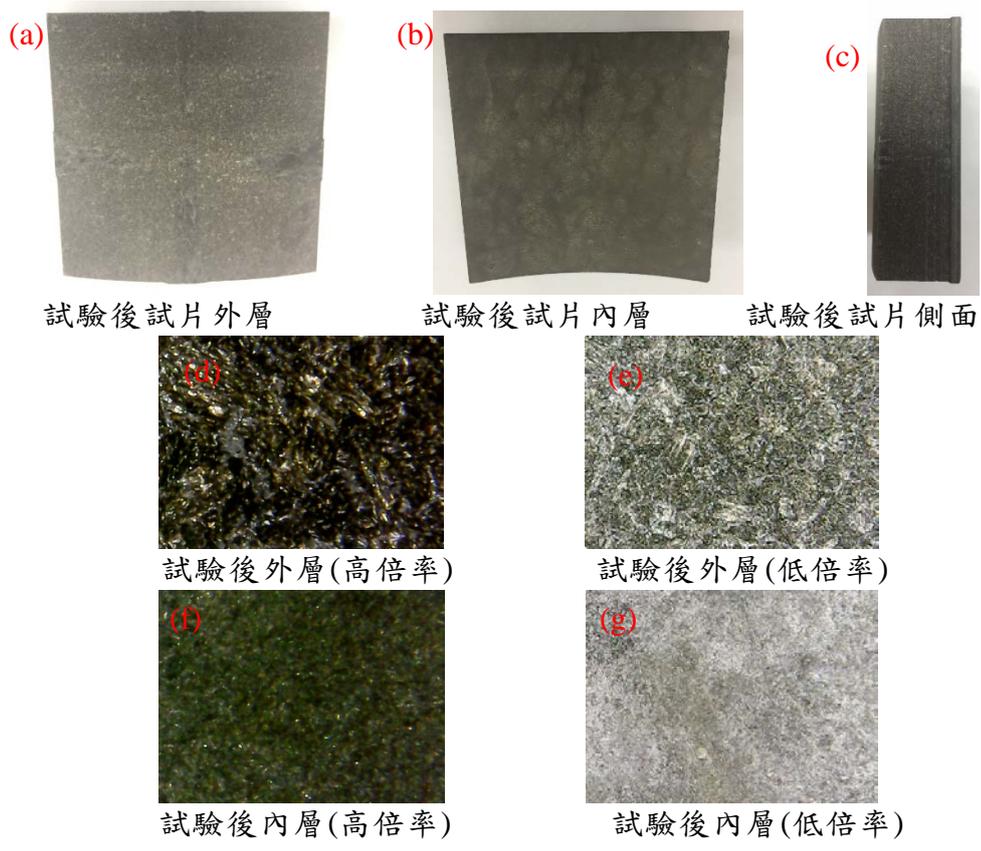


圖 52、(a)~(g)為第一組試片腐蝕後試片表面金相觀察

表 18、第二組試片(700hr)腐蝕速率表

| 試驗前重量 | 試驗後重量 | 總浸泡時數 | 重量損失 | 腐蝕速率 |
|----------|----------|-------|---------|------------|
| 285.130g | 266.877g | 700hr | 18.253g | 227.76g/yr |

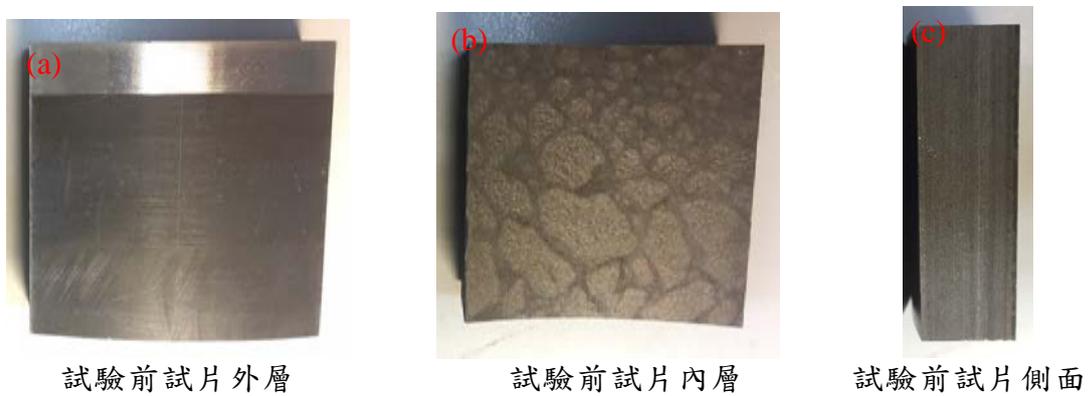


圖 53、(a)~(c)為第二組試片腐蝕前試片表面觀察



圖 54、(a)~(c)為第二組試片腐蝕後試片表面觀察

表 19比較高溫靜態腐蝕試驗與動態腐蝕試驗:兩種腐蝕試驗的試驗參數雖無完全相同，但從結果來比較，可得到動態腐蝕試驗其對試片的腐蝕影響較大，原因來自於其試片是以兩種不同材料結合後進行腐蝕，而雙相不鏽鋼及鎳基合金兩材料之電位差不同，導致電偶腐蝕的現象產生，加上動態腐蝕中其高溫液體的流動率，也將影響試片氧化層之生成與抗腐蝕能力。

表 19、高溫靜態腐蝕試驗結果與動態腐蝕試驗結果比較

| 腐蝕試驗方式 | 高溫靜態腐蝕試驗 (720 小時) | 動態腐蝕試驗 (700小時) |
|--------|----------------------|-------------------|
| 腐蝕速率 | 0.0469 mm/a | 2.9285 mm/a |

1.1.2.3 地熱流體監控管理技術

當地熱流體生產時會造成流動電位，同時使地層導電率發生變化，地熱流體成像技術透過自動電位與地電阻監測系統對地熱場進行精密的量測與監測，利用三維數值逆推以獲致的不同時間切片圖，可精確估計裂隙分布位置的變化，以應用在地熱資源的開發與監測管理上。本計畫規劃三年時程，透

過發展相關理論推導與電腦程式之模擬，並進行量測系統設計與開發，研發一套符合地熱田場址流體成像與監測所需之技術。第一年(104年)完成相關理論推導與電腦程式之模擬。第二年(105年)完成量測儀器系統之設計與開發，建置一套可適用於地熱流體監測工作的儀器軟、硬體系統。本年度(第三年)則規劃先在室內進行砂箱實驗，測試理論與電腦模擬結果，並將所研發之系統與技術進行野外現場測試與應用可行性研究。

(1) 砂箱實驗測試

本年度室內砂箱實驗為模擬地熱場址以井壁為線源之情境，以瞭解線源建立之電場與井下電極陣列對於目標物的解析能力，做為後續實際進行野外現地測勘與規劃之參考與比對。砂箱實驗槽體尺寸為長 2 米、高 1 米、厚度 30 公分，在槽體中設置了一金屬鋼管(或導線)，模擬地熱場址以井壁為線源之發射電流極；並在砂箱模型槽體上同時設置了井下的電極陣列，以進行不同情境的觀測。透過直流電源供應器提供固定 20 毫安培的電流，以建立砂箱中的線源平行電場。再將 16 根接收電極以 5 公分間距配置於砂箱兩側深 15 公分至 90 公分處，以 10 赫茲的採樣頻率記錄自然電位。並於實驗中進行注水以模擬流體之流動與回注之情境，於實驗當日 12:00 時在砂箱左側深 45 公分處注入 2 公升飽和食鹽水，食鹽水先是點狀擴散，再逐漸下滲到砂箱底部。再於 15:00 時在砂箱左側表面注入 4 公升的水，水先在砂土表面積水，再逐漸向下入滲到砂箱內部，以觀測線源電場對流體的反應與解析成效。砂箱實驗槽體與實驗情形如圖 55。

砂箱實驗所觀測之電場觀測資料如

圖 56，係顯示線源條件下利用井下 16 波道電極所觀測之

連續電場紀錄資料的時間序列。圖 57 為不同深度的 16 個波道，以上方水平電位差與下方水平電位差相減而得之垂直方向電位差。而各圖中兩條黑線分別表示於不同時間注入鹽水與清水的時間，最左側至左側黑線區間為尚未注水前之背景電場資料，左側黑線處為開始進行鹽水的注入，注入深度約在 45 cm 以下，顯示於注入鹽水之後，所有電位逐漸一起上升，其中又以中間層電位的上升速率較為緩慢，上下兩層的電位上升較快（圖 57）。右側黑線為開始改以清水於砂箱左側表面進行注入，顯示於注入清水之後，砂箱表層的電位急遽上升，並且隨著深度的增加，在時間上有向後延遲的現象。

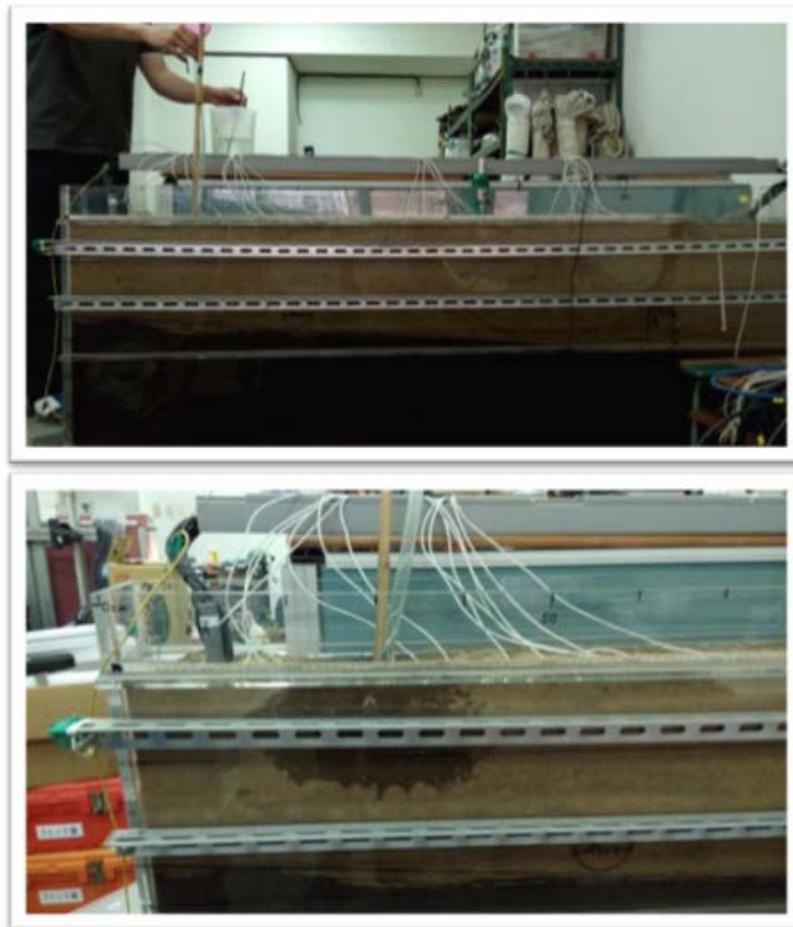


圖 55、砂箱實驗槽體與實驗量測情形

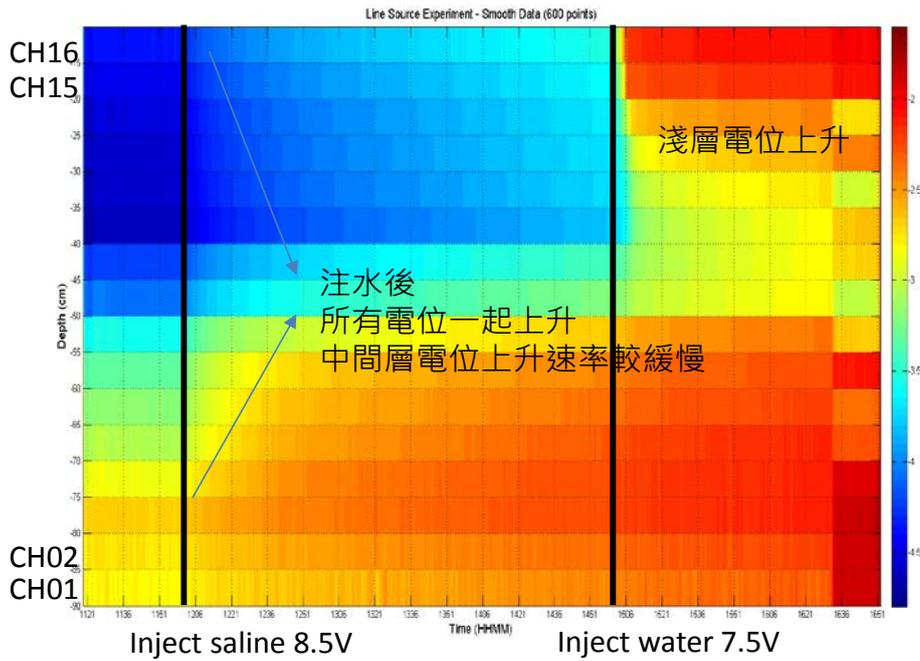


圖 56、模擬線源環境井下電極於不同注水條件之電場觀測資料

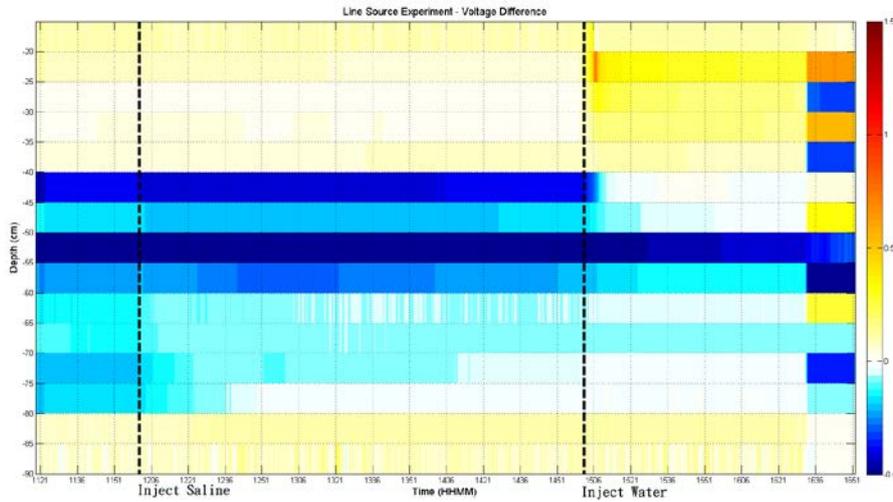


圖 57、線源電場砂箱入滲實驗之垂直方向電位差。

(左側黑色虛線為注入飽和食鹽水，右側黑色虛線為在砂箱表面注入清水)

根據上述實驗的觀測結果，說明在線源電場的條件下，以飽和食鹽水和純水注入砂箱之孔隙介質時，其產生的流動電位是可以被接收電極記錄到的。

(2) 野外現場測試評估

本計畫因應地熱流體監測需求，完成可同時連續量測自然電位(SP)與地電阻成像 (ERT)探測的雙工監測系統開發。本年度將此監測系統實際運用於清水地熱場址，進行野外現場測試與量測作業。配合清水地熱區 IC-21 號井進行產能測試時，以雙工監測系統同步進行自然電位與地電阻成像探測之野外佈設與資料量測，收集了 IC-21 號井產能測試前後完整的自然電位場與人工電場壓差反應資料，據以評估其成效與解析地下流體之變化行為。

本研究之地熱流體監測系統其作業流程如圖 58，首先進行自然電位法及地電阻法的探測，同時量測自然電位場與人工電場壓差反應資料，並分別進行逆推處理。由地電阻探測所獲得之地層電阻構造模型，可據以進行後續地質構造的分析，同時也提供給自然電位法作為模型之初始條件，以進行電位分布的計算與逆推運算。由自然電位逆推所獲得地下電流密度的分布情形，可進而解析流體之流向與可能之裂隙分布。再者，藉由比對不同時間所量測的自然電位資料與地層電阻資料之變化，則可了解地下含水程度之變化與地熱流體儲集與移棲等之流體行為特性分析。就清水地熱場址之測試結果說明如下：

A. 現場佈置

本計畫於清水地熱場址現地佈置了兩條呈現 L 型的地電阻與自然電位監測測線，分別向東北（測線 A）與西南（測線 B）兩方向各延伸 270 米，分布位置如圖 59。其中，測線 A 電極間距 5 米，共計 34 根電位極，IC-21 號產能測試井位於測線 A 的 150 米左右。測線 B 電極間距 10 米，共計 13 根電位極，並有 IC-20 井位於測線 B

末端外側。兩測線延伸的交叉點作為自然電位剖面計算之共同參考電位極位置，該點座標位於測線外 20 米處。

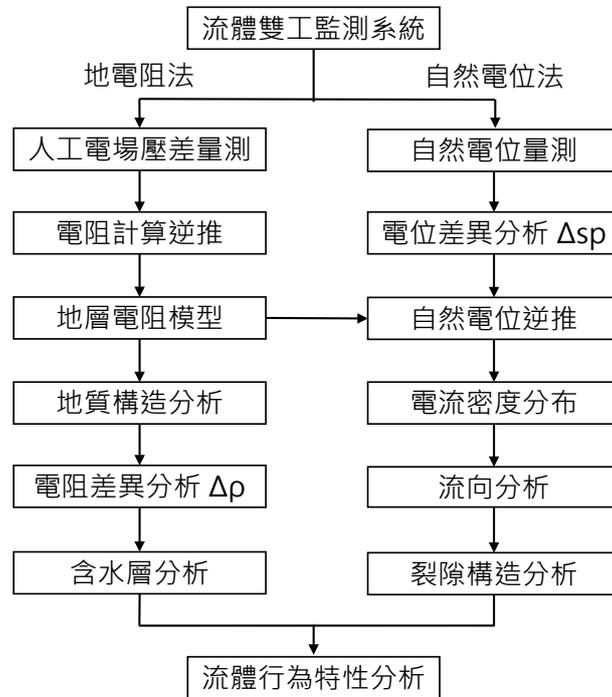


圖 58、地熱流體雙工監測系統作業流程



圖 59、清水地熱場址地電阻法與自然電位法監測測線配置圖

清水地熱區 IC-21 號井之產能測試分兩次進行，第一次為 3"管噴流與第二次為 2"管噴流，並將所噴流之熱水回注至 IC-20 號井，兩次測試之時程與狀態如下：

- a. 第一次測試：以 3"管噴流，自 3 月 13 日 19 點 35 分起，開啟 IC-21 井，至 3 月 14 日 07 點 07 分止，關閉 IC-21 井，停止回注，回注平均量約 10.5 TPH。
- b. 第二次測試：以 2"管噴流，自 3 月 14 日 17 點 08 分起，開啟 IC-21 井，至 3 月 17 日 13 點 40 分止，關閉 IC-21 井，停止回注。

野外現地佈置作業係於 2017/03/07 完成，隨即進行資料之量測收集與連續紀錄，以完整紀錄上述 IC-21 號井產能測試前後的電場變化資料，兩條測線之量測紀錄包括了自然電位與地電阻法之人工電場壓差反應。現場佈設作業照片如圖 60 所示。

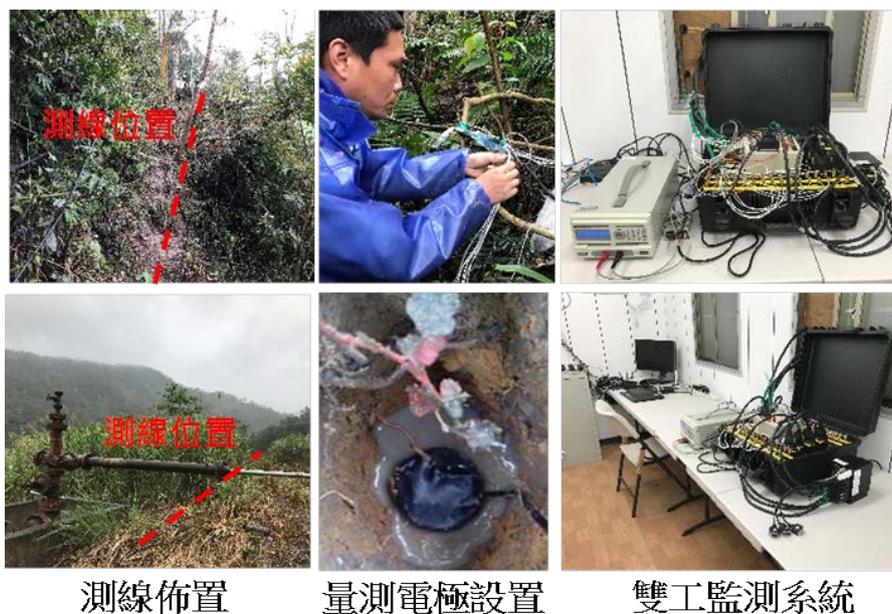


圖 60、清水地熱地電監測場址建站工作照片

B. 地電阻監測與分析

地電阻探測係量測以人工電流所形成的電場壓差反應，用以計算出地層電阻的分布。地電阻探測係於每天 6 點與 18 點進行兩次的量測，以下就 IC-21 號井產能測試期間所連續量測之地電阻分析結果，說明如下：

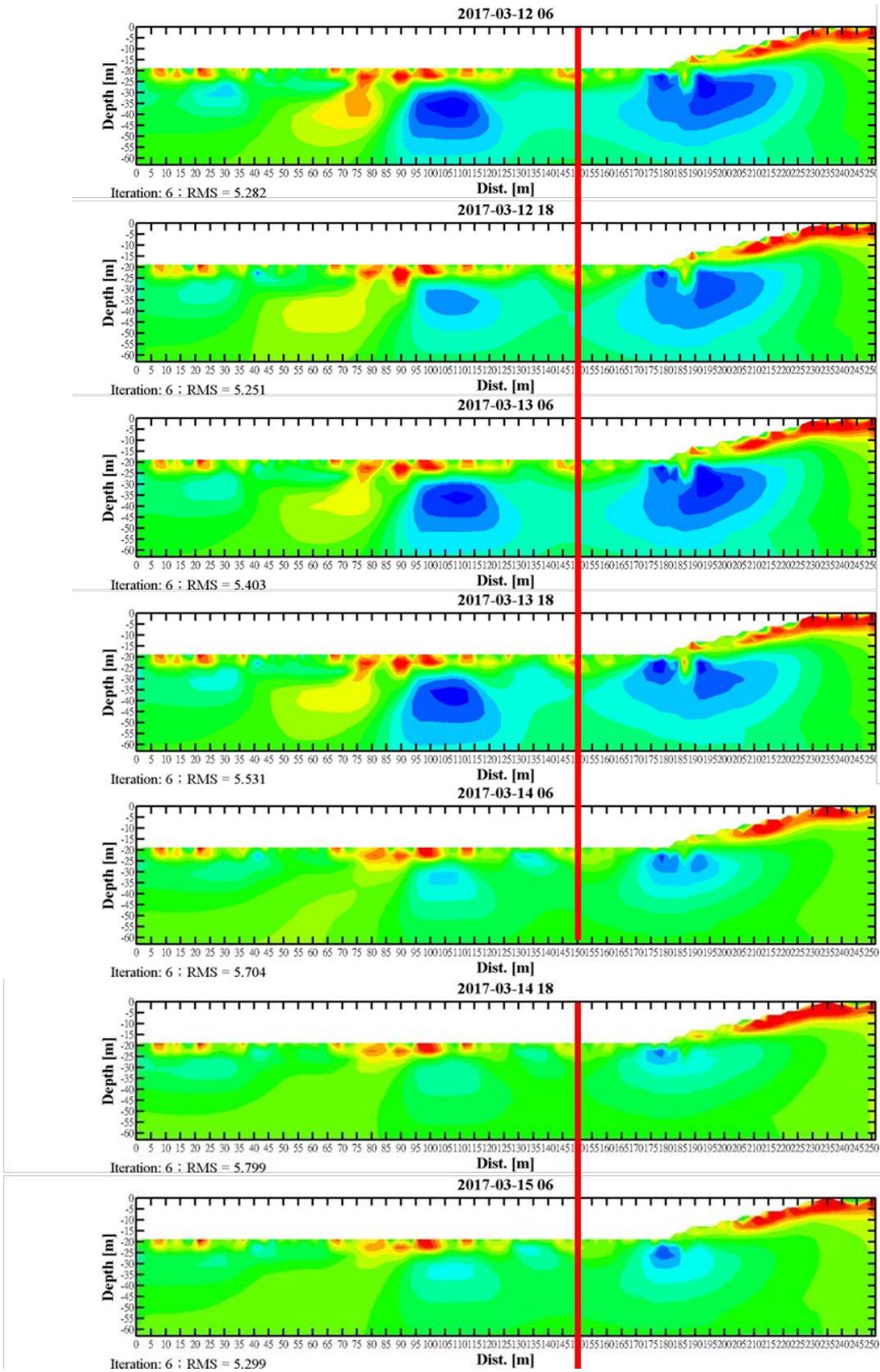
a. 測線 A

圖 61 所示為清水地熱區測線 A 產能試驗期間，自 2017 年 3 月 12 日起至年 3 月 18 日，每天兩次之連續地電阻監測剖面影像。其中 IC-21 井所在位置以紅色直線標示。產能試驗主要自 3 月 13 日晚間，持續開始連續運作直至 3 月 17 日中午。由於測試期間 IC-21 井井口開啟，使受壓地層水或孔隙水自然湧出，湧水或者導致地層水位洩降，或者導致孔隙間含水量急遽下降，兩者都可因此使地層電阻率提高。如圖 61 中所示，產能測試前(3 月 12、13 日)，IC-21 井(即圖中紅線)兩側地層於具有藍色低電阻區域，在 3 月 14 日至 3 月 17 日產能測試期間，原有之藍色低電阻區域明顯地消失，而當產能測試結束後，在 3 月 18 日之地電阻剖面影像顯示此藍色低電阻帶又回復出現。

b. 測線 B

圖 62 為測線 B 自 2017 年 3 月 12 日起至年 3 月 18 日的連續地電阻監測剖面影像。可以很清楚地觀察到相對於測線 A，測線 B 的地電阻剖面在產能測試過程中，地層電阻率的變化幾乎相對地小，並未表現出明顯的變異。由於測線 B 相對遠離 IC-21 井的噴湧作用，雖鄰近 IC-20 井的回注點，但可能因為

IC-20 號井之回注深度相對深(井孔開篩深度約在 500m)，再者如果原地層或裂隙間的含水量相對未受噴湧影響，也就不會因回注作用而出現劇烈的變化，因此不致引發測線 B 剖面上電阻率的劇烈變異。這就暗示產能測試對地下水體影響之空間範圍未能擴及測線 B。



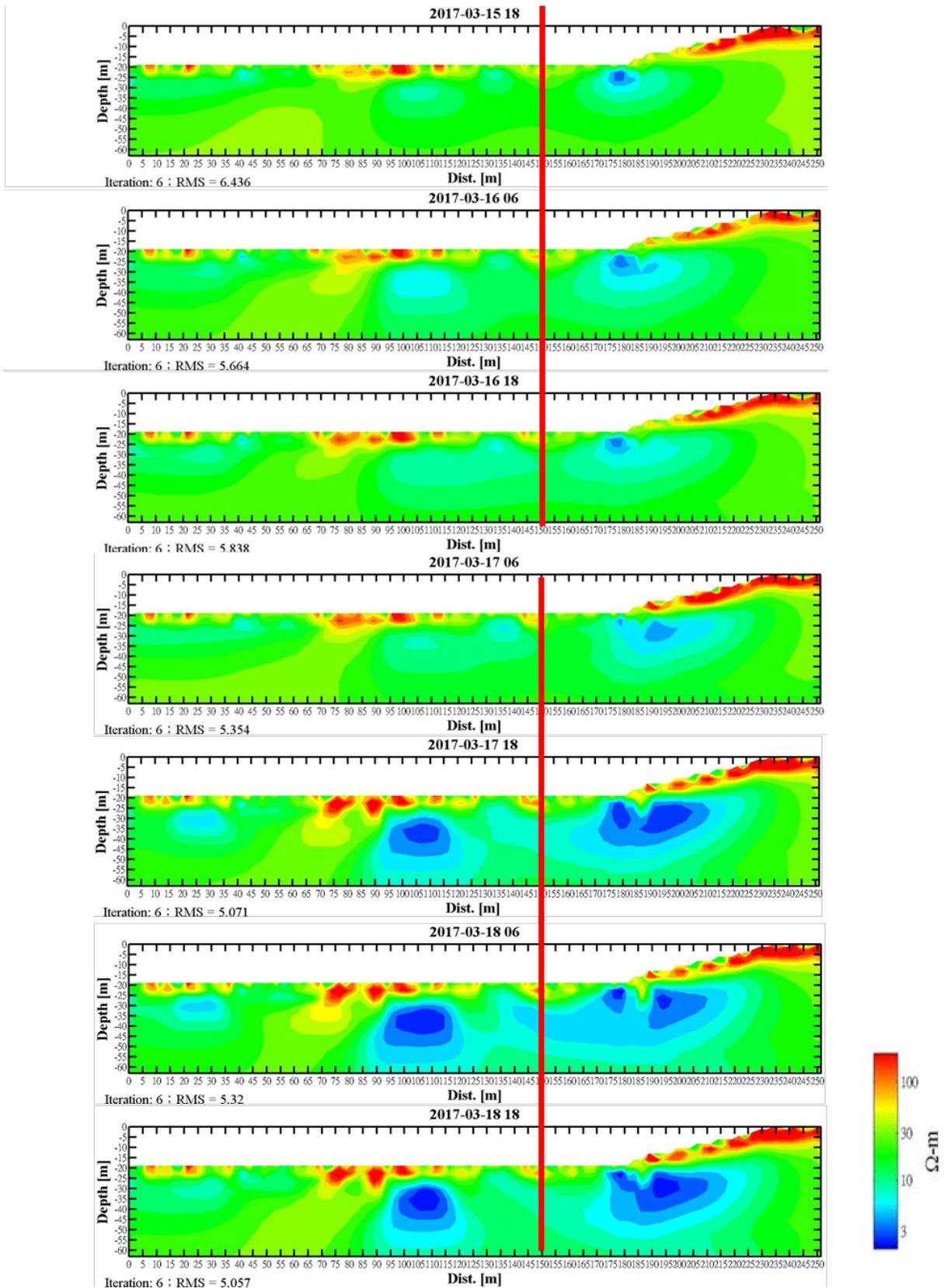
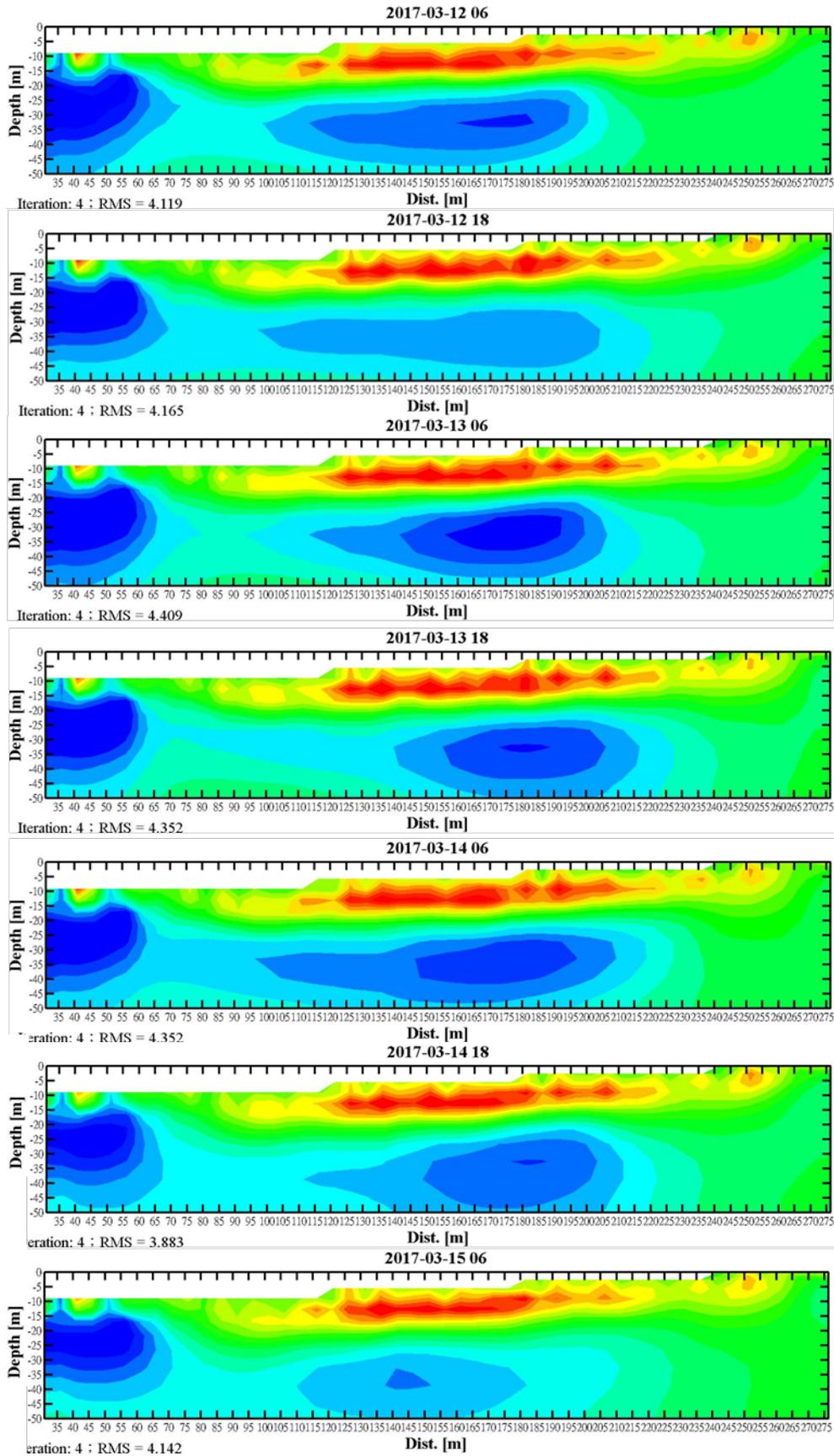


圖 61、清水地熱區測線 A 於 3 月 12 日至 3 月 18 日之地電阻影像剖面



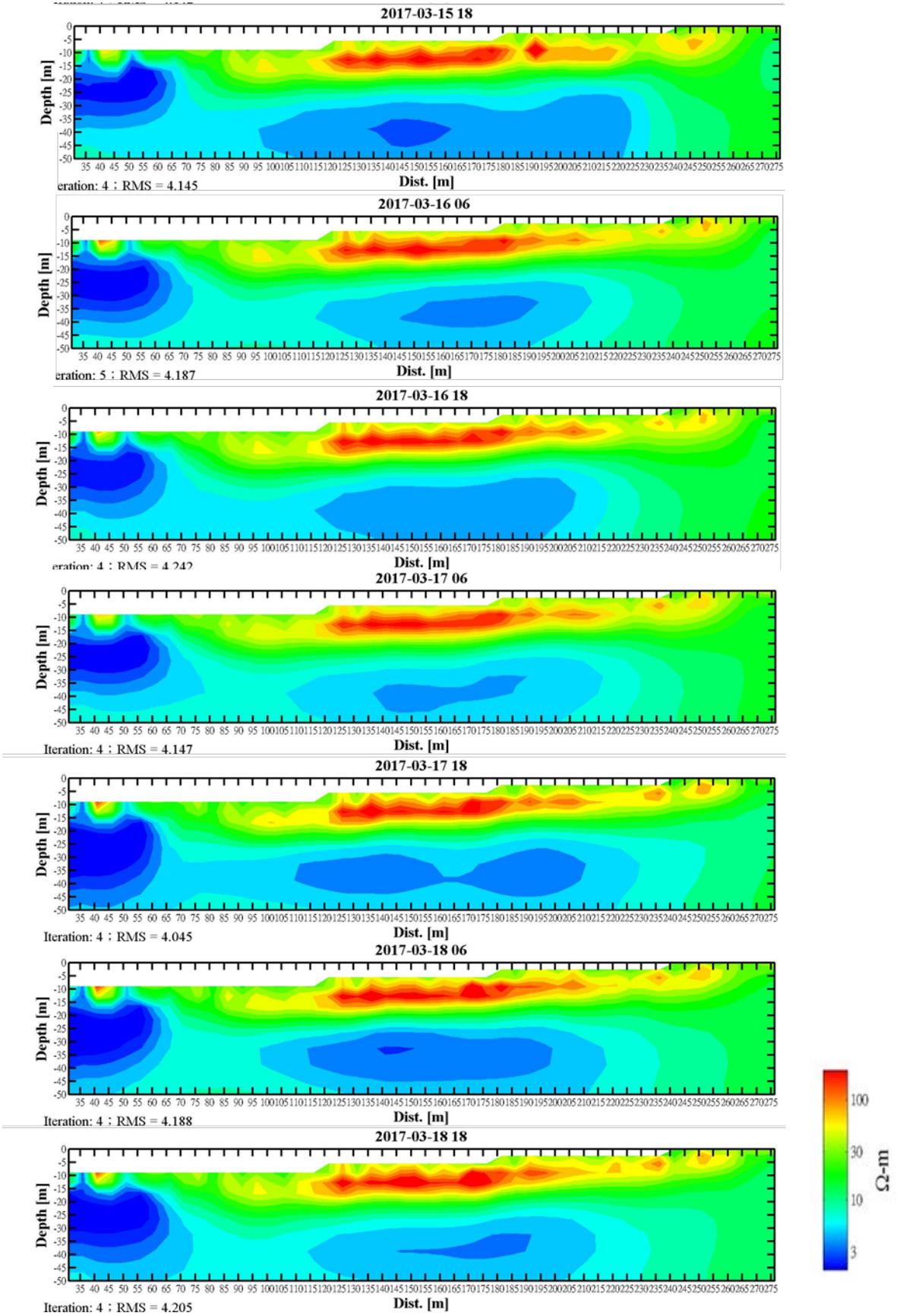


圖 62、清水地熱 B 於 3 月 12 日至 3 月 18 日之地電阻影像剖面

C. 自然電位監測與分析

a. 自然電位監測資料

自然電位資料的採樣頻率為每秒 25 個資料點，自然電位紀錄以電場值每小時的中位數呈現，並且各以四分位差表示每小時的電場擾動，作為背景雜訊強弱的指標。圖 63及圖 64分別為測線 A 與測線 B，自 2017/03/07 至 2017/03/31 之自然電位連續監測結果。自然電位的測量結果說明此區域的電場擾動，兩條測線之除了靠近清水地熱遊客中心有較強的人為電場雜訊，使得電極有較強的電位變異外，其餘電極的四分位差平均皆在 1 毫伏特以下。其中測線 A 之自然電位資料(圖 63(a))顯示，在兩次的 IC-21 井產能噴流測試時，IC-21 井附近的電場，即測線 A 的波道 17-19 位置，其電場值出現變化，尤其在第二次測試時，於 3 月 15 晚間電場值出現正負值反轉之現象，此電場變化研判起因與 IC-21 井的產能試驗過程，因地下水的流動進而引發自然電位的變化有關。

b. 自然電位剖面逆推

自然電位剖面的計算以迪氏網格法進行有限元素三角網格切割，並以擴張邊界的方式來達到半無限空間的假設，整個模型寬度達 750 米、深度達 175 米。將每小時的自然電位平均後，每半天進行一次自然電位剖面逆推，並以回注試驗前地電阻法逆推得到的剖面，作為逆推剖面的背景電阻率。

由於第一次產能測試係從 3 月 13 日開始，因此以 3 月 12 日下午的自然電位剖面做為背景，將後續觀測資料每半天的自然電位剖面與 3 月 12 日下午的自然

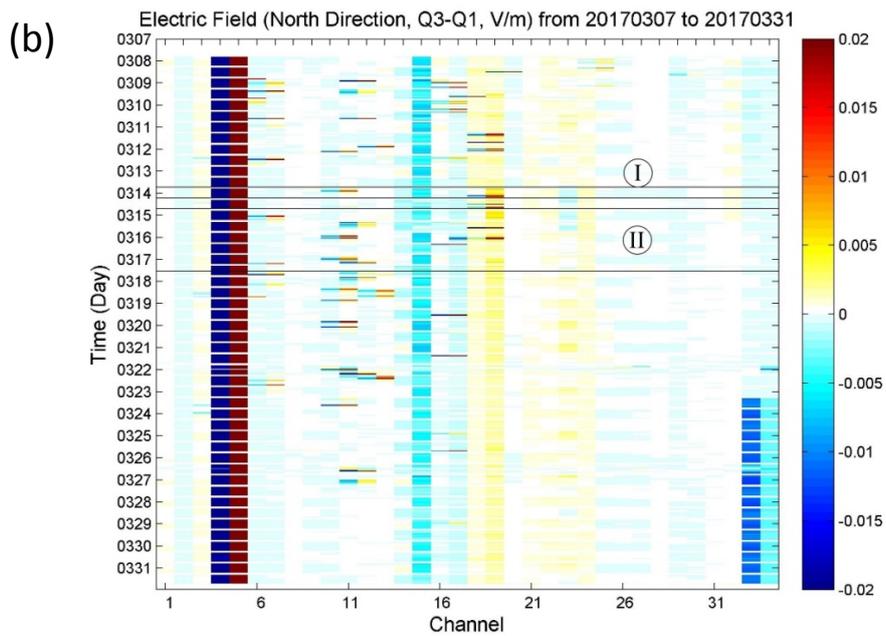
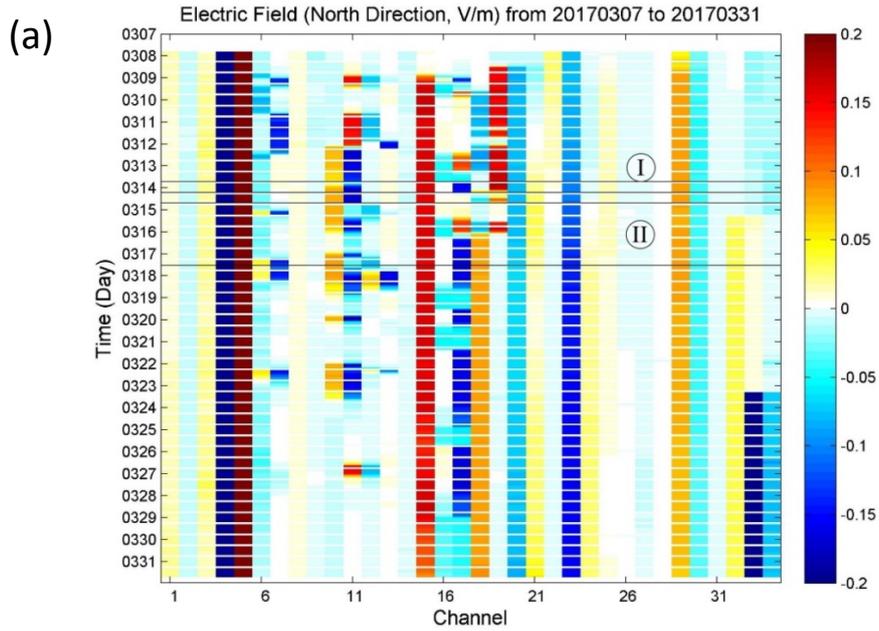


圖 63、測線 A 之自然電場監測資料及四分位差

註：(a)自然電場中位數 (b)四分位差；波道 1 至 34 為測線 A 從東北至西南兩兩電極間之電場測量結果；四條橫線標示之時間段，分別為兩次產能測試 I（第一次）與 II（第二次）起始與終止的時間。

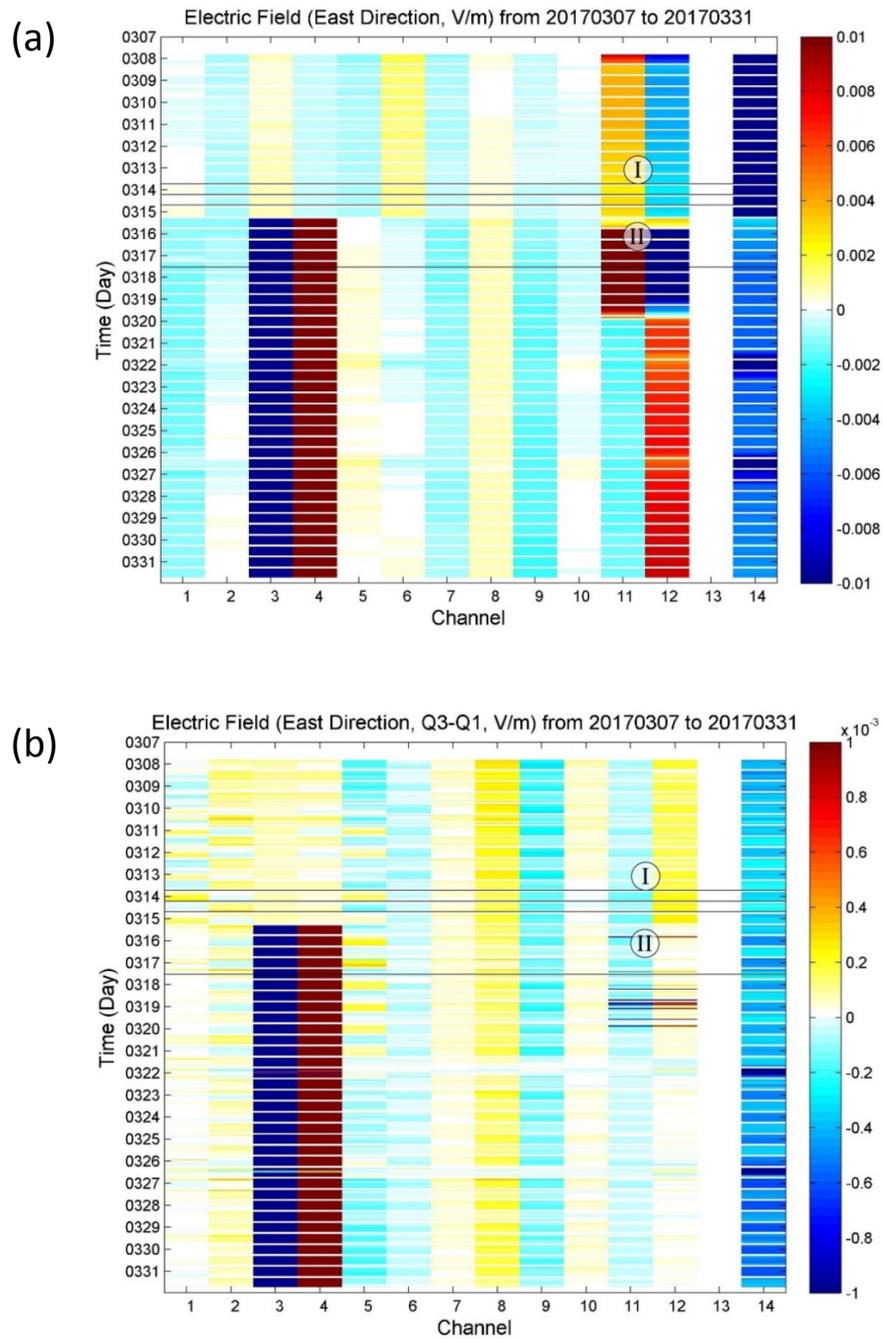


圖 64、測線 B 之自然電場監測資料及四分位差

註：(a)自然電場中位數 (b)四分位差；波道 1 至 14 為測線 B 從東南至西北兩兩電極間之電場測量結果。四條橫線標示之時間段，分別為兩次產能測試 I（第一次）與 II（第二次）起始與終止的時間。

電位剖面相減，以便觀察地下自然電位源的變化。
圖 65與圖 66分別為測線 A 與測線 B 於 3 月 12 日下午的自然電位剖面，由於測線 A 平行於清水地熱

遊客中心，因此地表含有較多的人為電位干擾源，相較之下，測線 B 設置於坡地，地表電位場的變化起伏較小。

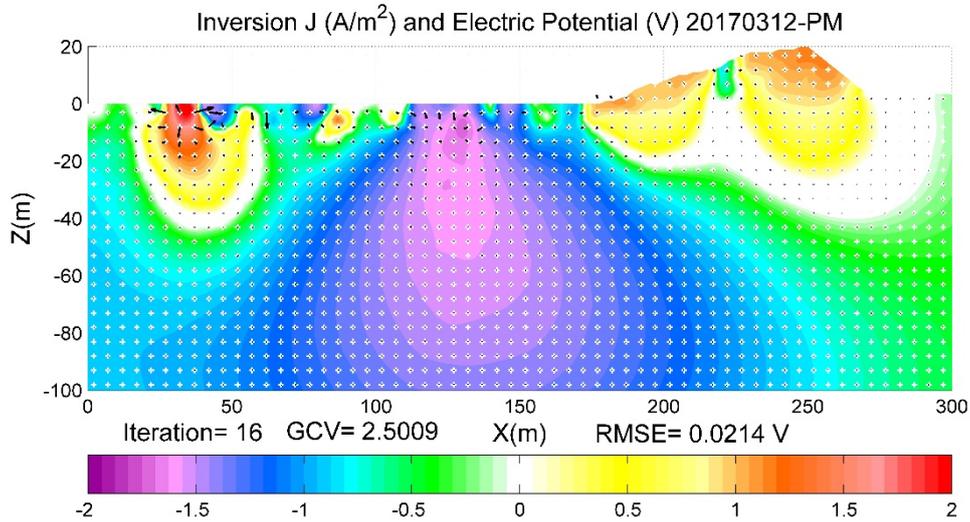


圖 65、測線 A 於 3 月 12 日下午的自然電位剖面

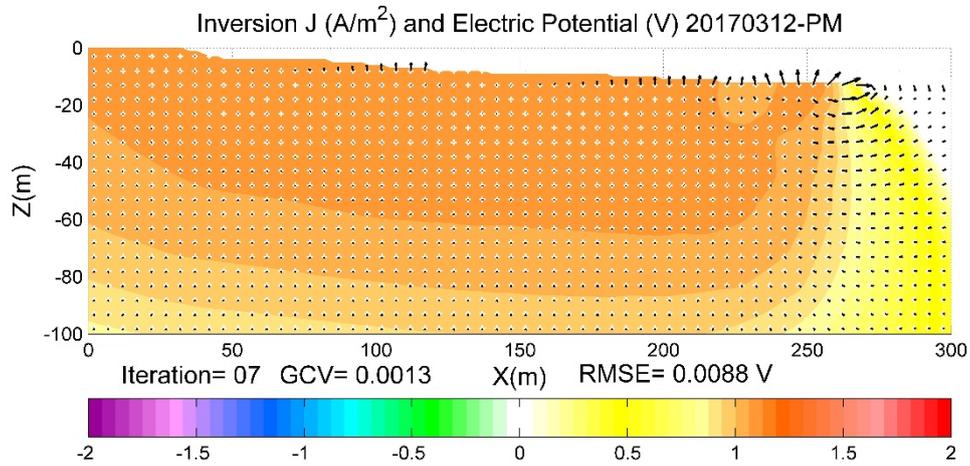


圖 66、測線 B 於 3 月 12 日下午的自然電位剖面

圖 67 為測線 A 自 3 月 13 日至 4 月 6 日的自然電位變化剖面，每張自然電位剖面皆與 3 月 12 日下午的自然電位剖面相減，每四天展示一次電位變化。由自然電位變化

剖面可觀察到從 3 月 13 日起，測線 A 的 140 米處電位逐漸上升，並且以錐形體的形狀向下與向兩側衰減，在 X 方向影響範圍可遠達 20 m 至 230 m。

圖 68 則為針對產能測試期間，測線 A 自 3 月 14 日至 3 月 17 日之自然電位逆推結果，每 12 小時的電位分布剖面，可觀察到從 3 月 14 日晚上起(第二次產能測試開始)，測線 A 的 155 米處電位逐漸上升，影響範圍可達 25 米深。此現象說明回注試驗時，IC-21 井的噴流使地下水快速向上流動，此地下流體的流動使井孔周邊土壤孔隙介質中的雙電層電荷重新分配，導致正電荷被帶至抽水井附近，因而出現自然電位上升的現象。直到 3 月 17 日回注試驗結束，該電位上升的也逐漸縮小並消失，說明噴流作業造成的局部電位上升逐漸平緩，並恢復到背景自然電位場。

由於流動電位的產生源自於地下流體在地下水壓梯度的作用之下，造成正負電荷的分離，使得正電荷往下游方向帶動，在上游方向也因此存在著較多的負電荷，由此電位的分布，可判定地下流體流動方向。由上述的電位分布顯示，IC-21 井噴流造成井孔周圍之電位上升，遠端兩側之電位下降，而左側之電位呈現較顯著的降低，意指地下流體主要由左側往井孔方向流動。

圖 69 為測線 B 之自然電位變化剖面，顯示在第一次產能試驗時，並沒有產生明顯的電位場變化，直到第二次產能試驗時，在 60 米處出現地表的正電位，不過並沒有測線 A 出現的錐形體，位置亦不是在回注井 IC-20 井附近，因此研判測線 B 並無顯著因噴流與回注試驗造成的自然電位場變化，也反映了測區在地下水文環境上的異質

性，地下水流通道在本區或許並非一平穩直接由上游的 IC-20 井往下游的 IC-21 井方向流動。

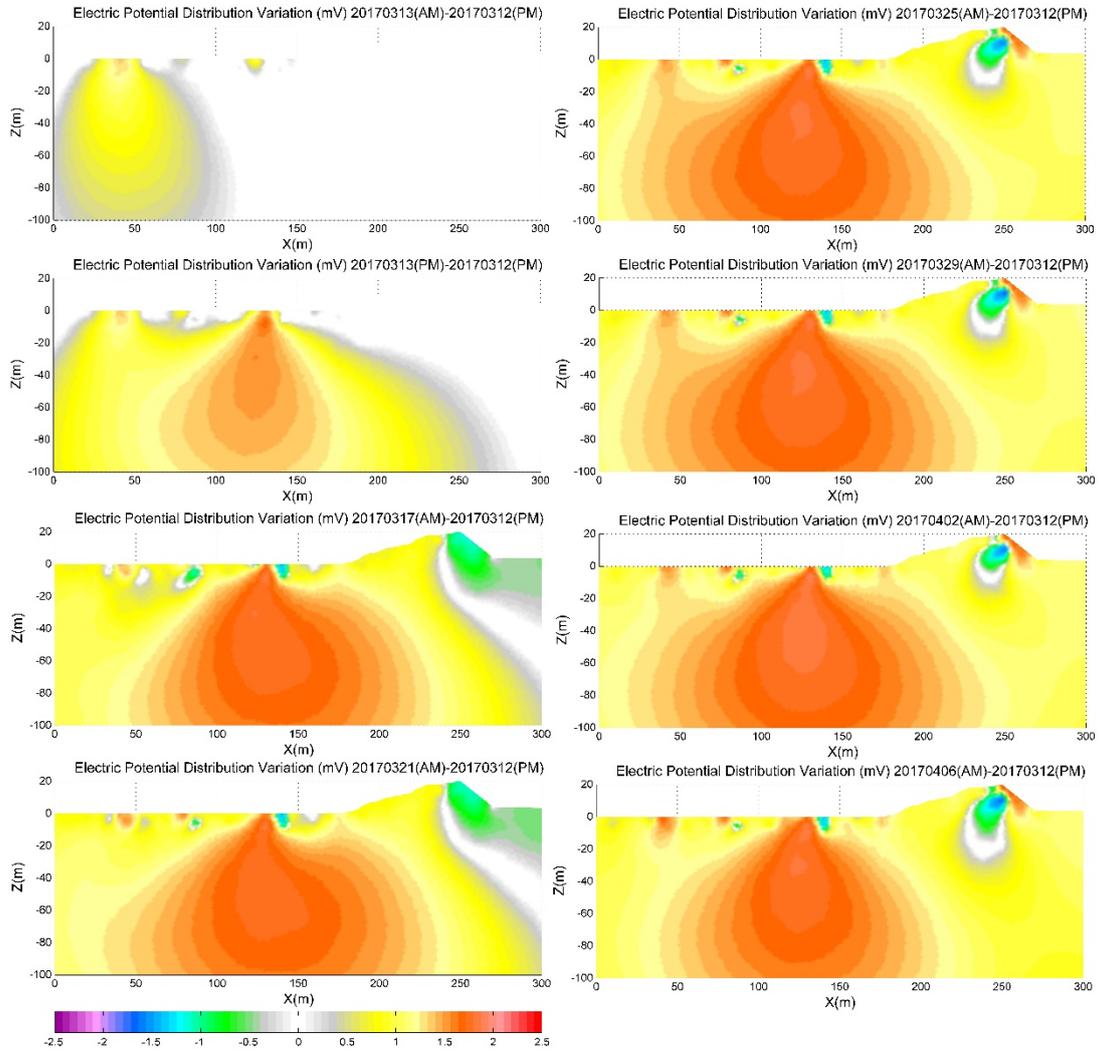


圖 67、測線 A 於 3 月 13 日至 4 月 6 日的自然電位變化剖面

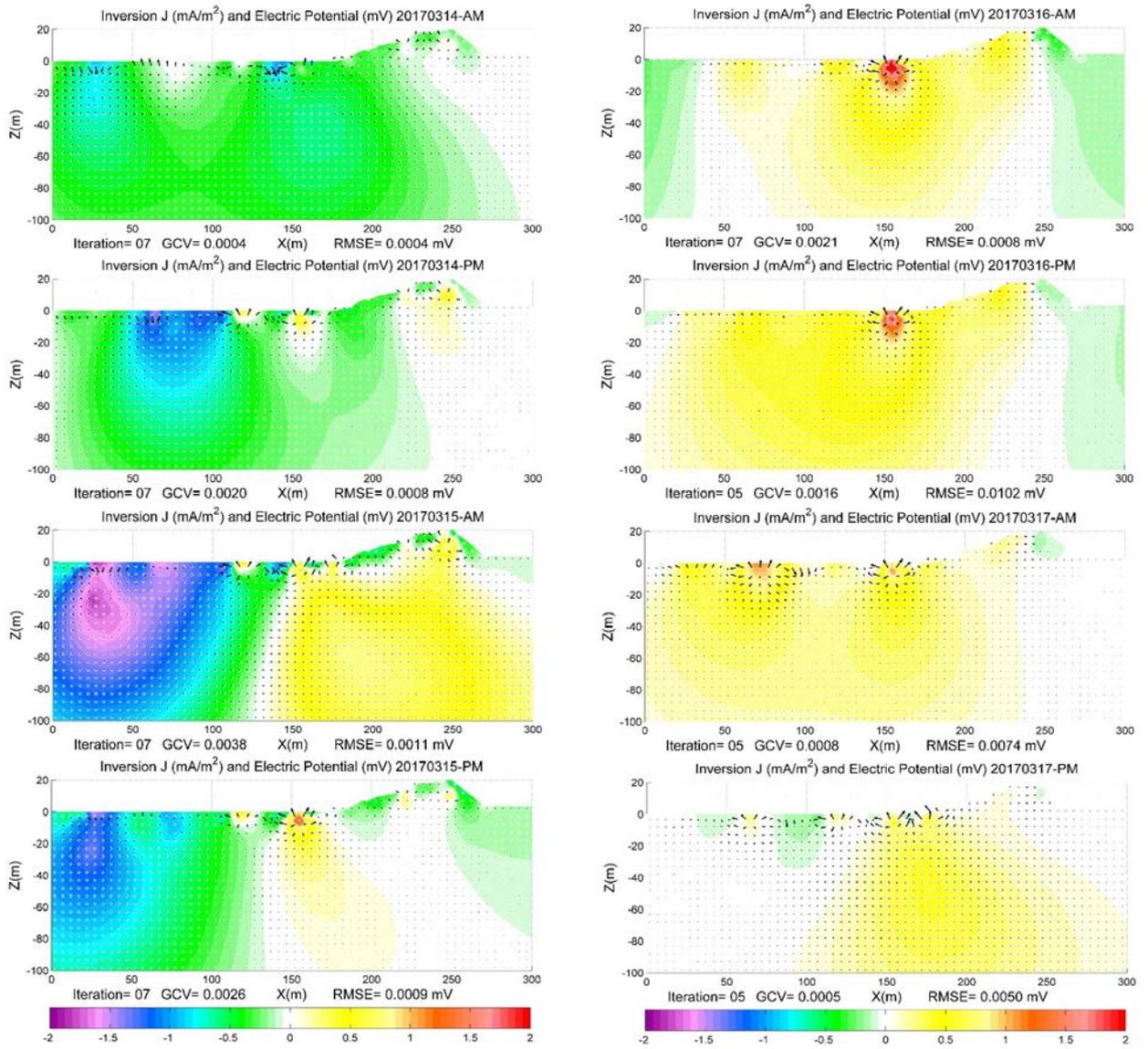


圖 68、測線 A 於 3 月 14 日至 3 月 17 日的自然電位分布剖面

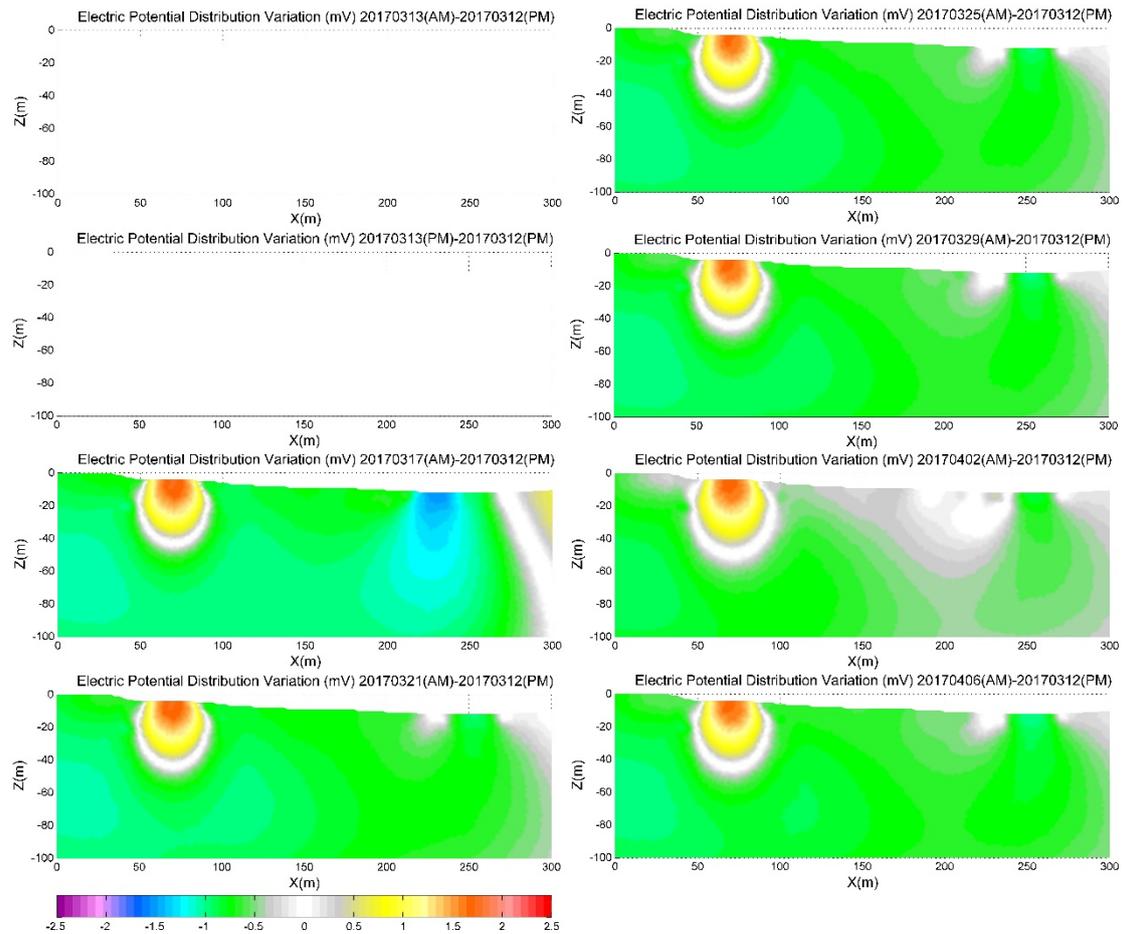


圖 69、測線 B 於 3 月 13 日至 4 月 6 日的自然電位變化剖面

(3) 結論與討論

整體而言，清水地熱區產能測試的電位與電阻現地測試，成功地展現了本研究所開發的雙工監測系統之成效，從野外場址的現地作業，到後續遠端資料傳輸與即時監測的具體作業流程，並且成功地捕捉到了產能井的噴湧回注行為，在地層間引發的水體變化及其伴生的地電阻率與電位場的改變。由自然電位法於清水地熱場址實施監測的成果顯示，從測線 A 觀察到 IC-21 井的噴流生產作業使地下電位場的變化呈現錐形體上升，並隨著噴流生產時程而增強，直到產能試驗作業結束後半個月才逐漸消失，電位場也漸恢復到背景自然電位場。而從電位分布資料顯示，噴

流作業造成井孔周圍之電位改變，井孔左側之電位呈現較顯著的降低，指示出地下流體主要由左側往井孔方向流動。而由地電阻法之監測結果則顯示，測線 A 之地電阻剖面在產能測試過程中，位於 IC-21 井兩側的地層電阻出最明顯的異常，藍色低電阻帶伴隨著產能測試試驗的啟動而消失，於結束後又回復。如此的監測資料與影像分析結果，說明了自然電位法與地電阻法的連續監測，可以有效地觀察到地熱井噴流生產過程的進行與結束，同時針對對地下電位場的變化，甚至可進而判斷地熱生產作業時地下流體之空間分布、流向、影響範圍及其時間影響尺度。以清水地熱區為例，自然電位的影響時間並不與補注試驗同步，似乎在暗示地下流體回補的物理機制並非一單純快速的含水層抽取補注過程，而比較像是孔隙流體的移棲行為。

1.2 資源調查與評估

1.2.1 地熱資源調查與政策環評可行性評估

相對於地表的發電技術，地下的資源掌握為地熱發電開發亟需掌握的重要關鍵。依據早期能委會調查資料，我國傳統地熱潛能區有九個分區，包括大屯山、宜蘭清水及土場、南投廬山、花蓮瑞穗-安通、霧鹿-紅葉、台東知本及金崙、屏東寶來、關子嶺、新竹-苗栗等分區，而這些分區中以大屯火山區、宜蘭清水與土場、南投廬山、花蓮瑞穗、台東知本與金崙等地熱區之資料較為完整累計發電潛能達 730 MW。針對上述地熱潛能區，近年來在經濟部能源局的支持下，已針對大屯火山區、宜蘭清水、台東金崙等區重新進行資源調查與評估，並已漸漸吸引地方政府透過 BOT 招商或民間廠商開發小型地熱電廠，我國地熱發電產業已逐步成型，但是其他地熱潛能區則因資料老

舊、欠缺新的潛能評估資料驗證開發可行性，尚未引起地方政府與民間廠商開發之興趣。

1.2.1.1 宜蘭清水-土場地熱資源調查

土場地熱潛能區位於宜蘭縣大同鄉土場村天狗溪中下游南岸，標高約 500 公尺，位於宜蘭市西南方約 40 公里，與清水地熱區相比鄰，兩者相距約 14 公里（圖 70）。本區早期曾進行地熱地質調查、地熱探勘井等工作，並建一座裝置量 280 kW 之雙循環地熱發電試驗機組進行發電試驗，惜該計畫於民國八十年代停止。本年度針對清水-土場區地熱資源調查結果說明如下：

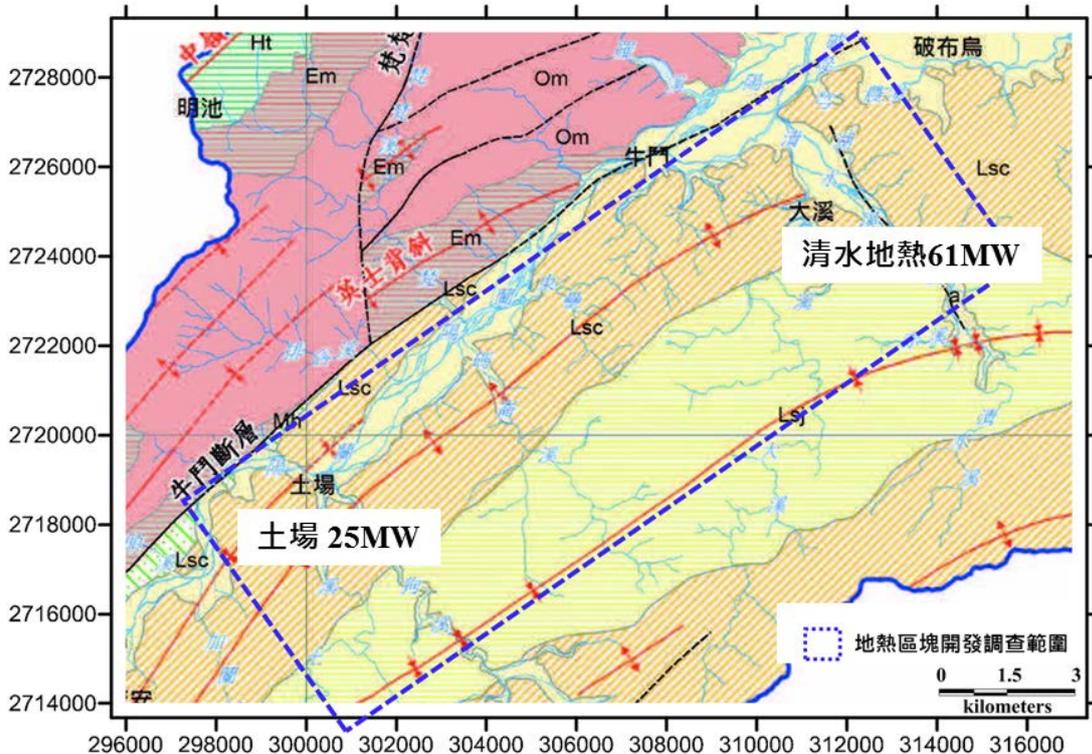


圖 70、清水-土場地熱區位置圖與調查範圍
(底圖摘自中央地質調查所，2013)

(1) 地質概述

清水-土場區位於宜蘭縣大同鄉土場村，清水地熱之溫泉分布主要分布於清水溪河谷，土場地熱潛能區之溫泉則分布於多聞溪與天狗溪河谷，地熱區大都位於海拔 500 ~ 800 公尺間之起伏山地，清水-土場地熱區地質如圖 70 所示。本區地質包括南面的脊樑山脈地質區及西北面的雪山山脈地質區，兩地質區間以牛鬥斷層為界，脊樑山脈地質區位在蘭陽溪之東南側山地，清水-土場地熱潛能區出露地層為中新世之廬山層。廬山層屬於下部中新世地層，岩層以板岩為主，局部夾有數十公分至三公尺厚度之石英岩，以及石英岩與硬頁岩之互層，區內主要地質構造為牛鬥斷層及一系列褶皺構造。

(2) 大地電磁測勘

清水-土場地區地熱區主要溫泉露頭在河床與廬山層仁澤段、清水湖段的交界處，由前人研究資料顯示此二處地熱潛能蘊藏量豐富，且地質條件相似度極高，為獲得清水-土場間的地熱潛能區分布，並提供政策環評所需之背景資訊，本計畫在清水-土場地區，範圍約 50 平方公里區間，進行大地電磁探測，成果說明如下：

A. 測站分布

本年度大地電磁探測主要針對清水-土場地區，進行測勘調查，以獲得調查區域的地質構造與地熱資源資訊。為建立最符合真實地質狀況之三維模型與三維資料處理，測點規劃採網格狀平均布置，平均每平方公里約佈置 1-2 個測點。但受到地形與其他人文干擾因素影響，實際測點的佈置多受限制，最終之測點仍儘可能的平均分布於調查區域。本年度於清水-土場地區總計完成 45 個大地

電磁測點，測點分布如圖 71，測點座標如表 20，野外探測作業情形如圖 72。

表 20、清水至土場區域大地電磁測點座標

| 測點編號 | 座標 (TWD97) | | 測點編號 | 座標 (TWD97) | |
|------|------------|---------|------|------------|---------|
| | X | Y | | X | Y |
| C-01 | 304306 | 2720989 | C-28 | 307408 | 2724196 |
| C-02 | 310575 | 2722213 | C-29 | 309905 | 2724949 |
| C-03 | 304680 | 2720240 | C-30 | 309016 | 2724134 |
| C-04 | 305271 | 2719607 | C-31 | 308647 | 2722919 |
| C-05 | 305693 | 2719174 | C-32 | 309676 | 2722559 |
| C-08 | 304025 | 2720283 | C-33 | 305051 | 2722065 |
| C-09 | 303996 | 2719406 | T-01 | 300072 | 2718267 |
| C-10 | 303130 | 2718810 | T-02 | 300460 | 2717450 |
| C-12 | 303377 | 2718168 | T-03 | 301249 | 2716389 |
| C-13 | 307173 | 2719734 | T-04 | 301136 | 2715526 |
| C-14 | 306157 | 2723136 | T-05 | 301497 | 2718058 |
| C-15 | 305746 | 2722632 | T-06 | 300801 | 2719274 |
| C-16 | 307545 | 2720455 | T-07 | 301872 | 2717274 |
| C-17 | 308722 | 2721428 | T-08 | 302607 | 2715989 |
| C-18 | 307659 | 2721491 | T-09 | 301613 | 2719192 |
| C-19 | 308249 | 2724990 | T-10 | 301925 | 2717819 |
| C-21 | 311692 | 2723456 | T-11 | 302519 | 2716529 |
| C-22 | 313460 | 2722110 | T-13 | 300364 | 2715291 |
| C-23 | 307010 | 2725105 | T-14 | 299626 | 2717926 |
| C-24 | 309061 | 2727035 | T-16 | 298302 | 2716477 |
| C-25 | 309986 | 2723586 | T-17 | 298739 | 2719301 |
| C-26 | 311423 | 2724427 | T-18 | 297807 | 2718427 |
| C-27 | 307710 | 2722344 | | | |

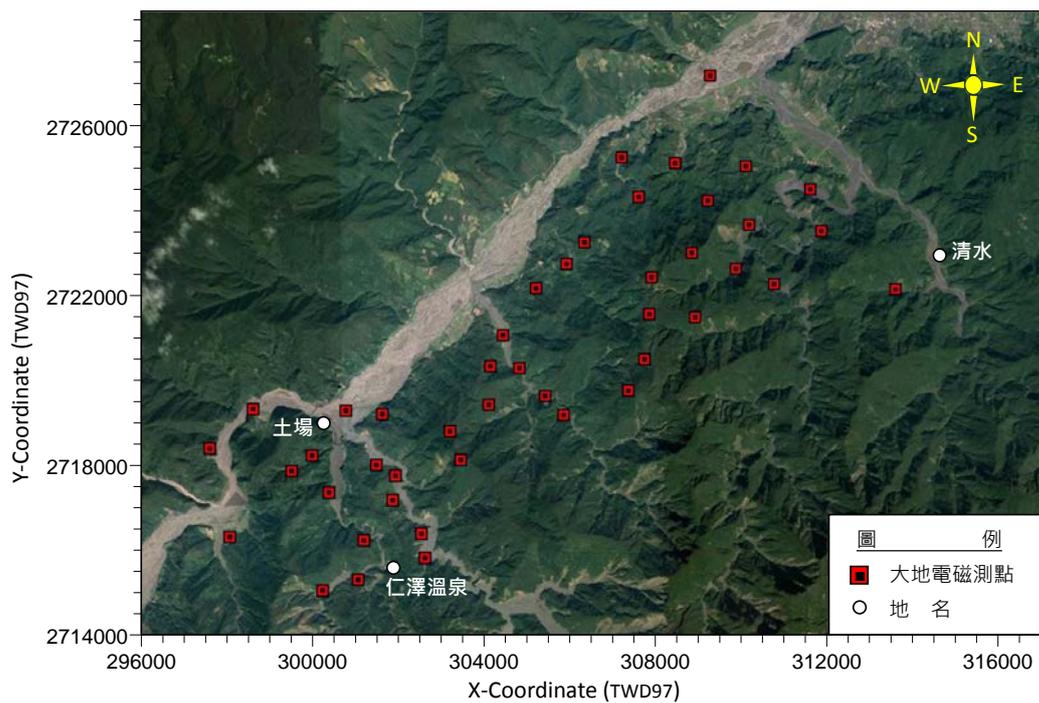


圖 71、清水至土場區域大地電磁測點分布圖



測勘佈設方向測定



磁場量測之磁力感測棒設置



探測儀器之組裝、設定與起動



電場量測之非極化電極設置

圖 72、大地電磁現場探測作業情形

B. 資料處理

大地電磁測勘之野外量測訊號為一電場與磁場隨時間變動之序列，必需經過一系列的資料處理始能獲得地下地層的資訊，一般可分為基礎資料處理與逆推處理。基礎資料處理主要包括：資料檢查、傅立葉轉換、雜訊比對分析、突波移除及視電阻率計算等，用以獲得不同頻率的視電阻率與相位資料。如圖 73 即為經過基礎資料處理後之視電阻率與相位曲線圖。而逆推處理即根據這些視電阻率與相位資料來進一步進行處理，以獲取地下不同深度的真實地層電阻率分布。本計畫係採用 Phoenix 公司開發的 SSMT 2000 及 MTEdit 等軟體，進行基礎資料處理，並將處理資料轉成標準 EDI 格式後，再使用 GeoSystem 公司開發的 WinGLink 軟體，以俄坎逆推 (Occam inversion) 法，針對每一測點進行一維逆推處理，以建立測點處之地下地層電阻分布模型。針對特定剖面，則以二維平滑模式逆推法 (2D smooth model inversion method) 進行二維逆推處理，以獲得地下地層電阻率分布影像剖面。而三維逆推方面，本計畫使用 WSINV3DMT 程式進行三維電阻逆推，運用大地電磁探勘所量測兩組方向相互垂直方向的阻抗張量 (impedance tensor)，包含 Z_{xx} 、 Z_{xy} 、 Z_{yx} 、 Z_{yy} 等全張量資料，平均選取 1 至 6000Hz 中的 16 組頻段，進行逆推處理，以獲得三維電阻率模型，可依需要擷取切面圖或剖面圖進行分析。

C. 三維電阻模型

大地電磁探測之主要目標在於從建立之三維電阻率模型尋找地熱儲集構造。圖 74 為經逆推後獲得的三維電阻率

模型(3D resistivity model)，解析深度為 4,000 公尺，理論值與觀測值間之均方根誤差為 1.644%，顯示資料收斂良好且落在可接受範圍內，故逆推結果可用於後續解釋工作。圖 75 所示為三維電阻模型之不同深度的電阻率等深度切面圖(depth slice)。圖 76 為土場-仁澤地區兩不同方向之電阻剖面，圖 77 為地層電阻為 50 ohm-m 的等電阻面三維分布。

D. 資料分析判釋

由探測區域之電阻分布情形顯示，探測區域之電阻分布構造大致以高電阻地層為主，約呈現東北-西南方向延伸，此與調查區之地質構造方向一致。而調查區域亦具有許多與上述構造方向垂直，呈西北-東南向的電阻構造，多呈現低電阻徵兆，此低電阻構造主要分布於調查區北側，延伸至清水地區，以及調查區南側，土場至仁澤一帶區域，與已知的地熱徵兆區相呼應。由低電阻的分布可間接反應為地下熱水的可能蘊藏位置，根據調查結果顯示，淺部低電阻帶主要分布於土場-仁澤之東北側，呈現條帶狀分布。深度約 750 公尺以下，低電阻範圍往東北方向擴大，至深度約 1000 公尺以下至 1500 公尺區間，於土場仁澤之間，則具有東南-西北向延伸的低電阻構造。深度約 1750 公尺以下，低電阻徵兆則往調查區域之中段區域移動。

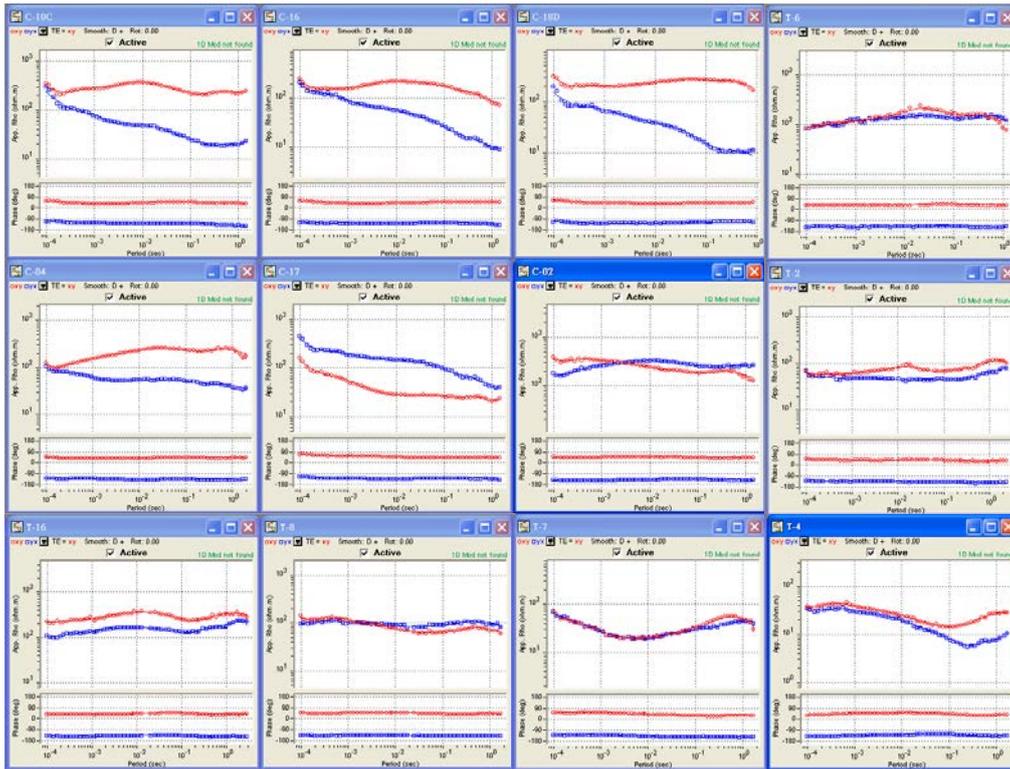


圖 73、大地電磁測勘結果之視電阻率與相位曲線

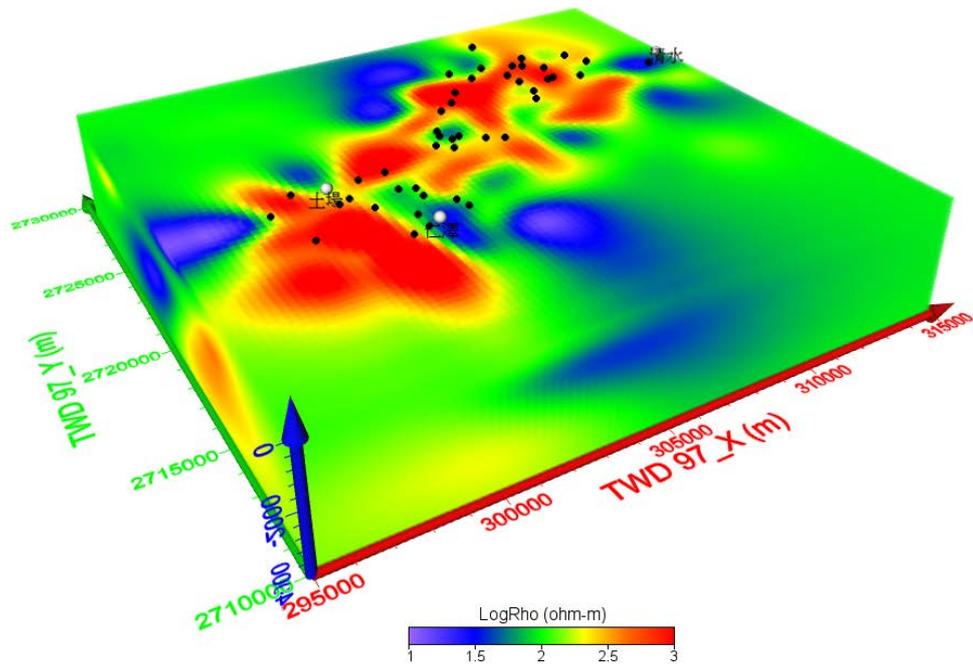
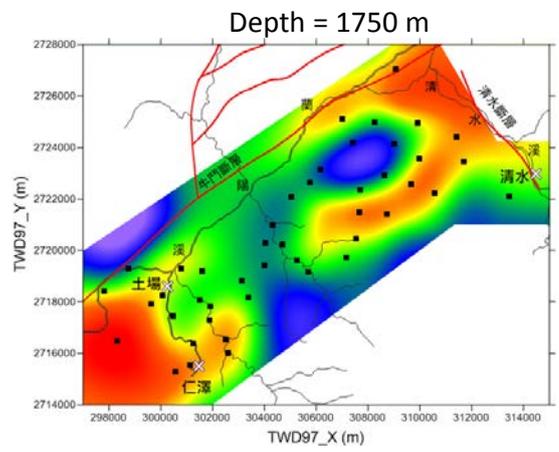
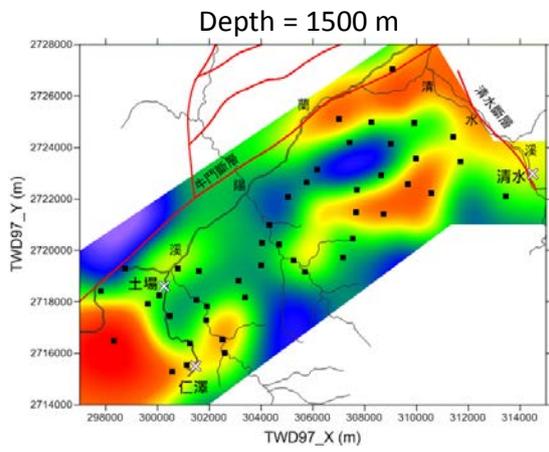
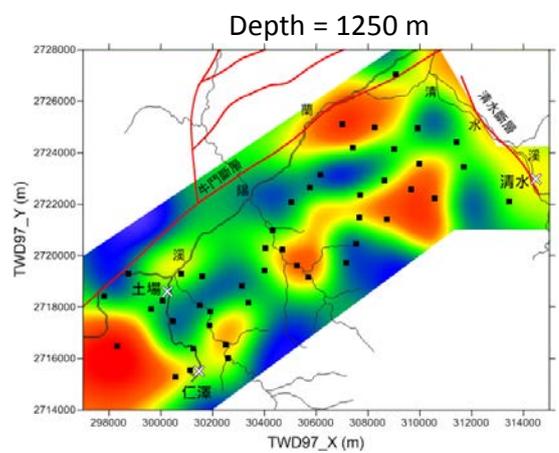
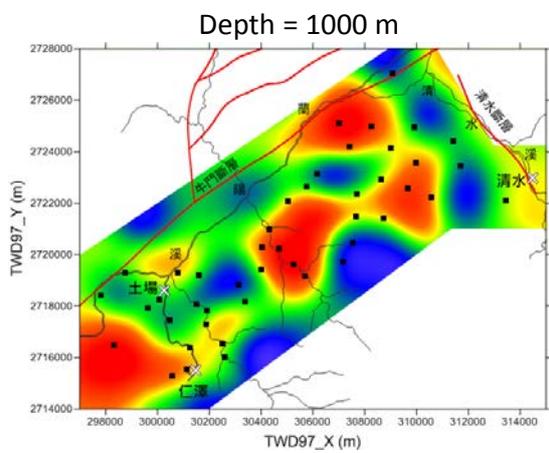
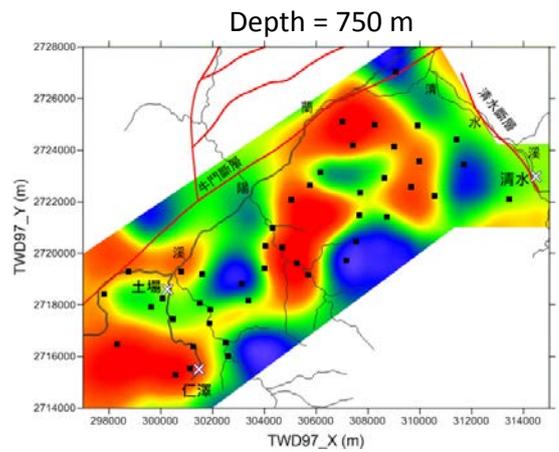
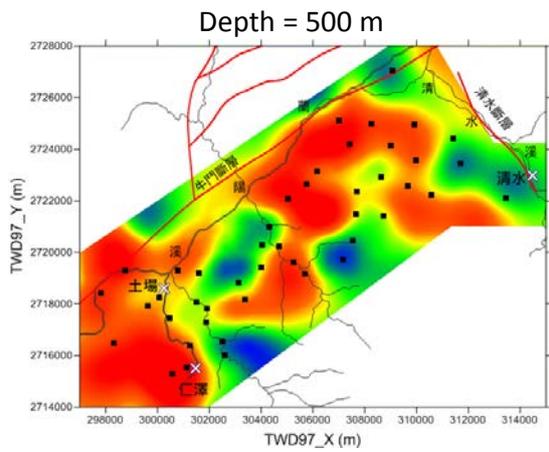
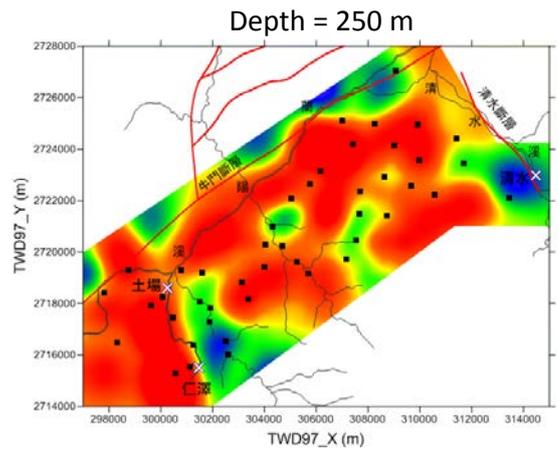
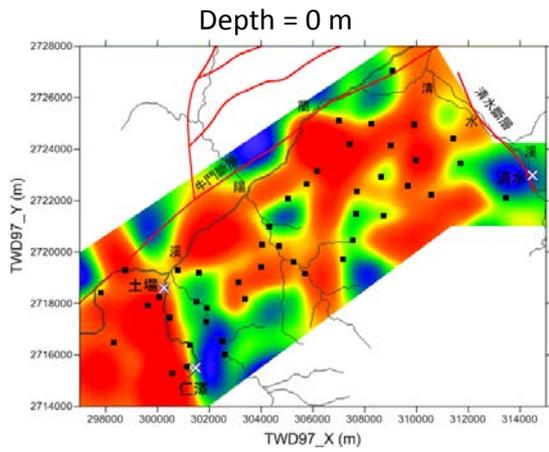


圖 74、清水至土場地區之三維電阻模型

(註:黑色點為大地電磁測點)



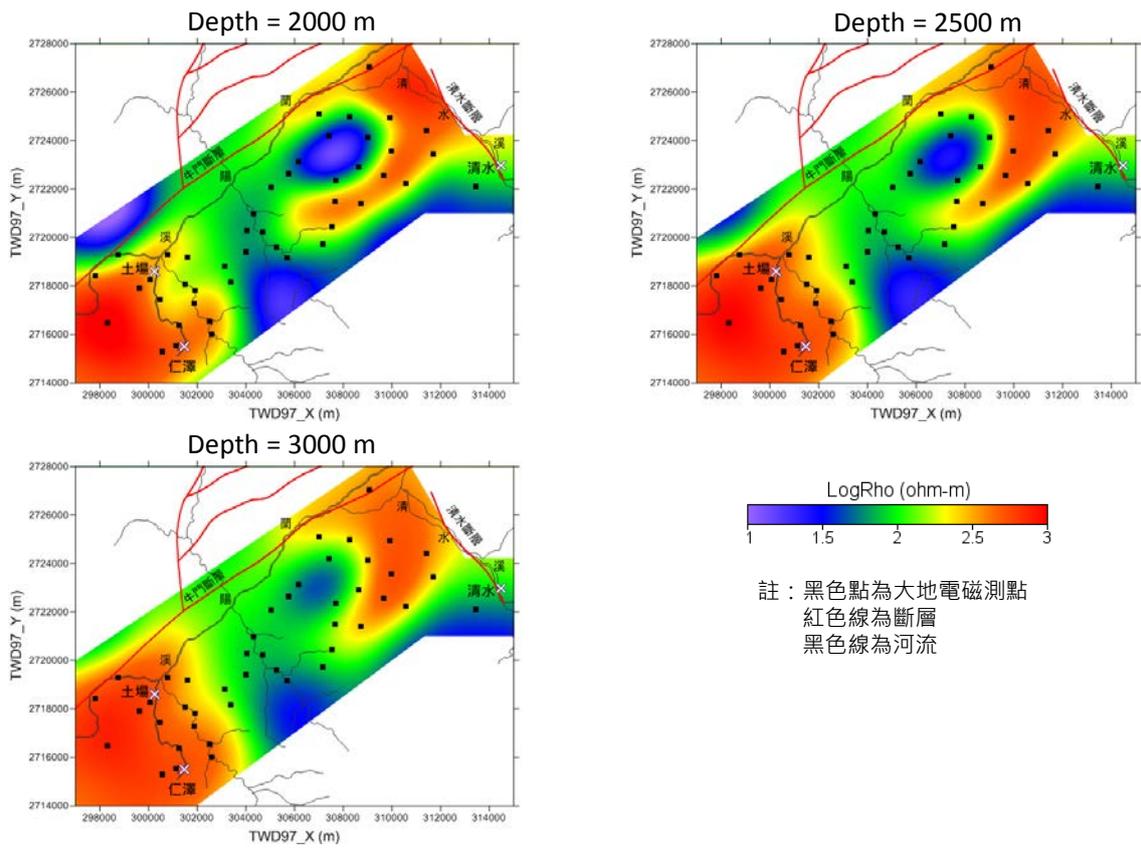


圖 75、土場地區三維電阻模型之等深度切片圖(0-3000m)

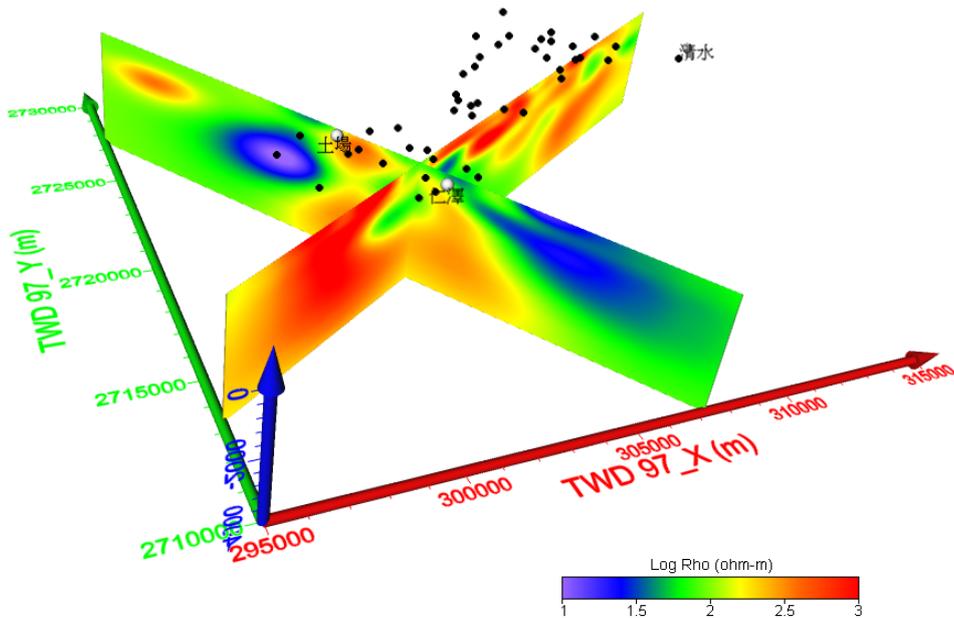


圖 76、土場仁澤地區之電阻剖面圖

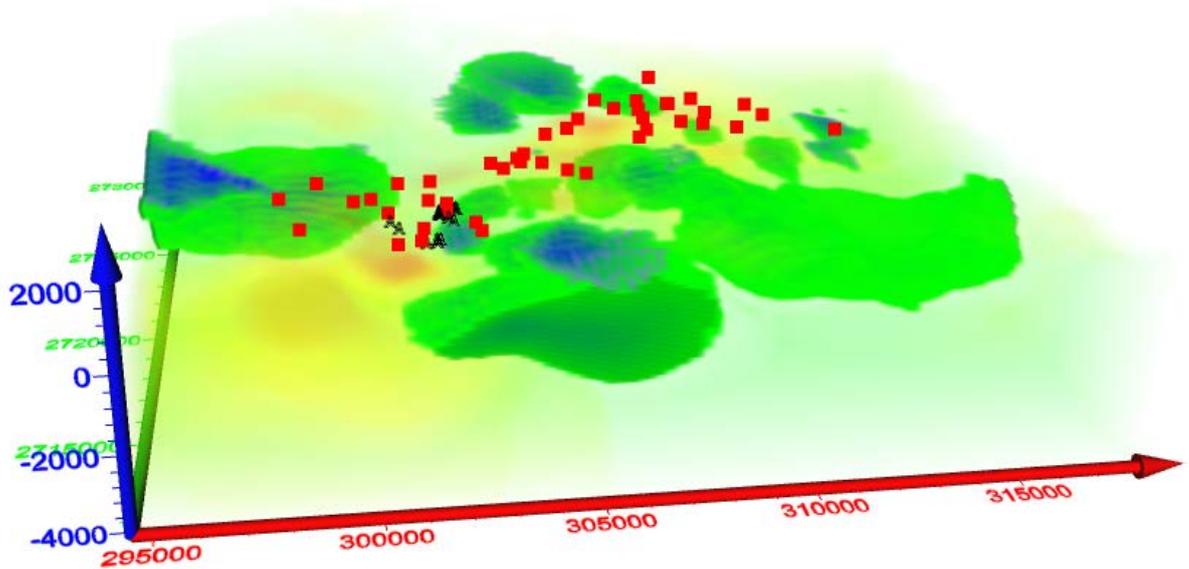


圖 77、清水至土場仁澤地區 50 ohm-m 等電阻面三維分布圖

(3) 地球化學測勘

藉由流體地球化學成份分析了解場址儲集層溫度與地下熱源與熱液特性，以提供建立地熱概念模式所需之基本資訊。本年度規劃的地球化學特性調查包含基本水質和水溶氣體分析等兩大項目，此外還會進行同位素分析項目包括：溫泉水之氫、氧同位素，以及溶解氣體之氮和碳同位素，藉以探討熱源與熱液流體之特性：

A. 現地踏勘與地熱水採集

包含現地資料量測和樣本採集，現地資料量測有基本的採樣點點位描述、座標記錄以及水溫、溶氧量、導電度、總固體溶解度、氧化還原電位和酸鹼值。樣本採集工作因分析項目不同，將以不同的採樣容器和方法採樣，方法說明如下：

(A) 溫泉水採樣

溫泉水樣本採樣時，先用 0.2 μm 的醋酸纖維濾紙進行溫泉水樣本過濾，過濾後的樣本先潤洗 HDPE 塑膠瓶數次後，再將樣本裝入瓶中，以確保樣品的代表性。為了分析水中主要的陰陽離子組成和氫氧同位素，則至少需要取 2 瓶樣本，要分析陽離子的樣品需在樣本採集後加入硝酸進行酸化，以避免二次反應作用。採樣分析之項目包含鋰、鈣、鎂、鉀、鈉、二氧化矽、硼、氯鹽、氟、硫酸鹽、碳酸氫鹽、銨鹽、砷、銻、鉍、銻、錫、鎳、鋇、鐵、錳等離子，據以估算地熱儲集層之溫度並瞭解水質特性，未來亦可供水文地質循環模式建置參考。

(B) 溫泉水水溶氣體採樣

利用溫泉水樣本將血清瓶潤洗後，並把量桶裝滿溫泉水樣本，隨即放入潤洗後的血清瓶以及訂製的稀有氣體採樣瓶，分別讓血清瓶和訂製的稀有氣體採樣瓶裝滿水且確認無任何氣泡殘留瓶中後，才可用灰塞和鋁蓋封瓶。樣本採集完成後倒放以避免水溶氣體發生逸散交換作用。分析項目包括：水氣、甲烷、二氧化碳、氮、氧、氫等水溶氣體含量分析，建構本地熱區氣體地球化學之背景資訊，作為解析地熱概念模式之基礎。

目前於調查範圍內之地熱潛能區仁澤和清水地區溫泉/地熱井、排骨溪和芄芄溫泉的野溪露頭、東溪橋和拳頭姆的淺井等 10 處地熱流體採樣點。並且採集周圍溪水做為背景資料以了解地熱水水質組成，採集位置分佈如圖 78、圖 79 為採樣區之現場照片。

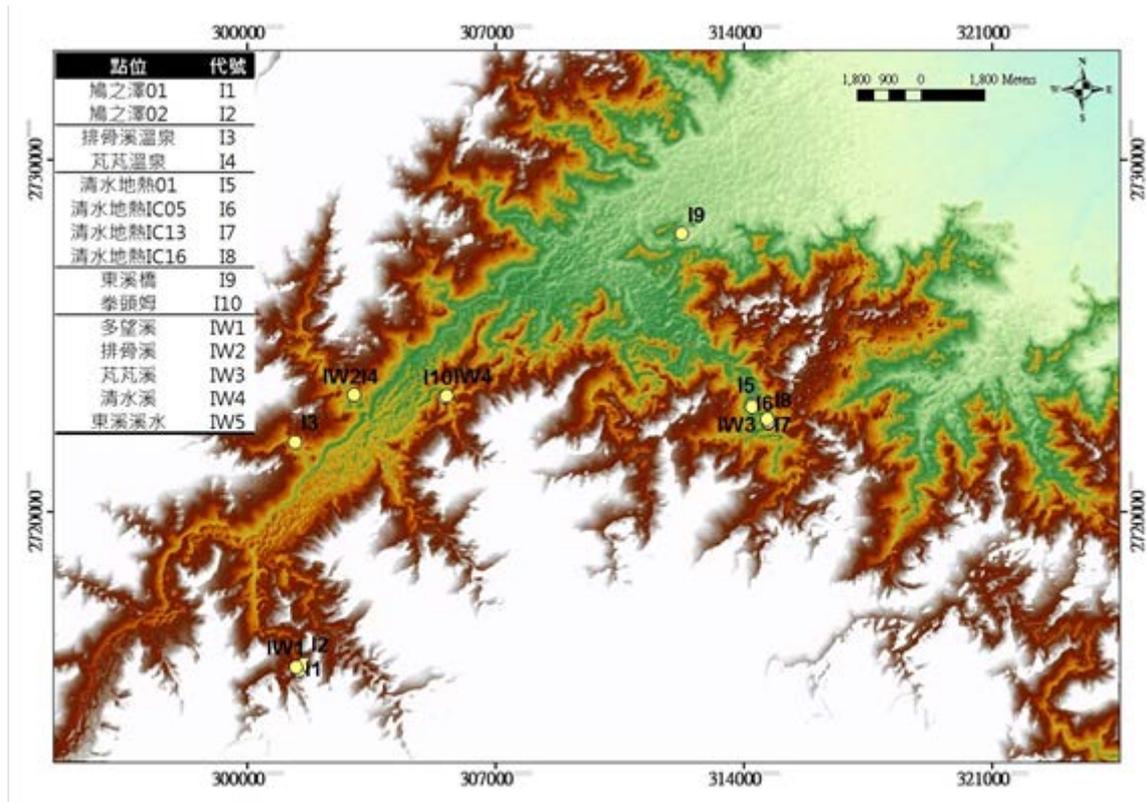


圖 78、清水-土場地熱潛能區採樣點位分佈圖



圖 79、清水-土場地熱潛能區溫泉樣本採集點位現場照片

採樣點位之座標資訊和露頭相關訊息列於表 21，仁澤地熱潛能區以鳩之澤兩處為代表，其中鳩之澤 02 為深井深度達 2300 公尺。英士村地區有兩處野溪露頭，分別為排骨溪溫泉和芄芄溫泉。在清水地熱潛能區，採集位於河床上的溫泉露頭和 3 口地熱自湧井。在朝出海口方向遠離距離主要地熱潛能區的東溪橋井和拳頭姆兩口 100 公尺深的淺井。

表 21、清水-土場地熱潛能區採樣位置作標資訊

| 採樣地點 | 縮寫 | 樣本描述 | 東經 (TWD97) | 北緯 (TWD97) |
|-----------|-----|-------|---------------|---------------|
| 鳩之澤 01 | I1 | 溫泉出水口 | 301449 | 2715506 |
| 鳩之澤 02 | I2 | 自湧井 | 301604 | 2715685 |
| 排骨溪溫泉 | I3 | 溫泉露頭 | 301334 | 2721991 |
| 芄芄溫泉 | I4 | 溫泉露頭 | 303010 | 2723329 |
| 清水地熱 01 | I5 | 溫泉露頭 | 314232 | 2723065 |
| 清水地熱 IC05 | I6 | 自湧井 | 314682 | 2722545 |
| 清水地熱 IC13 | I7 | 自湧井 | 314675 | 2722566 |
| 清水地熱 IC16 | I8 | 自湧井 | 314660 | 2722641 |
| 東溪橋 | I9 | 淺井 | 312233 | 2727919 |
| 拳頭姆 | I10 | 淺井 | 305553 | 2723281 |
| 多望溪 | IW1 | 溪水 | 301373 | 2715602 |
| 排骨溪 | IW2 | 溪水 | 301334 | 2721991 |
| 梵梵溪 | IW3 | 溪水 | 303012 | 2723329 |
| 清水溪 | IW4 | 溪水 | 314225 | 2723005 |
| 東溪溪水 | IW5 | 溪水 | 305622 | 2723312 |

現地量測水溫、溶氧量、導電度、總固體溶解度、氧化還原電位和酸鹼值，相關結果顯示在表 22。現地溫度調查結果指出仁澤地區的兩口出水溫度最高達 87.4°C，野溪溫泉受溪水和天氣交換作用影響，溫度通常較低，介於 50°C 至 69.7°C，其中在英士村地區的野溪溫泉溫度大約為 50°C，而清水地區較高約 70°C，意謂著清水地區的地熱潛能較大、影響較顯著。最高溫度出現在清水地熱區溫度最高，解壓後溫度高達 90°C 以上。位在外圍的東溪橋和拳頭姆淺井則因距離地熱潛能區較遠，所以溫度與溪水溫度相近並未有明顯的熱源流體影響其地下水。溶氧量於地熱水介於 1.8 mg/L 至 16.6 mg/L，鄰近溪水為 7 mg/L 至 11.3 mg/L。地熱水的導電度分佈為 320 μ S/cm 至 4263 μ S/cm，溪水的導電度偏低為 175 μ S/cm 至 356 μ S/cm。總溶解固體於地熱水介於 208 mg/L 至 3110 mg/L，溪水值通常較地熱水來的低，介於 111 mg/L 至 233

mg/L 之間。氧化還原電位大部分的地熱水和淺井地下水皆呈現還原狀態，其值介於-233 mV 至-283 mV，但拳頭姆淺井的地下水的氧化還原電位值偏高，其值為-18 mV，推測受地表水影響；溪水和英士村天然野溪溫泉水呈現氧化狀態，為 32 mV 至 145 mV 之間。酸鹼值(pH) 為偏鹼性溫泉水，介於 6.81 至 9.50，溪水偏中性其值介於 7.47 至 7.51。

表 22、清水-土場地熱潛能區溫泉水基本水質參數

| 採樣地點 | 縮寫 | 溫度 °C | 溶氧 mg/L | 導電度 µS/cm | 總固體溶 解度 mg/L | 氧化還 原電位 mv | 酸鹼值 pH |
|-----------|-----|----------|------------|--------------|--------------------|------------------|-----------|
| 鳩之澤 01 | I1 | 81.6 | 1.8 | 4263 | 3045 | -248 | 8.48 |
| 鳩之澤 02 | I2 | 87.4 | 16.6 | 4333 | 3110 | -275 | 8.30 |
| 排骨溪溫泉 | I3 | 54 | 4.9 | 1389 | 930 | 32 | 6.81 |
| 梵梵溫泉 | I4 | 50 | 5.8 | 1224 | 819 | 145 | 7.20 |
| 清水地熱 01 | I5 | 69.7 | 4.9 | 3505 | 2481 | -283 | 9.50 |
| 清水地熱 IC05 | I6 | 67.4 | 3.9 | 3577 | 2583 | -224 | 7.06 |
| 清水地熱 IC13 | I7 | 77.4 | 2.7 | 3843 | 2616 | -241 | 8.54 |
| 清水地熱 IC16 | I8 | 90.4 | 2.8 | 3860 | 2738 | -250 | 8.50 |
| 東溪橋 | I9 | 25.4 | 2.2 | 1214 | 841 | -233 | 8.66 |
| 拳頭姆 | I10 | 28 | 10.3 | 320 | 208 | -18 | 7.33 |
| 多望溪 | IW1 | 22.6 | n.a. | 356 | 233 | 50 | 8.21 |
| 排骨溪 | IW2 | 23.8 | 11.3 | 242 | 156 | 92 | 8.11 |
| 梵梵溪 | IW3 | 28.3 | 10.3 | 209 | 134 | 87 | 7.47 |
| 清水溪 | IW4 | 25.1 | 10.2 | 322 | 210 | 55 | 7.51 |
| 東溪溪水 | IW5 | 26.3 | 7 | 175 | 111 | 65 | 7.72 |

B. 地熱水水樣離子分析結果

本研究調查區域所採集到的溫泉水、地下水和溪水之成分組成分析結果列於表 23。以水中主要陰、陽離子當量濃度來分析本區水樣之水化學相，從 Piper 水質菱形圖(圖 80)中顯示，拳頭姆淺井和溪水(如：多望溪、排骨溪、

芄芄溪、清水溪和東溪)落在 Piper 水質圖中 I 區 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型，呈正常的河水與自由含水層之特徵。分析結果顯示地熱水/地下水：鳩之澤 01、鳩之澤 02、排骨溪溫泉、芄芄溫泉、清水地熱 01、清水地熱 IC05、清水地熱 IC13、清水地熱 IC16 和東溪橋等水體主要泉質為弱鹼性碳酸氫鈉泉，係經深循環影響而造成的現象。

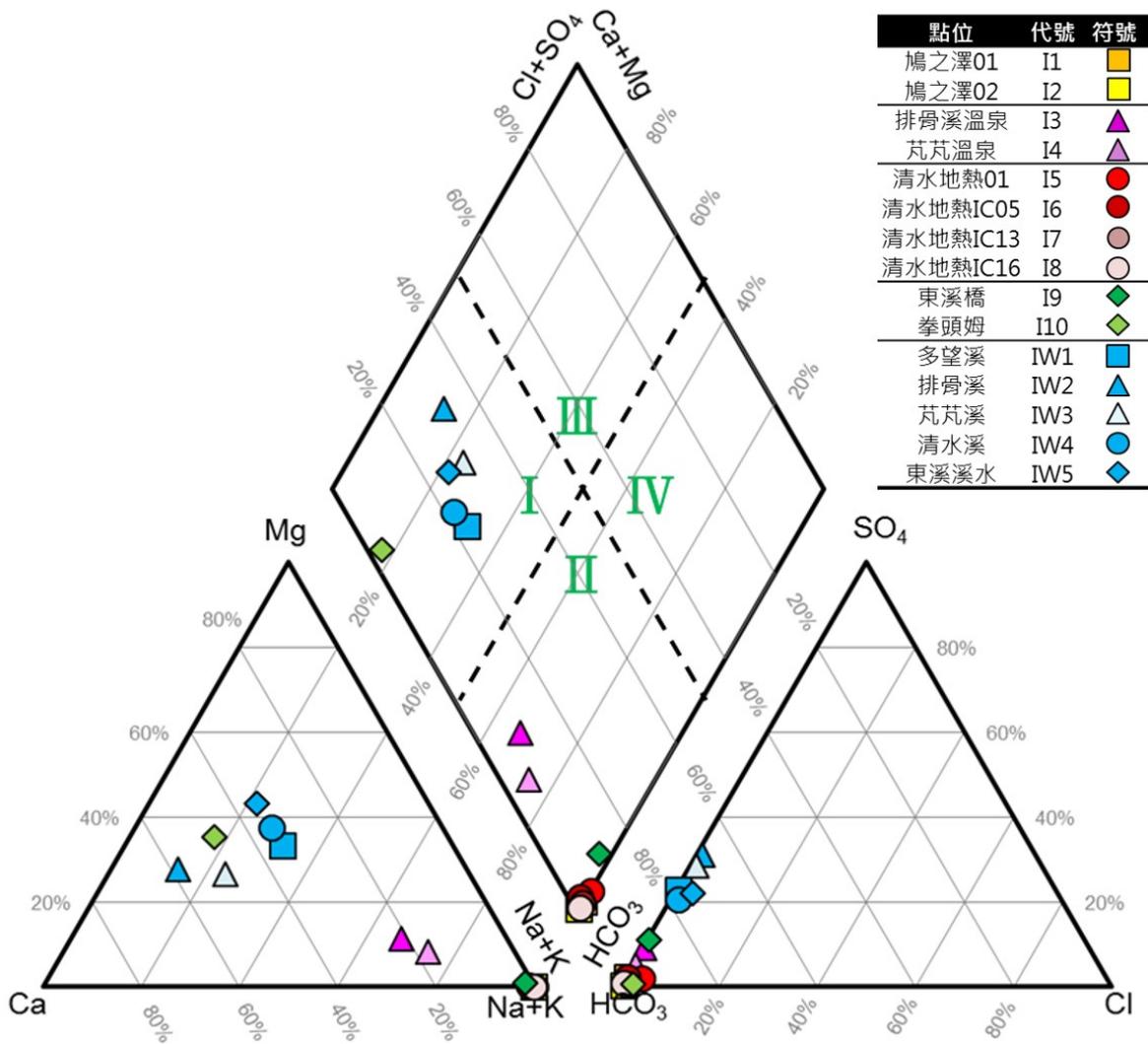


圖 80、清水-土場地熱潛能區水質菱形圖(Piper Plot)

表 23、清水-土場地熱潛能區水質成分組成

| 採樣地點 | 鋰 | 鈉 | 鉀 | 鎂 | 鈣 | 鐵 | 硼 | 錳 | 砷 | 銻 | 鉍 | 鋇 | 鋇 | 鎳 | 鉍 | 鉍 | 氯 | 氯 | 硫酸根 | 碳酸氫根 | 碳酸根 | 二氧化矽 |
|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|-----|------|
| | mg/L | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I1 | 9.05 | 1060 | 79.8 | 0.260 | 1.54 | 0.020 | 38.5 | b.d.1 | 0.253 | 2.59 | 0.220 | 0.630 | 0.250 | 18.2 | 6.78 | 5.99 | 46.5 | 2595 | 160 | 508 | | |
| I2 | 9.02 | 1034 | 77.5 | 0.280 | 1.54 | b.d.1 | 38.7 | b.d.1 | 0.053 | 2.41 | 0.186 | 0.630 | 0.230 | 17.5 | 6.85 | 5.95 | 9.83 | 2585 | 174 | 658 | | |
| I3 | 0.839 | 209 | 24.7 | 20.0 | 62.3 | 0.050 | 2.86 | 0.22 | 0.095 | 1.36 | 0.120 | 2.140 | 0.180 | 2.90 | 0.768 | 2.60 | 67.2 | 852 | b.d.1 | 46.5 | | |
| I4 | 0.712 | 207 | 19.4 | 12.8 | 44.9 | 0.010 | 1.34 | 0.12 | 0.025 | 1.47 | 0.173 | 2.300 | 0.240 | 4.67 | 1.26 | 2.42 | 33.5 | 766 | b.d.1 | 49.9 | | |
| I5 | 6.94 | 709 | 68.5 | 0.020 | 0.560 | 0.030 | 30.7 | b.d.1 | b.d.1 | 2.19 | 0.073 | 0.140 | 0.080 | 16.0 | 5.73 | 16.9 | 13.9 | 834 | 725 | 332 | | |
| I6 | 6.54 | 758 | 45.5 | 1.08 | 8.17 | 0.440 | 26.3 | 0.12 | 0.208 | 2.03 | 0.237 | 0.680 | 0.290 | 62.1 | 4.77 | 3.24 | 44.0 | 2321 | b.d.1 | 381 | | |
| I7 | 8.11 | 840 | 53.8 | 0.200 | 2.52 | 0.030 | 35.3 | b.d.1 | 0.234 | 2.23 | 0.160 | 0.430 | 0.410 | 27.0 | 7.91 | 18.5 | 13.2 | 2158 | 220 | 609 | | |
| I8 | 8.09 | 868 | 73.7 | 0.100 | 1.60 | 0.020 | 34.6 | b.d.1 | 0.156 | 2.56 | 0.164 | 0.470 | 0.190 | 23.4 | 6.90 | 4.40 | 17.3 | 2297 | 182 | 596 | | |
| I9 | 0.175 | 283 | 12.8 | 1.68 | 3.99 | 0.040 | 0.006 | b.d.1 | 0.408 | 2.13 | 0.131 | 0.210 | 0.100 | 1.04 | 1.36 | 1.72 | 71.7 | 299 | b.d.1 | 14.7 | | |
| I10 | b.d.1 | 9.62 | 8.60 | 15.8 | 35.2 | 0.370 | 0.004 | 0.1 | 0.205 | 1.37 | 0.197 | 0.240 | 0.090 | b.d.1 | 0.162 | 3.35 | 1.30 | 119 | b.d.1 | 40.9 | | |
| IW1 | 0.038 | 33.8 | 7.91 | 21.3 | 36.4 | b.d.1 | 0.113 | b.d.1 | 0.528 | 1.27 | 0.094 | 0.380 | 0.080 | 0.210 | 0.062 | 0.587 | 48.2 | 206 | b.d.1 | 7.78 | | |
| IW2 | b.d.1 | 7.76 | 1.59 | 9.44 | 32.8 | b.d.1 | 0.017 | b.d.1 | 0.332 | 1.38 | 0.064 | 0.290 | 0.080 | 0.284 | 0.045 | 1.17 | 43.2 | 119 | b.d.1 | 7.71 | | |
| IW3 | 0.033 | 11.1 | 1.57 | 7.20 | 22.1 | 0.030 | 0.203 | 0.01 | 0.339 | 1.20 | 0.127 | 0.300 | 0.070 | 0.253 | 0.058 | 1.13 | 37.2 | 116 | b.d.1 | 7.82 | | |
| IW4 | b.d.1 | 30.6 | 5.41 | 24.4 | 37.2 | 0.010 | 0.059 | b.d.1 | 0.038 | 1.30 | 0.110 | 0.350 | 0.070 | 0.158 | 0.065 | 1.94 | 38.7 | 185 | b.d.1 | 6.90 | | |
| IW5 | b.d.1 | 8.64 | 1.08 | 9.72 | 12.9 | 0.020 | 0.027 | b.d.1 | 0.603 | 1.34 | 0.053 | 0.190 | 0.070 | 0.207 | 0.095 | 2.28 | 18.4 | 78.8 | b.d.1 | 9.21 | | |

*b.d.1 低於分析儀器之偵測極限

以 Stiff 水質圖評估顯示，仁澤地區地熱水：鳩之澤 01 井和鳩之澤 02 井屬 $(\text{Na}^{++}\text{K}^{+})$ 和 $(\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{2-})$ 型(圖 81)。英士地區野溪溫泉：排骨溪溫泉和芄芄溫泉屬 $(\text{Na}^{++}\text{K}^{+})$ 和 $(\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{2-})$ 型(圖 82)。清水地區地熱水：清水地熱 01、清水地熱 IC05、13、16 號井皆屬於 $(\text{Na}^{++}\text{K}^{+})$ 和 $(\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{2-})$ 型(圖 83)。位在外圍的東溪橋和拳頭姆分別屬於 $(\text{Na}^{++}\text{K}^{+})$ 和 $(\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{2-})$ 型和 Ca^{2+} 和 $(\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{2-})$ 型(圖 84)。

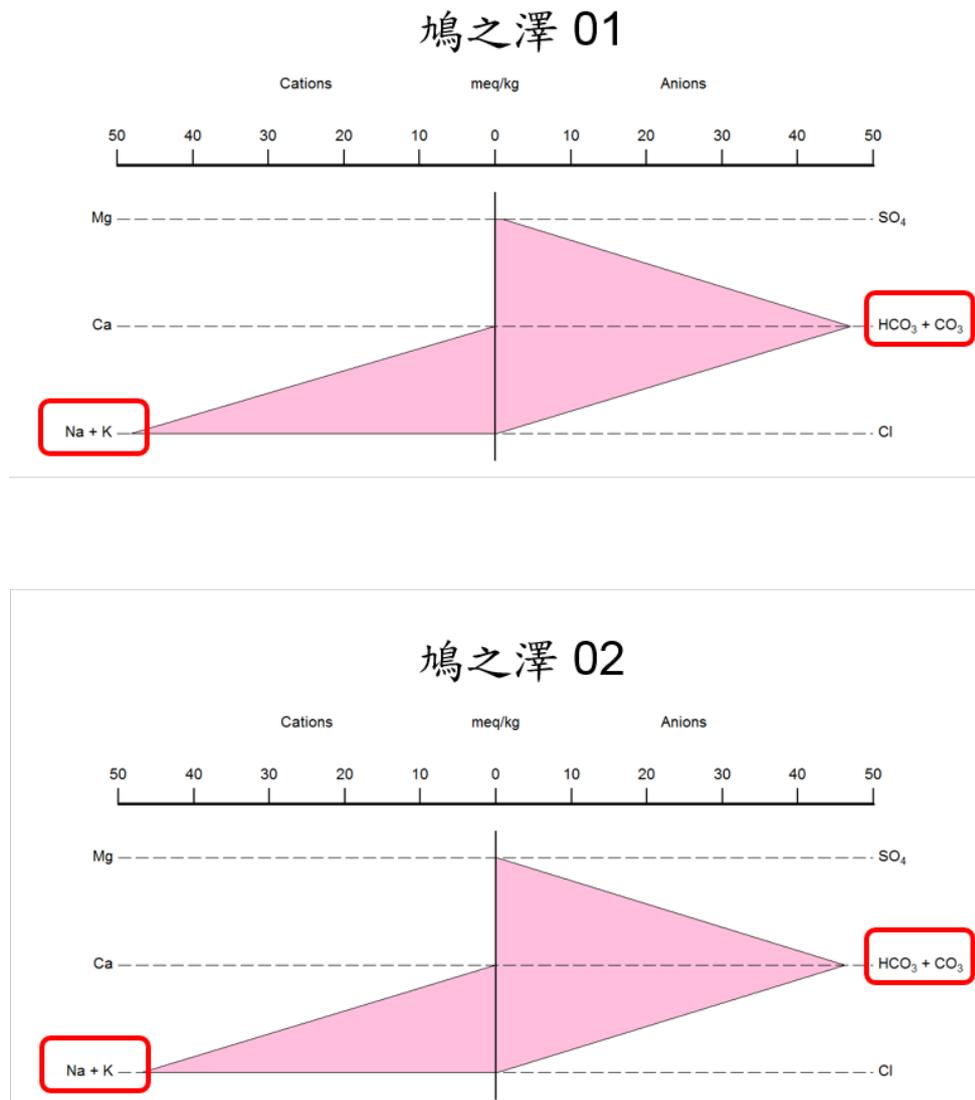
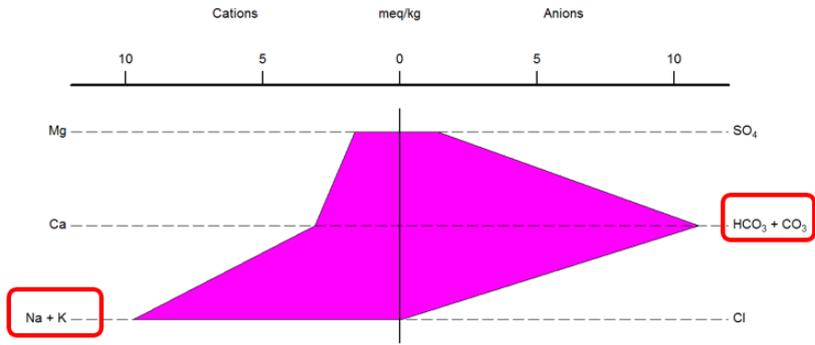


圖 81、仁澤地區 Stiff 水質圖

排骨溪溫泉



芄芄溫泉

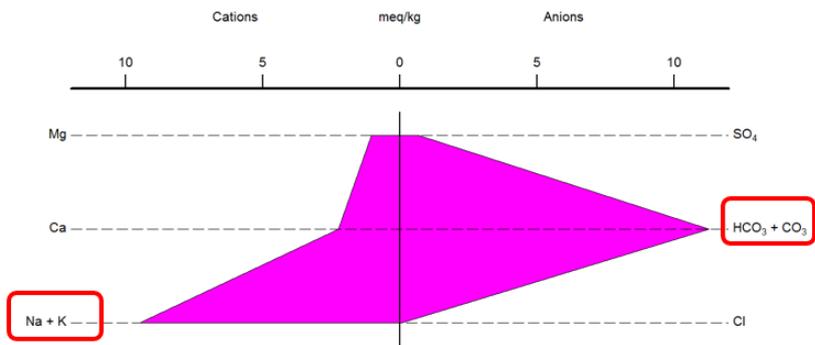


圖 82、英士地區 Stiff 水質圖

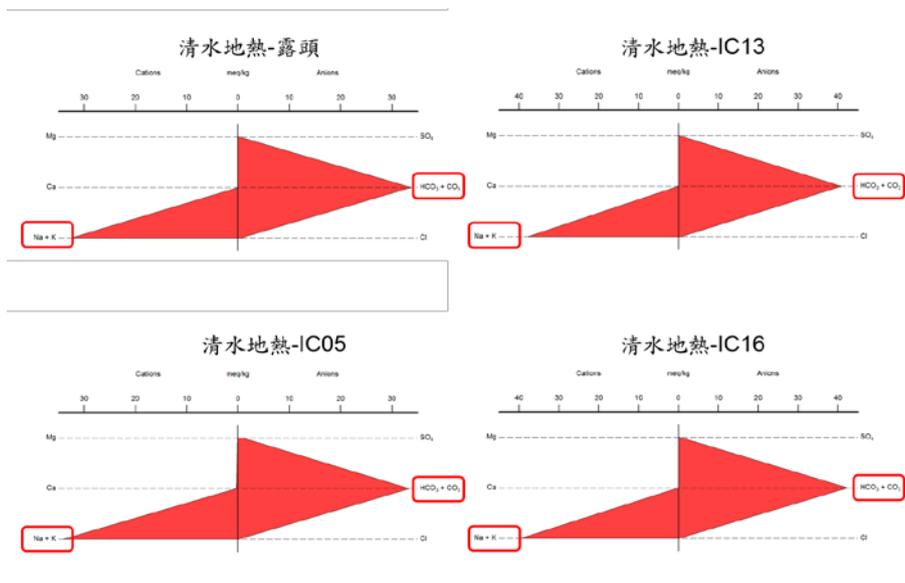


圖 83、清水地區 Stiff 水質圖

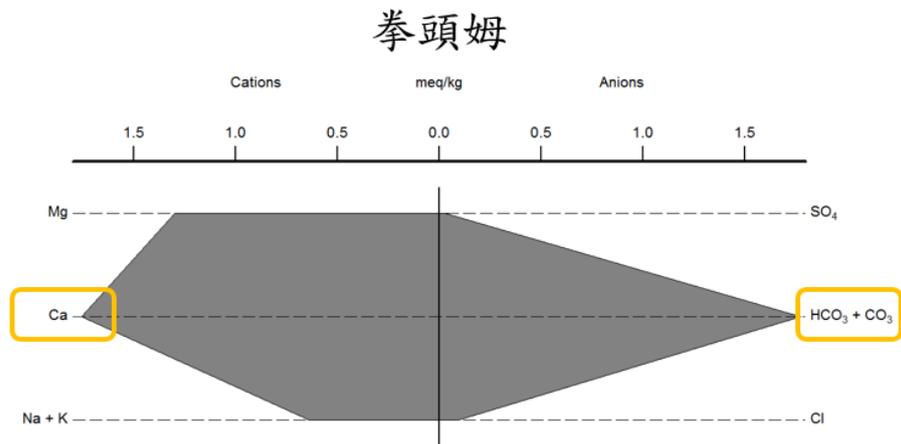
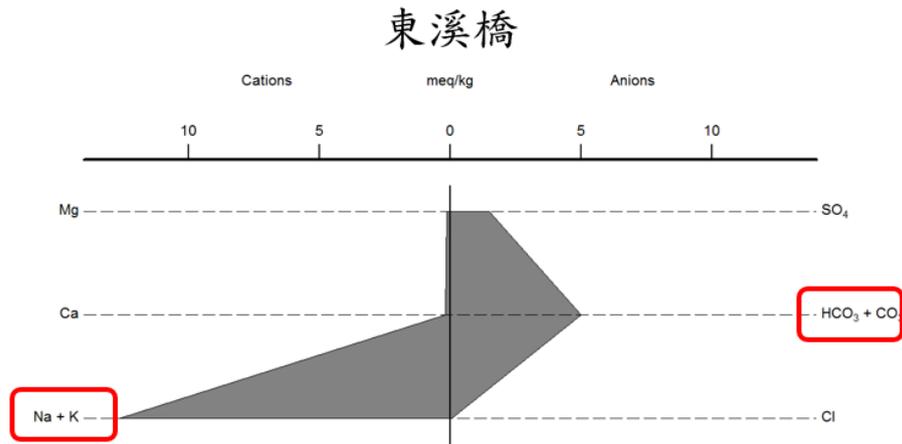


圖 84、東溪橋和拳頭姆淺井 Stiff 水質圖

C. 地熱水水溶氣體分析結果

水溶氣分析結果顯示如表 24 所示。水溶氣體中氫氣含量佔 0.4 至 1%；氮氣佔 45 至 93%；甲烷佔 0 至 0.3%；二氧化碳佔 0.1 至 49%；氧氣佔 4 至 13%。整體來說主要組成為氮氣、二氧化碳和氧氣。水氫結果水氫濃度變化自 0 至 9.45 Bq/L，其中以芄芄溫泉的水氫濃度最高，其值為 9.45 Bq/L 明顯高於芄芄溪水(0.12 Bq/L)，代表有其

他的氦氣來源供應，可能與當地岩性相關。其次為清水溪(3.01 Bq/L)，但地熱水的氦氣濃度卻偏低(小於 1 Bq/L)，推測是受到週圍其他水體補注但因為溫度上升而降低氦氣在中的溶解度，故而呈現偏低數值。

表 24、清水-土場地熱潛能區水溶氣體成分組成與同位素組成

| 縮寫 | $^3\text{He}/^4\text{He}$ Ra | 水氣 (Bq/L) | Ar | N ₂ | CO | CH ₄ | CO ₂ | C ₂ H ₆ | C ₃ H ₈ | He | H ₂ | O ₂ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^2\text{H}$ |
|-----|---------------------------------|--------------|-------|----------------|-------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|----------------|----------------|-----------------------|--------------------|
| | | | | | | | (Vol %) | | | | | | (‰) | |
| I1 | 1.13 | 0.15 | 0.35% | 86.53% | 0.00% | 0.02% | 1.47% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 11.63% | -6.18 | -65.93 |
| I2 | 1.00 | 0.12 | 1.38% | 88.03% | 0.00% | 0.03% | 0.13% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 10.43% | -5.95 | -65.98 |
| I3 | 1.03 | 0.52 | 0.65% | 48.64% | 0.00% | 0.00% | 44.54% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 6.17% | -8.57 | -54.06 |
| I4 | 0.78 | 9.45 | 0.65% | 44.70% | 0.00% | 0.00% | 49.37% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 5.28% | -8.39 | -52.29 |
| I5 | 1.03 | 0.9 | 0.35% | 92.79% | 0.00% | 0.00% | 2.75% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 4.12% | -4.94 | -47.25 |
| I6 | 0.99 | 0.08 | 1.04% | 44.46% | 0.00% | 0.27% | 48.51% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 5.71% | -5.58 | -50.72 |
| I7 | 1.04 | 0 | 0.97% | 87.09% | 0.00% | 0.03% | 0.62% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 11.29% | -5.31 | -50.60 |
| I8 | 1.05 | 0.11 | 1.11% | 85.21% | 0.00% | 0.05% | 0.77% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 12.86% | -5.32 | -50.55 |
| I9 | 0.84 | 0.24 | 1.42% | 89.58% | 0.00% | 0.00% | 0.14% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 8.86% | -6.73 | -38.20 |
| I10 | 0.93 | 0.23 | 1.20% | 83.33% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 15.47% | -6.64 | -39.51 |
| IW1 | n.a. | 0.08 | 1.18% | 78.57% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 20.25% | -9.02 | -57.66 |
| IW2 | n.a. | 0.9 | | | | | n.a. | | | | | | -7.78 | -45.28 |
| IW3 | n.a. | 0.12 | | | | | n.a. | | | | | | -7.90 | -46.08 |
| IW4 | n.a. | 3.01 | 1.37% | 85.33% | 0.00% | 0.00% | 0.51% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 12.80% | -6.34 | -33.85 |
| IW5 | n.a. | 0.12 | 1.05% | 76.46% | 0.00% | 0.00% | 0.04% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 22.45% | -6.46 | -36.47 |

*水溶氣體濃度以體積百分比表示

**氦氣同位素以‰ V-SMOW

***n.a. 表示未分析

氦同位素比值($^3\text{He}/^4\text{He}$)變化介於 0.78 Ra 至 1.13 Ra，(1 Ra 為 $1.39\text{E}-6$)，結合 $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比值研析氦氣的來源以及大氣、地函和地殼三個主要端成分的貢獻比例(圖 85)。結果顯示仁澤地區氦氣主要源自於大氣和地殼混染；英士地區氦氣源自於地殼和大氣混合；清水地區氦氣源自於地殼和大氣混合；外圍淺井地下水主要源自於大氣。碳同位素分析結果顯示 -8.6‰ 至 -20.6‰ ，拳頭姆 (-20.6‰) 有較明顯受到生物作用影響。氦氣同位素關係圖(圖 86)顯示仁澤地區的鳩之澤 01(I1)和鳩之澤 02(I2)以及清水地區的清水地熱 01(I5)、清水地熱 IC05(I6)、清水地熱 IC13(I7)和清水地熱 IC16(I8)遠離天水線，代表該地區的地熱水可能受到熱與圍岩反應使得氧同位素偏重。若假

設本區的水源只由雨水補注，根據黃群均(2016)所建立的台灣北部地區全年雨水同位素高程回歸方程式： $\delta^{18}\text{O} = -4.7 - (2.5Z * 10^{-3})$ ，其中 Z 代表高程單位為公尺，計算結果為仁澤地區地熱水補注高程推測為 500-600 公尺；英士地區地熱水補注高程推測為 1500-1600 公尺；清水地區地熱水補注高程推測為 100-350 公尺，外圍淺井地下水補注高程推測為 770-810 公尺。

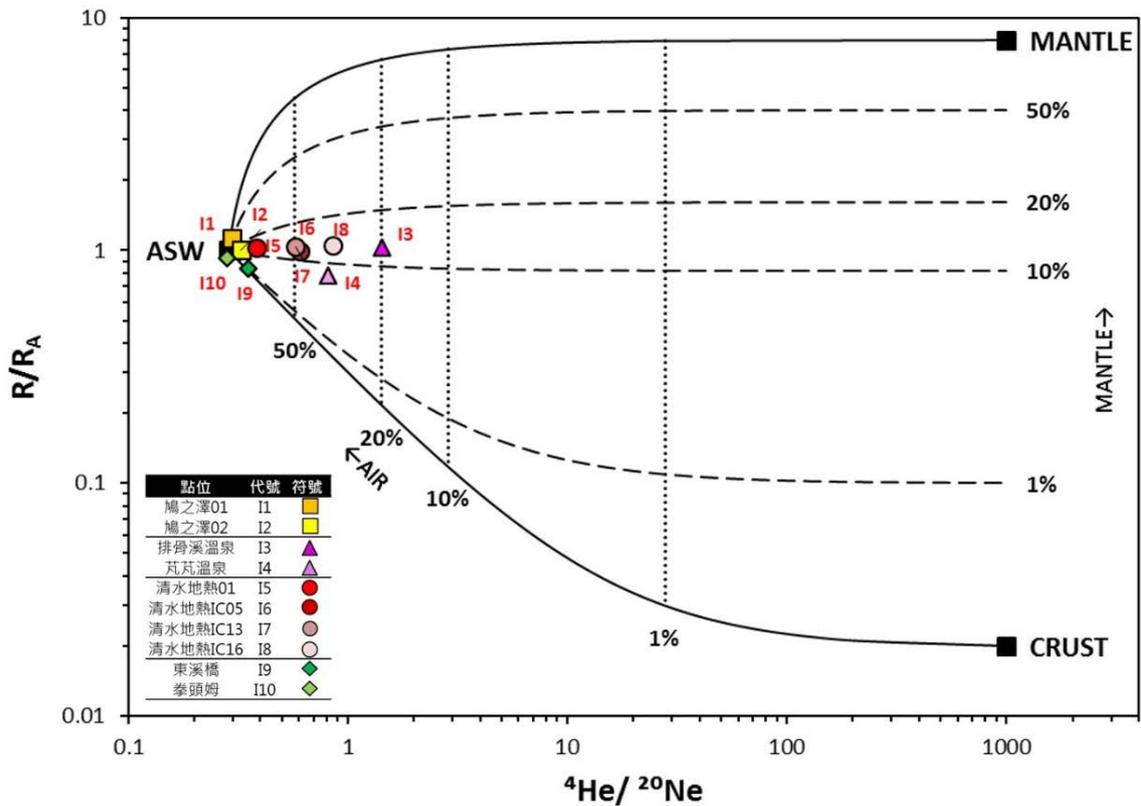


圖 85、清水-土場地熱潛能區水溶氦氣和氬氣同位素關係圖

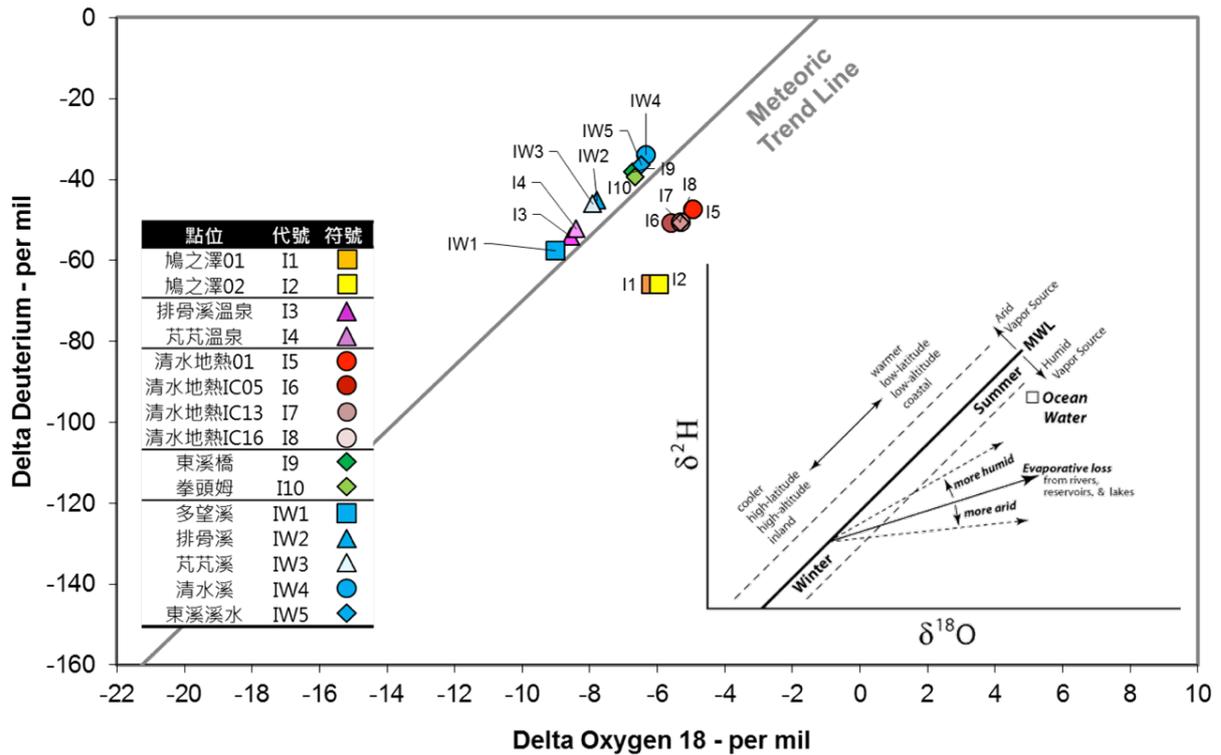


圖 86、清水-土場地熱潛能區地熱水和溪水氫氧同位素關係圖

D. 地質溫度計

於清水地熱至土場仁澤之間的溫泉、河水及井下水體所屬的岩性不外乎是板岩、硬頁岩及變質砂岩。然而，這些岩石以 X 光繞射分析的資料顯示，幾乎為石英及片狀黏土礦物所組成。故本研究計畫以二氧化矽地質溫度計推估地熱儲集層之溫度。依其環境條件而使用相對應的石英地質溫度計公式(Karingithi, 2009)，其公式如下：

最大蒸汽損失(石英)

$$T \text{ } ^\circ\text{C} = 1522 / (5.75 - \log(\text{SiO}_2)) - 273.15 \quad (\text{Fournier, 1977})$$

沒有蒸汽損失(石英)

$$T\text{ }^{\circ}\text{C} = 1309 / (5.19 - \log(\text{SiO}_2)) - 273.15 \quad (\text{Fournier, 1977})$$

玉髓地質溫度計

$$T\text{ }^{\circ}\text{C} = 1112 / (4.91 - \log(\text{SiO}_2)) - 273.15 \quad (\text{Arnorsson et al., 1983})$$

非晶質石英地質溫度計

$$T\text{ }^{\circ}\text{C} = 731 / (4.52 - \log(\text{SiO}_2)) - 273.15 \quad (\text{Fournier, 1977})$$

儲集層溫度估算結果仁澤地區最高溫約 250°C；英士地區約 100°C；清水地熱區介於 220°C 至 270°C，位於外圍的東溪橋和拳頭姆地區並不適用此溫度計來估算其地層溫度。

表 25、清水-土場地熱潛能區二氧化矽地質溫度計估算儲集層溫度

| 點位 | 溫度 (°C) | 溫度計 |
|----------|---------|------------|
| 鳩之澤01 | 254 | 沒有蒸汽損失(石英) |
| 鳩之澤02 | 246 | 最大蒸汽損失(石英) |
| 排骨溪溫泉 | 98 | 沒有蒸汽損失(石英) |
| 芩芩溫泉 | 102 | 沒有蒸汽損失(石英) |
| 清水地熱01 | 217 | 最大蒸汽損失(石英) |
| 清水地熱IC05 | 229 | 最大蒸汽損失(石英) |
| 清水地熱IC13 | 271 | 最大蒸汽損失(石英) |
| 清水地熱IC16 | 269 | 最大蒸汽損失(石英) |
| 東溪橋 | - | 不適用 |
| 拳頭姆 | - | 不適用 |

1.2.1.2 磺嘴山區地熱資源補充調查

磺嘴火山位於大屯火山群的東北側，噴發年代約在 0.6 百萬年前，周圍有四磺子坪、煥子坪兩個火山噴氣孔，顯示磺嘴火山的地熱活動仍然相當旺盛。依前 2 年度(FY104、FY105) 調查結果，低電阻區自火山噴發口(國家公園內)向東北方金山-萬里地區延伸。FY105 僅針對四磺子坪地區進行較詳盡的調查與探勘井鑽鑿，本年度則擴大調查範圍，自國家公園邊界向東北延伸至海岸線，以獲得磺嘴火山區地熱潛能區的分布情形，綜合地球物理資料、地球化學分析與水文地質圖繪製，期獲得本區域其他具備地熱開發潛能的區塊，提供新北市政府 BOT 招商規劃。

(1) 地球物理補充調查

本年度於國家公園邊界至金山萬里海岸線之間進行大地電磁探測補充調查與反射震測，說明如下：

A. 大地電磁探測

(A) 測站分布

本年度規劃於磺嘴山區之東北側，金山萬里一帶區域，進行補充調查，以期整合過去於大屯火山地區之大地電磁調查資料，建立三維電阻模型，以獲得更完整的大屯火山區地質構造與地熱資源資訊，提供未來地熱開發潛能評估之重要參考資料。為配合後續採用三維逆推資料處理，本年度測點大致採平均方式布置，總計於磺嘴山東北側，完成了 13 個測點，測站分布如圖 87，測點座標如表 26 中測點編號 H-01~H-13。

(B) 資料處理

大地電磁探測之資料處理作業，詳同前節-宜蘭清水至土場

資源調查之大地電探測所述。圖 88所示為本年度於磺嘴山東北側調查區域所完成的視電阻率與相位曲線。茲綜合本年度與過去的大地電磁探測資料，依據測站的地理分布位置與資料品質，總計於大屯山地區選取 72 個測站資料，使用 WSINV3DMT 程式進行三維逆推處理與三維電阻模型之建構，各測點座標如表 26。三維逆推係使用大地電磁探測所量測兩組方向相互垂直方向的阻抗張量(impedance tensor)，包含 Z_{xx} 、 Z_{xy} 、 Z_{yx} 、 Z_{yy} 等全張量資料，平均選取 1 至 6000Hz 中的 16 組頻段，進行逆推處理，以獲得三維電阻率模型，可依需要擷取切面圖或剖面圖進行後續分析。

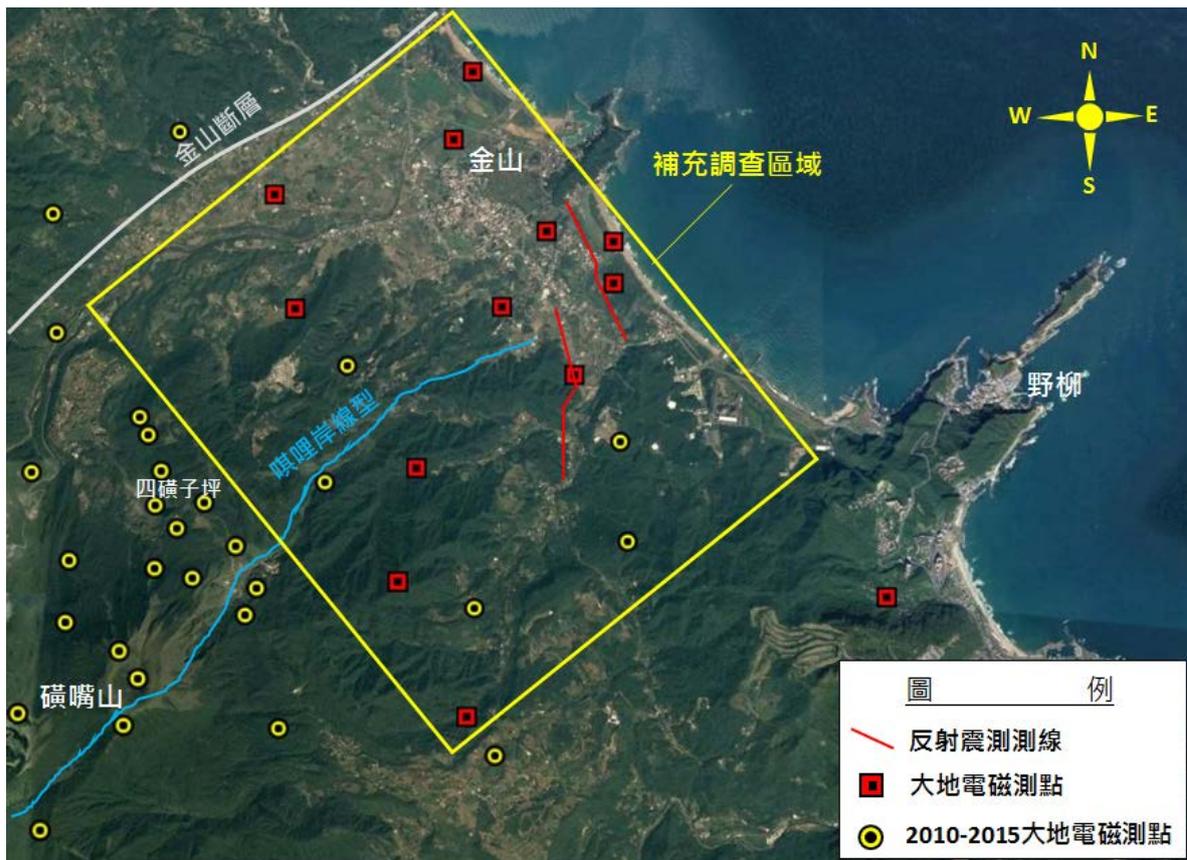


圖 87、磺嘴山東北地區大地電磁測站與反射震測測線分布圖

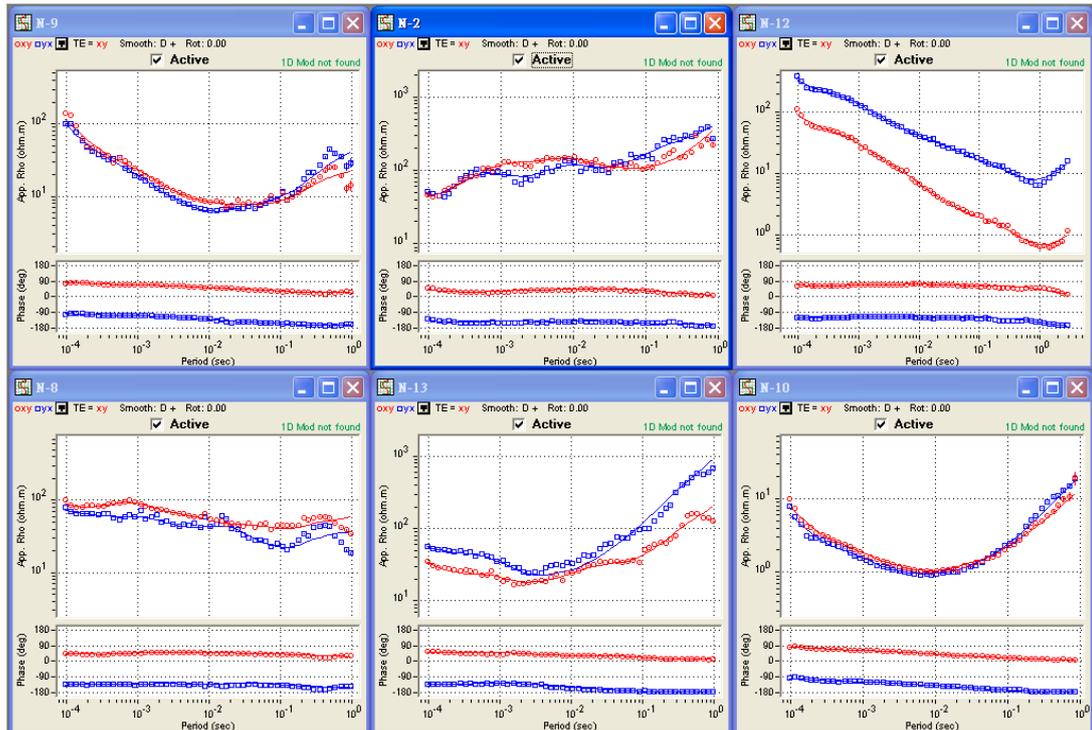


圖 88、磺嘴山區大地電磁測勘結果之視電阻率與相位曲線

表 26、大屯火山區大地電磁測點座標

| 測點編號 | 座標 (TWD97) | | 測點編號 | 座標 (TWD97) | |
|------|------------|-----------|-------|------------|-----------|
| | X | Y | | X | Y |
| A-01 | 302848.5 | 2786747.0 | N-08 | 312054.9 | 2786564.4 |
| A-03 | 306748.0 | 2786873.5 | N-09 | 311444.1 | 2786663.2 |
| A-05 | 309148.5 | 2786616.1 | N-10 | 311074.1 | 2786756.9 |
| A-06 | 311845.8 | 2786978.9 | N-11 | 310208.6 | 2786823.0 |
| A-07 | 310882.0 | 2785263.7 | N-13 | 311011.6 | 2785707.4 |
| A-08 | 308516.3 | 2785828.7 | N-14 | 310831.2 | 2785971.2 |
| A-09 | 305314.2 | 2785584.5 | YM-01 | 310420.4 | 2780750.8 |
| A-10 | 302811.4 | 2784036.1 | YM-06 | 309723.2 | 2787714.0 |
| A-15 | 310099.6 | 2784263.3 | YM-07 | 310236.5 | 2786230.0 |
| A-16 | 311045.3 | 2783809.0 | YM-08 | 312307.5 | 2785199.4 |
| A-17 | 307748.2 | 2783403.9 | YM-09 | 313172.5 | 2783455.7 |
| A-21 | 304349.6 | 2781737.5 | YM-10 | 315993.7 | 2781484.4 |
| A-23 | 309352.0 | 2781041.5 | YM-13 | 309862.3 | 2785369.9 |
| A-24 | 311205.4 | 2781852.8 | YM-14 | 311527.5 | 2787408.2 |
| B-01 | 306244.6 | 2785376.0 | YM-15 | 312884.3 | 2788823.7 |
| B-02 | 310067.9 | 2781930.8 | YM-17 | 311791.4 | 2781701.6 |
| B-04 | 304316.8 | 2785728.2 | YM-18 | 314425.7 | 2784920.1 |

| | | | | | |
|------|----------|-----------|-------|----------|-----------|
| B-05 | 309618.7 | 2783461.2 | YM-22 | 300209.8 | 2785607.7 |
| C-05 | 306745.9 | 2784704.3 | YM-23 | 301945.5 | 2783463.5 |
| C-08 | 307969.4 | 2784075.6 | YM-28 | 308866.8 | 2778590.2 |
| C-09 | 306757.3 | 2785984.3 | YM-30 | 306829.4 | 2790827.7 |
| C-10 | 307257.8 | 2784161.8 | YM-31 | 308744.3 | 2789429.7 |
| D-06 | 311958.1 | 2786302.4 | YM-36 | 307018.6 | 2783108.5 |
| D-07 | 312691.1 | 2787625.8 | YM-37 | 308258.2 | 2783999.9 |
| D-11 | 311109.8 | 2791258.7 | H-01 | 312330.0 | 2789422.0 |
| D-12 | 310837.7 | 2788266.6 | H-02 | 315210.0 | 2788745.0 |
| D-13 | 309851.4 | 2790369.9 | H-03 | 312087.0 | 2790628.0 |
| D-14 | 309884.8 | 2789157.8 | H-04 | 314136.0 | 2791948.0 |
| D-19 | 315745.5 | 2787043.4 | H-05 | 314182.0 | 2785317.0 |
| D-24 | 314206.0 | 2786368.3 | H-07 | 314453.0 | 2789461.0 |
| D-41 | 308919.6 | 2783775.3 | H-08 | 313605.0 | 2787779.0 |
| D-86 | 315679.7 | 2788064.0 | H-09 | 315611.0 | 2789714.0 |
| N-01 | 311259.8 | 2787151.6 | H-10 | 315613.0 | 2790152.0 |
| N-03 | 311020.9 | 2787381.3 | H-11 | 313947.0 | 2791214.0 |
| N-06 | 311078.1 | 2787723.1 | H-12 | 313456.0 | 2786636.0 |
| N-07 | 310933.7 | 2788085.5 | H-13 | 314918.0 | 2790256.0 |

(C) 三維電阻模型

大地電磁探測之主要目標在於從建立之三維電阻率模型尋找地熱儲集構造。圖 89 為經逆推後獲得的三維電阻率模型 (3D resistivity model)，解析深度為 4,000 公尺，理論值與觀測值間之均方根誤差為 1.992%，顯示資料收斂良好且落在可接受範圍內，故逆推結果可用於後續解釋工作。圖 90 所示為大屯山地區兩組垂直方向之電阻剖面，圖 91 為三維電阻模型之不同深度的電阻率等深度切面圖 (depth slice)。而圖 92 則為地層電阻為 20 ohm-m 的等電阻面三維分布。

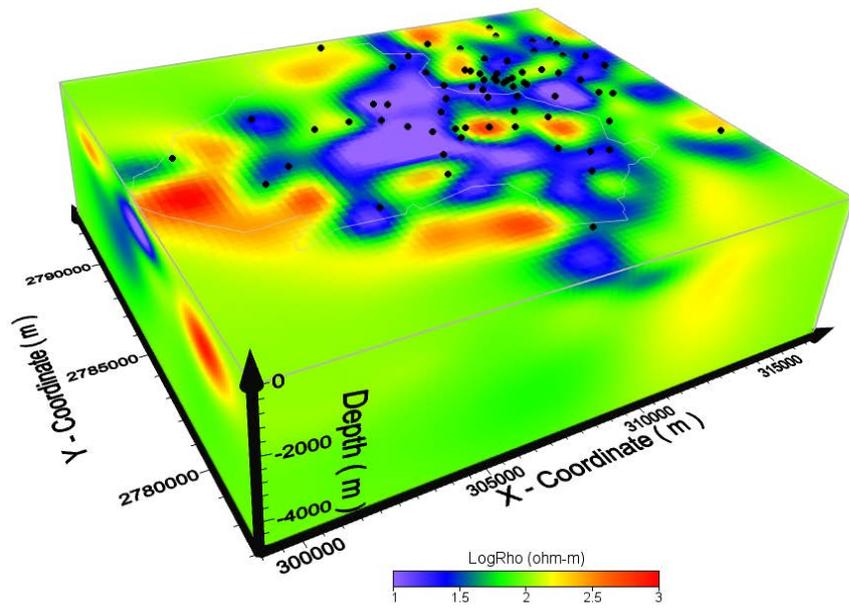


圖 89、大屯山地區之三維電阻模型
(註:黑色點為大地電磁測點)

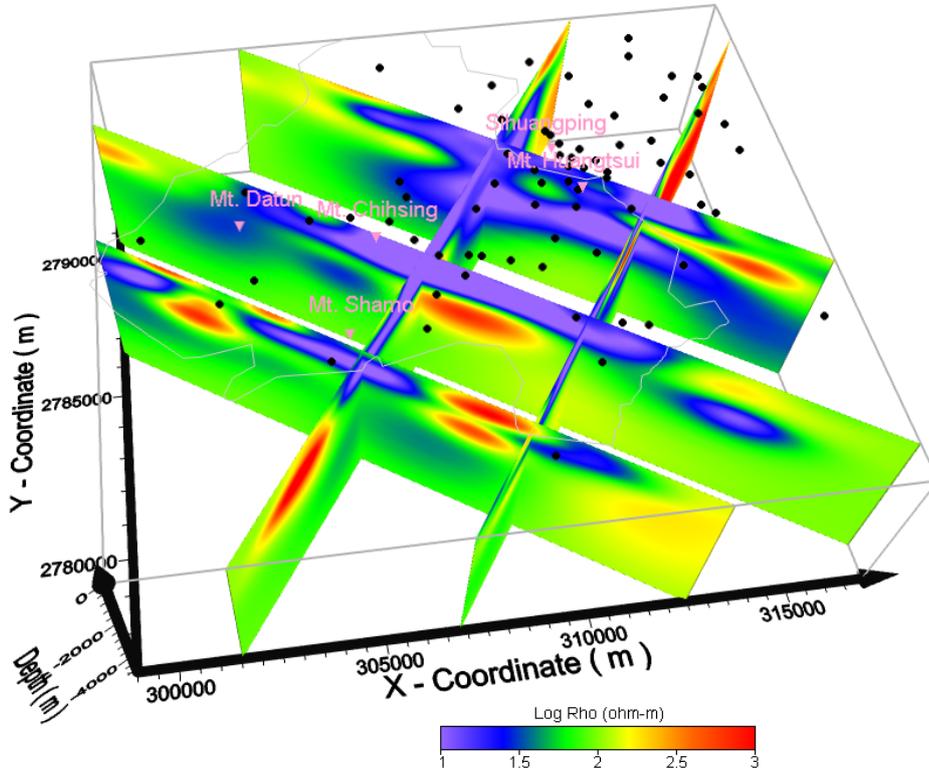
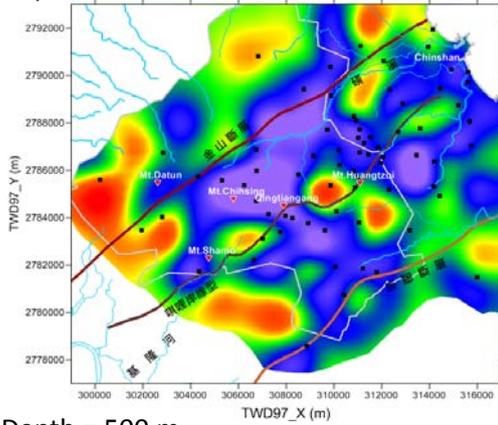
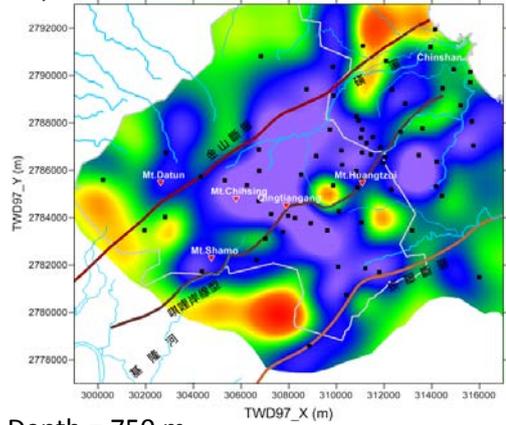


圖 90、大屯山地區之電阻剖面圖

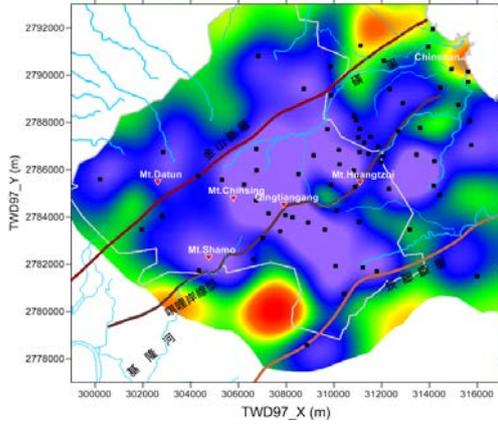
Depth = 0 m



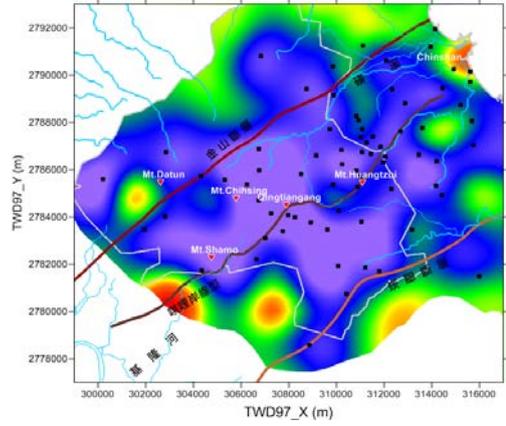
Depth = 250 m



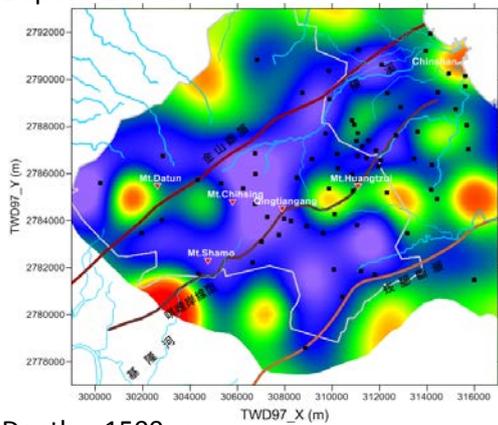
Depth = 500 m



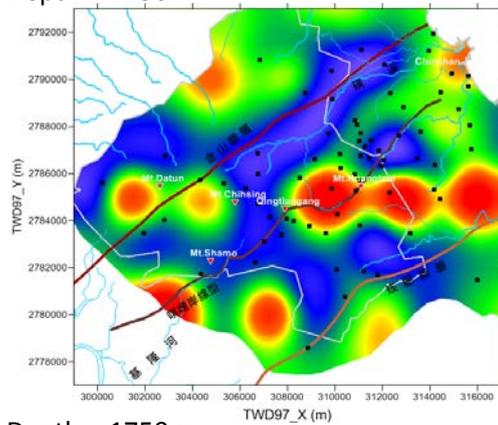
Depth = 750 m



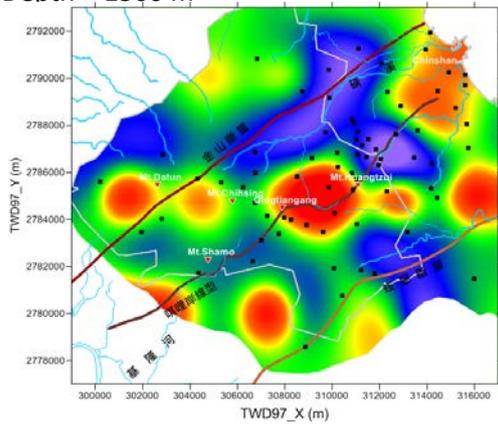
Depth = 1000 m



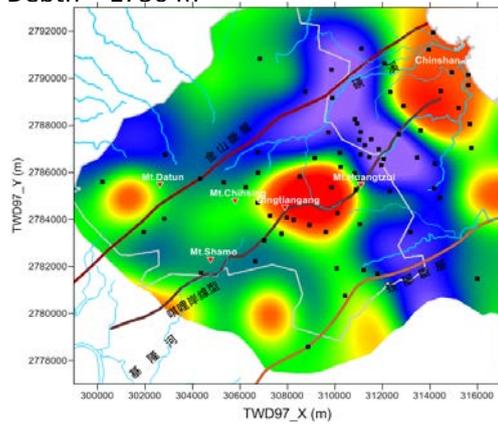
Depth = 1250 m



Depth = 1500 m



Depth = 1750 m



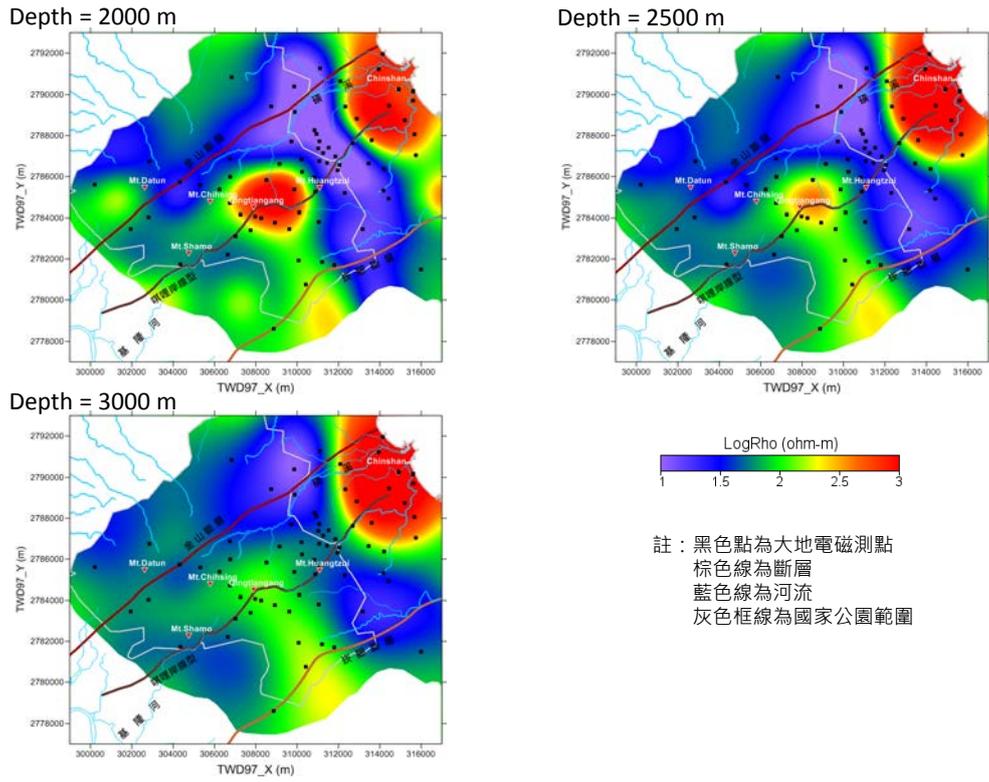


圖 91、大屯山地區三維電阻模型之等深度切片圖(0-3000m)

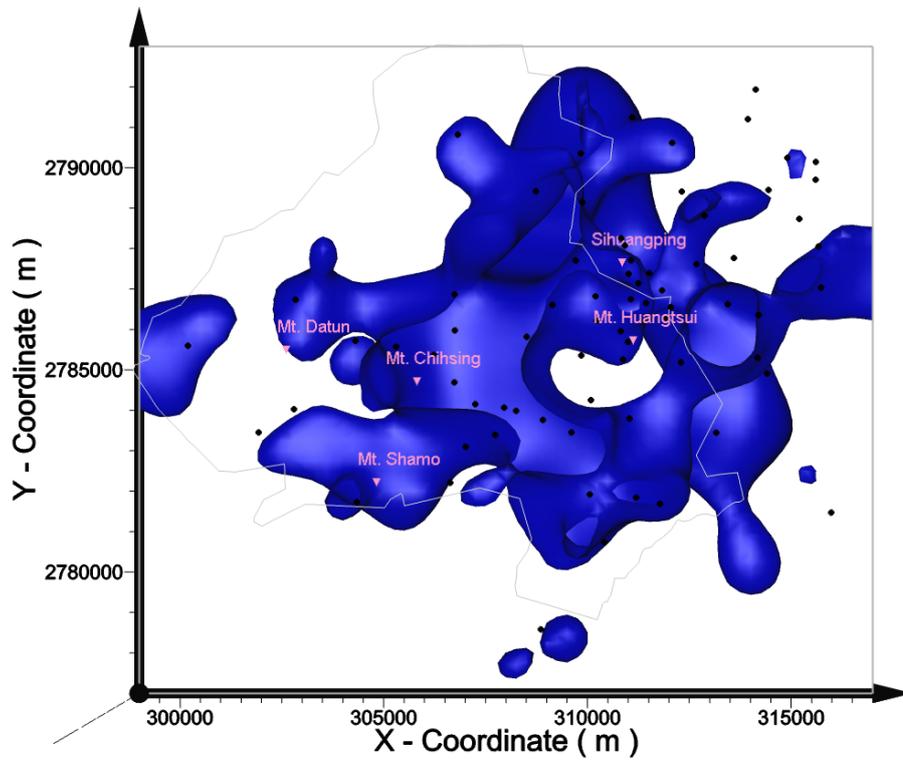


圖 92、大屯山地區 20 ohm-m 等電阻面三維分布圖

(D) 資料分析判釋

依據受熱水換質作用的安山岩，具有顯著的低電阻率特性，以及本調查區之低電阻分布情形，可用以指示大屯火山區熱液換質帶的潛在分布。綜合的低電阻分布，研判如下：

- a. 大屯火山區在淺部(深度約 500 公尺)主要呈現東北-西南方向延伸分布，主要約分布於金山斷層以東至崁腳斷層以西之間，此與地表所出露之火山噴氣孔、溫泉等地熱徵兆區之分布範圍一致。低電阻帶顯著呈東北走向約沿著金山斷層東南側分布，其位置大約自紗帽山北方經七星山、馬槽至八煙西方一帶向東北延伸，可推測對比為本區主要熱水換質帶。
- b. 深部約深度 500 公尺以下至 750 公尺，低電阻有較大範圍的分布，顯示具有大區域的熱液換質帶，同時低電阻帶具有以西北-東南方向分布之趨勢，此可能與大地應力處於張裂環境下，於斷層構造之垂直方向易產生破碎帶，致使熱液沿此裂隙帶發育有關。
- c. 深度 1000 公尺以下低電阻帶則逐漸縮小，呈現明顯的東北-西南向延伸，而深度 1750 公尺以下，低電阻帶主要位於磺嘴山東側，呈現的西北-東南向延伸，顯示磺嘴山東側之四磺坪-庚子坪一帶區域，深部地層仍具有高潛能的地熱蘊藏。
- d. 從整體的低電阻分布情形顯示，大屯火山區低電阻概以七星山-馬槽-大油坑一帶區域為中心，向四周圍延展擴散，主要呈現東北-西南方向延伸至磺嘴山西北側與紗帽山北側。
- e. 大屯火山區東北側之金山萬里一帶區域，低電阻構造僅

出現於深度約 750m 以內，深部逐漸轉變為高電阻地層，顯示熱液的蘊藏主要集中於深度 1000m 以上。

B. 反射震測

本調查區進行反射震測之主要目的在於瞭解「噶哩岸線型」之構造模型及地質界面，並驗證儲集層在構造兩側水文差異。金山地區溫泉井在過去的特性分析發現，似乎在公館崙-大埔一線在地下水酸鹼值有區域性的差異，是否因構造地層上的差異造成水文上的界線有其可能性。為釐清大屯火山地熱潛能區進入濱海平原地區，金山-萬里一帶之地下構造特性，本年度針對金山斷層至野柳岬麓山地區，跨越噶哩岸線型，進行反射震測調查。其目的在釐清平原區基盤構造情況、沖積層厚度。以提供未來金山地區地熱開發之工程參考基礎資料。

本計畫共進行 2 條二維反射震測調查，分別為 AA 測線：長度 1580 m 以及 BB 測線：長度 1772 m，調查測線分佈於金山頂社地區，測線位置如圖 87。反射震測使用之震源為 miniVibe 寬頻掃描震人工盪震源系統(圖 93)，各測線之測點間距為 4 m。目前已完成測線總長約 3352m 之野外炸測工作，共收錄 89 點炸測資料(AA' 測線 41 炸點；BB' 測線 48 炸點)並進行初步資料處理。圖 94 所示為 AA 測線第 1 炸點剖面。

由炸測資料觀察，區域的雜訊非常大，嚴重影響收錄的資料品質，可能是附近核電廠超高壓電力及交通噪音所影響，此外近地表低速層表面波也造成嚴重干擾(圖 94)。針對區域嚴重雜訊干擾及表面波進行細部處理及速度分析後之震測影像如圖 95，據以判釋淺部沖積層、地層及基盤之構造。



圖 93、震源車圓潭溪岸現場施測情況

圖 96 為反射震測的解釋剖面，可以觀察出地表的沖積層十分淺薄，約在 150-200m 之間。由附近地質特徵及震測資料研判，噶哩岸線型可能屬於層間斷層或岩性分界之特性，兩剖面上覆沖積層及風化換質層厚約 150m 上下，以下約 150m 火山凝灰岩。下伏岩層為第三紀之五指山層及木山層，地層東傾約 10° 。噶哩岸線型似乎為金山斷層後期拉張斷層上盤塊體陷落所形成，此構造以西至金山斷層裂隙較多，也形成熱水通道，因此可以發現此區塊地表地熱徵候明顯。

C. 結論與討論

- a. 大地電磁調查已整合本年度與過去年度調查資料，進行大屯山、磺嘴山地區之三維逆推，更新與建立高解析的三維電阻模型。根據解析結果顯示，磺嘴山區域東側於地下深度 2000m 以下仍具有高潛能的地熱蘊藏構造，而金山萬里一帶區域，地熱潛能主要蘊藏於深度 1000m 以上。

b. 由反射震測結果顯示，唹哩岸線型似乎為金山斷層後期拉張斷層上盤塊體陷落所形成，此構造以西至金山斷層裂隙較多，也形成熱水通道，因此可以發現此區塊地表地熱徵候明顯。

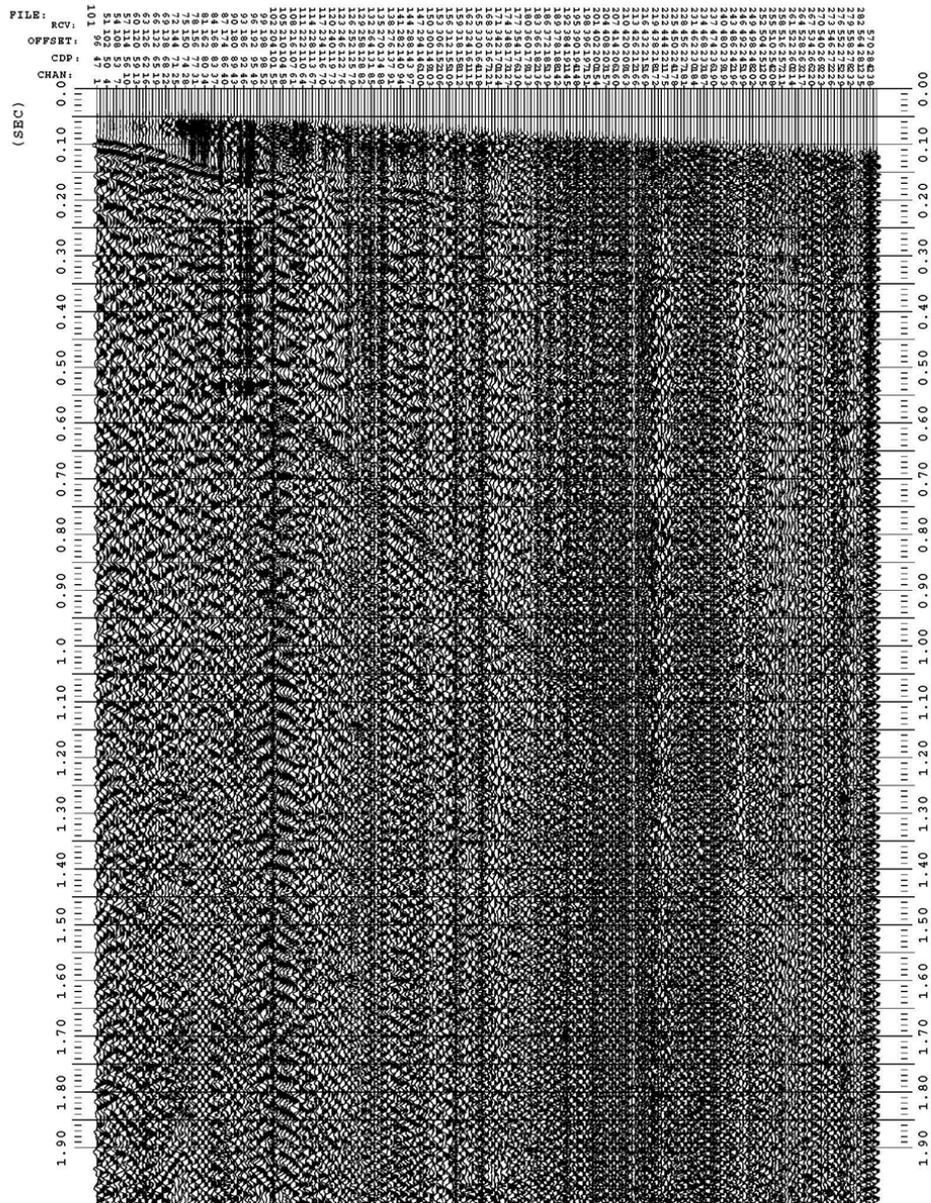


圖 94、反射震測原始記錄檔(Shot records)

共收錄 89 點炸測資料，AA 測線 41 炸點；BB 測線 48 炸點。

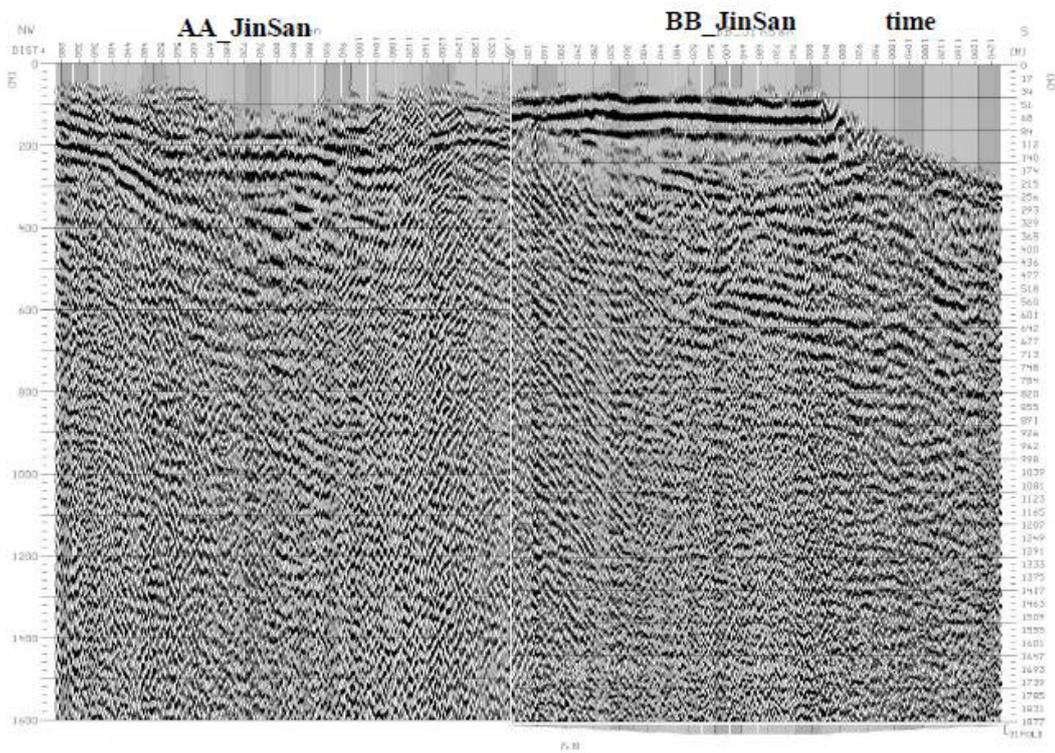


圖 95、反射震測重合剖面

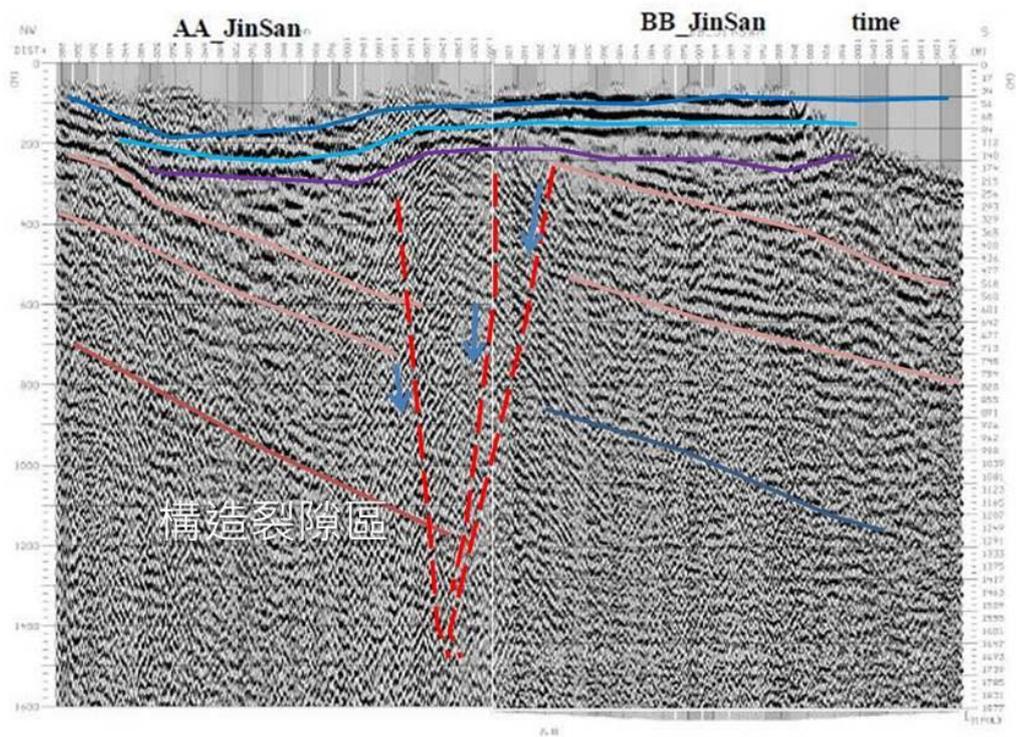


圖 96、反射震測解釋剖面

(2) 地球化學補充調查

本項目規劃在磺嘴山區透過熱液流體與土壤氣體進行補充調查，以瞭解儲集層空間上之特性分佈：

A. 熱液流體補充調查

本次採樣位置皆為已知之溫泉及地熱井，包括馬槽橋、七股、八煙、四磺坪、大煙、四磺坪、大油坑、湖山、地熱谷、泉源公園、冷水坑、金泉、大豐修車廠、豐修車廠、沐舍、水尾等地採集樣品。其中金泉、大豐修車廠、沐舍、水尾為個人自有井/溫泉，湖山國小採集包括浴室及戶外池兩處，泉源公園採集泉源公園採集泡腳池源頭泉水，另外在大油坑附近採集一溪水標本(上磺溪水)。溫磺溪水)。溫泉水質現地記錄見表 27。同地並利用血清瓶採集水體攜回做水溶氣分析。

溫泉水水質分析結果如表 28，包括主要陰陽離子及金屬微量離子。依據主要陰陽離子濃度繪製而成的 (piper's diagram)，本研究所得到的分布圖如圖 97。由於火成岩區溫泉下方多有岩漿庫活動，使得水源溫度高，再加上火山氣體（例如硫化氫、硫酸鹽類）多酸性，使得 pH 值過低，因此使得碳酸鹽類（包括 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} ）無法溶解在水中而變成二氧化碳逸失於大氣。此狀況下利用大多數標本中碳酸氫根濃度幾乎為零。然而可以看到除了少數點位，如湖山國小、冷水坑，水質呈現弱酸到中性，標本落在趨近圍岩水範圍，可能因為經過安山岩篩洗作用將酸性物質跟圍岩交換。而在排除碳酸鹽成分下，由圖中可以清楚看出在火山區內溫泉以及在金山萬里鑽井的溫泉的差異，大致可分類為兩類：一以硫酸鹽來源為主，一以氯鹽為主，本研究之溫泉點即位於在

此兩端元連線上。金山萬里一帶因為鄰近海邊，可能也受到了部分的海水影響，這點從他們有較高的鈉、鉀離子也可以看出。

表 27、磺嘴山地熱潛能區水質現地資料紀錄表

| 日期 | 採樣地點 | 溫度 °C | 導電度 µS/cm | 總固體溶 解度 mg/L | 氧化還原 電位 mv | 酸鹼值 pH |
|----------|----------|----------|--------------|--------------------|------------------|-----------|
| 2017/6/6 | 馬槽橋 | 59.2 | 496 | 248 | -269 | 6.64 |
| 2017/6/6 | 七股(日月農莊) | 49.3 | 6398 | 3199 | -39 | 1.78 |
| 2017/6/6 | 八煙 | 67.4 | 1857 | 928 | -14 | 2.83 |
| 2017/6/6 | 大豐修車廠 | 68.4 | 18420 | 9210 | 93 | 2.11 |
| 2017/6/6 | 水尾-200米 | 52.5 | 13800 | 6897 | 81 | 1.99 |
| 2017/6/6 | 水尾-100米 | 33.3 | 1196 | 598 | 110 | 3.32 |
| 2017/6/6 | 沐舍 | 84.1 | 22810 | 11400 | 171 | 1.54 |
| 2017/6/7 | 四磺坪-A | 70.9 | 2212 | 1106 | -56 | 2.35 |
| 2017/6/7 | 四磺坪-B | 72.6 | 786 | 393 | 443 | 2.49 |
| 2017/6/7 | 大油坑 | 68.0 | 35840 | 17920 | 421 | 1.12 |
| 2017/6/7 | 上磺溪水 | 21.1 | 153 | 76 | 281 | 4.23 |
| 2017/6/7 | 湖山-外 | 38.1 | 1062 | 531 | 22 | 6.54 |
| 2017/6/7 | 湖山 | 39.2 | 1548 | 773 | 171 | 6.49 |
| 2017/6/7 | 地熱谷 | 65.8 | 18160 | 9078 | 129 | 1.50 |
| 2017/6/7 | 泉源公園 | 53.3 | 16420 | 8212 | 482 | 1.42 |
| 2017/6/8 | 冷水坑 | 41.0 | 1488 | 744 | 13 | 6.54 |
| 2017/6/8 | 金泉 | 42.6 | 2695 | 1347 | -116 | 6.62 |

*紅字為實驗室在 25 度下量測數值

表 28、溫泉水成分組成表

| 採樣地點 | Na ⁺ | K ⁺ | Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | Fe ²⁺ | Mn ²⁺ | Si ⁴⁺ | As | Rb ⁺ | Cs ⁺ | Sr ²⁺ | Ba ²⁺ | Pb | F | Cl | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Li ⁺ | B ³⁺ | NH ₄ ⁺ |
|---------|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------|-------|------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|
| | mg/L | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 馬槽橋 | 17.0 | 29.9 | 16.8 | 56.6 | 0.56 | 0.60 | 80.1 | b.d.1 | 0.84 | 0.09 | 0.25 | 0.03 | 0.14 | b.d.1 | 28.0 | 99.9 | 150 | b.d.1 | b.d.1 | b.d.1 |
| 七股 | 44.2 | 18.2 | 44.4 | 118 | 34.7 | 2.26 | 80.5 | b.d.1 | 1.32 | 0.09 | 0.44 | 0.04 | b.d.1 | 8.99 | 688 | 1285 | b.d.1 | b.d.1 | 74.0 | 0.65 |
| 八煙 | 28.9 | 23.9 | 20.7 | 41.8 | 18.1 | 1.11 | 87.6 | b.d.1 | 0.50 | 0.05 | 0.13 | 0.04 | 0.09 | b.d.1 | 111 | 525 | b.d.1 | b.d.1 | 6.21 | 0.39 |
| 大豐修車廠 | 2349 | 330 | 238 | 308 | 74.4 | 13.0 | 159 | 0.20 | 8.75 | 0.20 | 2.65 | 0.10 | 0.70 | 8.35 | 5236 | 1427 | b.d.1 | 9.88 | 83.8 | 17.3 |
| 水尾-200米 | 1398 | 214 | 149 | 168 | 87.3 | 7.25 | 215 | 1.20 | 4.55 | 0.22 | 2.05 | 0.20 | 1.30 | 5.65 | 3275 | 1620 | b.d.1 | 3.60 | 82.5 | 8.04 |
| 水尾-100米 | 110 | 13.0 | 6.56 | 26.5 | 4.95 | 0.85 | 12.7 | b.d.1 | 3.45 | 0.44 | 0.40 | 0.10 | 0.65 | 0.30 | 216 | 116 | b.d.1 | 0.25 | 5.35 | 1.10 |
| 沐舍 | 2453 | 311 | 245 | 269 | 64.7 | 9.55 | 81.6 | 1.75 | 6.70 | 0.35 | 2.70 | 0.15 | 1.55 | 8.19 | 5512 | 2447 | b.d.1 | 6.08 | 53.3 | 15.0 |
| 四磺坪-A | 11.6 | 3.97 | 24.5 | 46.5 | 33.4 | 3.11 | 37.4 | b.d.1 | 0.83 | 0.69 | 0.14 | 0.01 | b.d.1 | 2.59 | 31.1 | 145 | b.d.1 | b.d.1 | 6.55 | 5.89 |
| 四磺坪-B | 7.45 | 29.7 | 3.03 | 6.24 | 12.5 | 0.18 | 178 | 0.06 | 1.21 | 0.04 | 0.11 | 0.03 | 0.10 | b.d.1 | 52.1 | 231 | b.d.1 | b.d.1 | 31.2 | 0.80 |
| 大油坑 | 20.2 | 62.6 | 10.6 | 33.8 | 16.4 | 0.60 | 210 | b.d.1 | 5.40 | 0.14 | 1.55 | 0.05 | 0.25 | 60.6 | 3498 | 3861 | b.d.1 | b.d.1 | 133 | 0.51 |
| 上磺溪水 | 6.56 | 20.5 | 2.09 | 7.44 | 0.55 | 0.05 | 15.8 | b.d.1 | 0.50 | 0.04 | 0.11 | 0.02 | 0.13 | b.d.1 | 24.8 | 23.2 | b.d.1 | b.d.1 | 2.44 | 0.11 |
| 湖山-外 | 40.5 | 23.8 | 52.8 | 108 | 1.12 | 0.03 | 99.9 | b.d.1 | 0.71 | 0.10 | 0.17 | 0.04 | 0.11 | b.d.1 | 60.8 | 61.2 | 359 | 0.05 | 0.34 | b.d.1 |
| 湖山 | 62.5 | 35.5 | 81.3 | 157 | 0.61 | 0.43 | 119 | b.d.1 | 0.76 | 0.12 | 0.73 | 0.12 | 0.14 | b.d.1 | 102 | 97.0 | 750 | b.d.1 | 0.53 | b.d.1 |
| 地熱谷 | 597 | 301 | 62.1 | 200 | 103 | 9.80 | 160 | 0.75 | 5.80 | 0.41 | 0.95 | 0.10 | 1.55 | 10.5 | 2486 | 2639 | b.d.1 | 3.58 | 82.2 | 35.2 |
| 泉源公園 | 520 | 253 | 53.1 | 182 | 46.2 | 11.4 | 57.3 | 3.70 | 7.60 | b.d.1 | 1.25 | 0.25 | 1.75 | 8.44 | 2090 | 2010 | b.d.1 | 3.07 | 46.7 | 30.9 |
| 冷水坑 | 54.1 | 34.4 | 55.4 | 154 | 11.8 | 1.80 | 111 | b.d.1 | 1.20 | 0.02 | 0.65 | b.d.1 | 0.12 | b.d.1 | 168 | 265 | 277 | b.d.1 | 0.73 | 0.61 |
| 金泉 | 195 | 55.0 | 98.2 | 168 | 0.50 | 0.28 | 62.8 | b.d.1 | 1.31 | 0.19 | 0.97 | 0.24 | 0.10 | b.d.1 | 622 | 181 | 231 | 0.07 | 1.77 | 2.76 |

*b.d.1 低於分析儀器之偵測極限

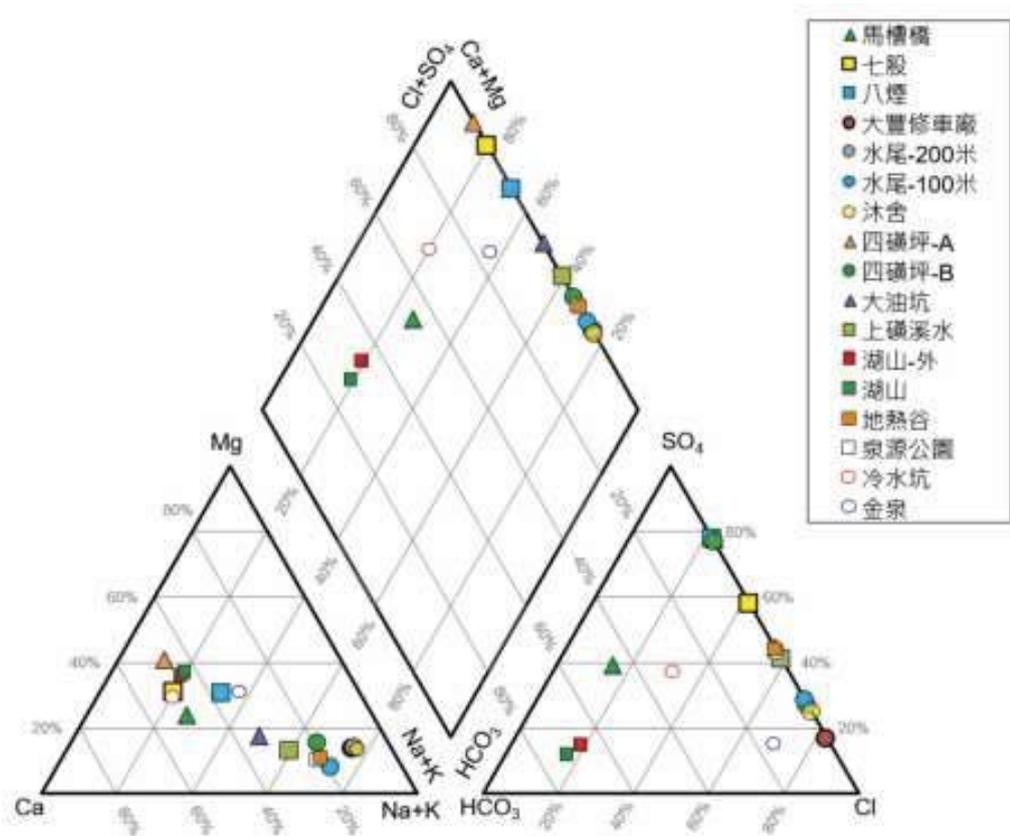


圖 97 鄰近磺嘴山地熱潛能區地熱溫泉水之水質菱形圖

溫泉水溶氣分析結果顯示如表 29 所示。整體來說水溶氣體的組成和空氣相近，但是略有不同，以空氣飽和水的組成成分來看 $Ar : O_2 : N_2 = 0.03\% : 11.78\% : 88.19\%$ ，整體看來鑽井的樣品如大豐、水尾、湖山國小等處有大量的二氧化碳組成，顯示二氧化碳是原氣體組成中相當重要的成分，或是說水體在遷移過程中曾經經過二氧化碳氣體儲存庫。而大部分的露天溫泉因為跟空氣不斷地進行混合作用，導致分析出來的結果顯示應該由二氧化碳豐富的端成分和空氣飽和的端成分混合而成，像八煙、七股等地因為溫泉池較小且較封閉，受到空氣影響較小。四磺坪和地熱谷屬於較開放的環境，分析結果就趨向於空氣飽和水。沐舍是比較特別的點位，其本身是溫泉旅館的自有井，如果從現地資料(導電度、pH 值等)

來看，應該跟大豐、加投、水尾等相似，但是結果顯示沐舍的樣品受到大量的空氣影響，由氦同位素比值亦顯示氦氣來源為大氣。造成這樣的結果可能與採樣過程有關，由於這口井的設計並不是為了學術研究，造成取水過程中和大量空氣有所接觸。另一個可能原因是溫度太高了，大部分的氣體都被釋出，因此本身所含氣體就少。整體來看，金山萬里地區底下的熱潛能相當高，考慮到交通、國家公園法規等，甚至於比大屯山火山群區內開發要來的簡單便利，應該可以進一步檢視開發利用的可能性。

水氦樣本從採樣至分析時間間隔短則 1 小時內，最長不超過 10 小時，平均在 3.5 小時內分析完畢，氦氣衰變時間修正量在 3% 內，可忽略。分析結果顯示，不含溪水的點位，水氦分布在 0~22.5 Bq/L 之間，將水氦濃度分成三群，分別是高濃度 (>10 Bq/L)、中濃度 (1~10 Bq/L)、低濃度 (<1 Bq/L)，陽明山地區本次採樣結果，水氦分布高中低均有。而水氦濃度高低可能受水溫影響，水溫高於攝氏 50 度共 10 處，水氦濃度介於 0~0.26 Bq/L，平均不到 0.1 Bq/L，屬低濃度水氦。水溫低於攝氏 50 度共 5 處，水氦濃度介於 2.29~22.5 Bq/L，平均值為 11.7 Bq/L。地表溪水(編號 Y9 上磺溪水及編號 Y15 煥子坪溪水)，亦呈現高低變化，兩者水溫僅相差 4 度。理論上，地表水與大氣不斷接觸，氦氣會迅速擴散，氦氣測量值應小於 1 Bq/L，甚至低於偵測極限，而地下水受圍岩影響多能測得高出背景值的水氦，但後者仍測得 3.2 Bq/L 的氦氣值，溪水水氦值的升高可能也代表附近有地下水流入。

表 29、溫泉水水溶氣體成分組成

| 採樣地點 | Ar | N ₂ | CO | CH ₄ | CO ₂ | C ₂ H ₆ | C ₃ H ₈ | O ₂ |
|------------------|-------|----------------|-------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|
| (Vol %) | | | | | | | | |
| 170606 水尾 2 | 0.29% | 46.81% | 0.00% | 0.02% | 51.26% | 0.00% | 0.00% | 1.62% |
| 170606 水尾 1 | 0.80% | 62.55% | 0.00% | 0.04% | 32.80% | 0.00% | 0.00% | 3.81% |
| 170606 馬槽 small | 0.62% | 57.61% | 0.00% | 0.09% | 34.46% | 0.00% | 0.00% | 7.21% |
| 170606 馬槽 big | 0.48% | 57.59% | 0.00% | 0.13% | 36.18% | 0.00% | 0.00% | 5.62% |
| 170606 八煙-1 | 0.21% | 58.03% | 0.00% | 0.09% | 34.66% | 0.00% | 0.00% | 7.00% |
| 170606 八煙-2 | 0.59% | 64.65% | 0.00% | 0.08% | 22.21% | 0.00% | 0.00% | 12.47% |
| 170606 沐舍 1 | 0.27% | 81.01% | 0.00% | 0.00% | 4.50% | 0.00% | 0.00% | 14.23% |
| 170606 沐舍 2 | 0.32% | 82.64% | 0.00% | 0.00% | 2.97% | 0.00% | 0.00% | 14.07% |
| 170606 大豐 small | 0.30% | 46.37% | 0.00% | 0.06% | 50.87% | 0.00% | 0.00% | 2.40% |
| 170606 大豐 big | 0.28% | 51.19% | 0.00% | 0.07% | 45.66% | 0.00% | 0.00% | 2.80% |
| 170606 七股 | 0.07% | 34.62% | 0.00% | 0.18% | 59.54% | 0.00% | 0.00% | 5.59% |
| 170607 磺溪(大油坑溪水) | 1.32% | 75.34% | 0.05% | 0.00% | 0.15% | 0.00% | 0.00% | 23.14% |
| 170607 大油坑-8 | 1.12% | 83.05% | 0.00% | 0.00% | 3.32% | 0.00% | 0.00% | 12.51% |
| 170622 庚子坪 25 | 0.90% | 79.10% | 0.00% | 0.00% | 9.33% | 0.00% | 0.00% | 10.67% |
| 170608 金泉-13 | 1.20% | 84.38% | 0.00% | 0.06% | 5.14% | 0.00% | 0.00% | 9.22% |
| 170608 冷水坑 | 0.56% | 41.79% | 0.00% | 0.05% | 54.87% | 0.00% | 0.00% | 2.72% |
| 170608 湖山外池 | 0.35% | 43.46% | 0.00% | 0.04% | 53.20% | 0.00% | 0.00% | 2.95% |
| 170608 湖山浴室 | 0.49% | 62.92% | 0.00% | 0.00% | 33.24% | 0.00% | 0.00% | 3.35% |
| 170608 泉源公園 | 0.77% | 88.55% | 0.00% | 0.02% | 3.33% | 0.00% | 0.00% | 7.32% |
| 170608 四磺坪 | 1.04% | 82.65% | 0.00% | 0.00% | 0.10% | 0.00% | 0.00% | 16.21% |
| 170608 地熱谷 | 0.73% | 83.58% | 0.00% | 0.01% | 6.27% | 0.00% | 0.00% | 9.42% |
| 170801 沐舍 | 0.87% | 79.85% | 0.04% | 0.00% | 0.57% | 0.00% | 0.00% | 18.68% |
| 170801 金泉 | 1.30% | 84.42% | 0.02% | 0.00% | 3.88% | 0.00% | 0.00% | 10.37% |
| 170801 大豐 | 0.86% | 55.88% | 0.00% | 0.05% | 33.65% | 0.00% | 0.00% | 9.56% |
| 170801 南屏 公共浴室 | 0.43% | 37.15% | 0.00% | 0.04% | 54.77% | 0.00% | 0.00% | 7.62% |
| 170801 萬里加投 | 1.17% | 62.71% | 0.00% | 0.03% | 29.83% | 0.00% | 0.00% | 6.25% |

*水溶氣體濃度以體積百分比表示

B. 土壤氣體調查

採樣規劃以噶哩岸線型為中心之網格狀排列，進行詳細土壤氣體調查，內容包含土壤氮氣濃度以及二氧化碳逸氣通量，利用土壤氮氣濃度分佈特性原理進行線型位置判定，並以二氧化碳逸氣通量進行地熱潛能區之評估。

測區位於大屯火山區內的磺嘴山東北方，主要為四磺坪與煥子坪地熱區，並向西北側延展至金山萬里地區。根據現場調查之適合採樣位置附近，進行量測與採樣。本次土壤氣體通量與氬氣量測共規劃 80 個測點(圖 98)，預計每個測點將進行：(A)現地土壤氣體二氧化碳通量量測；(B)土壤氣體氣袋採集進行氬氣濃度分析，採樣方法說明如下：

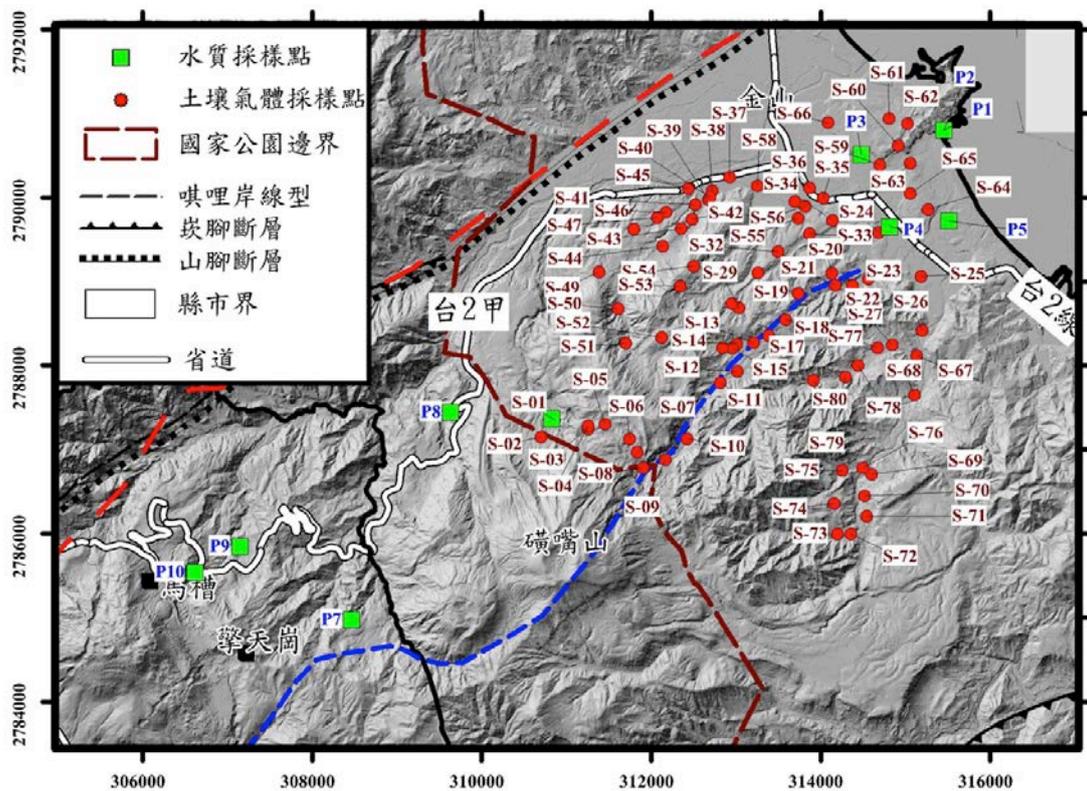


圖 98、土壤氣體量測點位分布圖

(A) 土壤氣體二氧化碳通量採樣

本研究為採用密閉氣罩法 (Closed-chamber method) 進行土壤逸氣的通量調查，此方法是由義大利科學家 Chiodini 發展出的通量研究方法 (Chiodini et al., 1998)。在土壤表面蓋上一密閉容器(圖 99)，利用二氧化碳濃度的增加速率計算通量。這個方法已經成功的應用在農業科學上，用以測

量土壤代謝效率 (Parkinson, 1981) 及測量土壤中其他氣體的通量 (Kinzig and Socolow, 1994)。



圖 99、野外量測土壤二氧化碳通量

(B) 氬氣採樣

氬氣是具有放射性的氣體，其半衰期約為 3.8 天。土壤中所釋放出的氬氣濃度會隨土壤類型和表面鈾含量而改變。因為擁有相當短的半衰期，消逝速度快且敏感，常被用於追蹤空氣的流動或是研究地下水和溪水之間的相互作用。由於斷層地區的氬氣濃度較高，因此也常應用斷層分布描繪上，甚至是地震前兆的研究。氬氣亦是火山地區主要的放射性氣體之一，可作為監測火山活動的工具，且可與二氧化碳資料比較並觀察之間的相關性。本次的調查係使用美國 DURRIDGE 公司所製造的可攜式氬氣濃度分析儀(圖 98)來計算氬氣濃度。

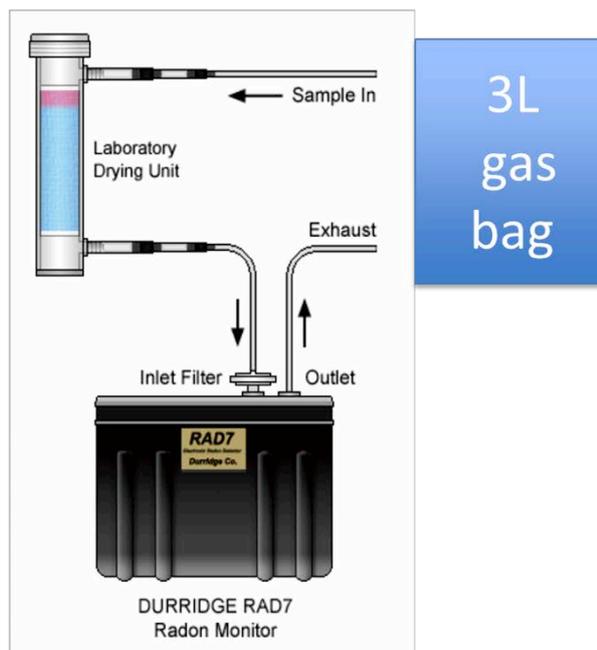


圖 100、土壤氡氣採樣分析示意圖

測量氡氣的方法流程如下：

- a. 採氣袋先於實驗室內抽至真空狀態，確保無空氣殘留其中。採氣袋容量約 1 升，具有兩個閥門。
- b. 準備一隻約 1.5 公尺長，直徑約 1.2 公分的中空不鏽鋼管，於前端插入一尖錐鋼頭，目的為了能較順利鑽進土壤中，同時避免土壤阻塞不鏽鋼管造成氣體無法流通。
- c. 利用鐵鎚將鋼管敲入土壤中約 1 公尺左右，接著用一根較細的實心鋼條插入此中空的鋼管內，將其最前端的尖錐鋼頭敲入土壤中使其與鋼管脫離，以利土壤中的氣體順利進入不鏽鋼管。
- d. 將鋼管套上管線，利用手動幫浦讓管線經過土壤氣體的沖刷約 30 秒，避免空氣或之前採樣的殘留氣體造成污染；最後，用手動或是電動幫浦將土壤氣樣抽入採樣氣袋中即完成採樣工作。

e.將採氣袋接上氬氣分析儀，形成循環迴圈。約 20-30 分鐘後氬氣濃度達到平衡，紀錄濃度。移除採樣袋並分析空氣，等降回背景值後再分析下一個樣品。

(C) 初步分析結果

土壤氣分析主要是為了瞭解是否有深層氣體往上逸散。野外調查採取的淺層土壤氣主要組成成分以氬氣、氧氣及氫氣為主。當有其他來源(如生物性來源、地殼或地函深層來源等等)氣體加入時，成分便會有所改變。量測時除二氧化碳通量及氬氣濃度外，另外還量測當地空氣中以及鋼管內二氧化碳濃度，並記錄土壤溫度，本次土壤氣逸氣調查結果如表 30。

二氧化碳在空氣中含量不高，本次調查解果顯示空氣中二氧化碳約 650 ppm 左右。在二氧化碳濃度/通量高區可以進一步利用同位素了解其來源，進而判斷是否有深層氣體逸散的現象，因此當鋼管內的二氧化碳濃度高於 5% 時，便使用事先抽真空的玻璃瓶採集標本，保存以供將來可進行同位素分析。

氬氣也是深層氣體逸氣的一項指標，因為半衰期短(3.8 天)，對於判斷異常訊號相當明顯，目前廣泛應用在斷層活動及火山活動監測上。由於本身的特性，氬氣的遷移通常需要別種氣體”協助”，在火山地區通常以二氧化碳作為攜行氣體，大致上會與二氧化碳濃度成正比呈現。本次研究中二氧化碳通量作圖顯示與線性構造分布一致，呈現帶狀分布，顯示二氧化碳通量調查對於解讀構造分布上有相當良好的幫助。

表 30、土壤氣體調查結果

| Site No. | X (TWD97) | Y (TWD97) | CO ₂ in Air (ppm) | CO ₂ flux (g/m ² /day) | CO ₂ in Irons (%) | Radon (Bq/m ³) | Soil Temp (C°) |
|----------|--------------|--------------|---------------------------------|---|---------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| S-01 | 310857 | 2787356 | 850 | 10051.5 | 95.6 | 1649 | 21.9 |
| S-02 | 310699 | 2787151 | 650 | 91.6 | 2.1 | 7510 | 13.8 |
| S-03 | 311256 | 2787246 | 650 | 5.9 | 0.3 | 483 | 13.5 |
| S-04 | 311258 | 2787284 | 620 | 22.1 | 1.0 | 27569 | 14.5 |
| S-05 | 311452 | 2787304 | 630 | 31.8 | 0.5 | 719 | 13.5 |
| S-06 | 311742 | 2787132 | 650 | 24.7 | 2.0 | 4827 | 14.3 |
| S-07 | 311836 | 2786967 | 640 | 79.2 | 2.3 | 974 | 14.5 |
| S-08 | 311902 | 2786784 | 690 | 25.3 | 0.5 | 8758 | 16.4 |
| S-09 | 312167 | 2786878 | 670 | 35.1 | 1.0 | 948 | 16.1 |
| S-10 | 312426 | 2787131 | 680 | 3.5 | 0.3 | 132 | 15.5 |
| S-11 | 312812 | 2787797 | 680 | 28.1 | 0.3 | 430 | 16.4 |
| S-12 | 313011 | 2787932 | 720 | 23.1 | 0.8 | 3594 | 17.3 |
| S-13 | 313204 | 2788270 | 720 | 12.8 | 0.3 | 206 | 17.3 |
| S-14 | 313009 | 2788254 | 670 | 27.5 | 1.1 | 1554 | 16.1 |
| S-15 | 312956 | 2788207 | 660 | 9.9 | 1.0 | 7609 | 18.5 |
| S-16 | 312839 | 2788215 | 660 | 18.3 | 0.2 | 776 | 17.9 |
| S-17 | 313384 | 2788353 | 690 | 19.0 | 3.4 | 13512 | 17.9 |
| S-18 | 313587 | 2788546 | 650 | 5.1 | 3.7 | 58417 | 16.7 |
| S-19 | 313733 | 2788866 | 640 | 19.1 | 2.9 | 23955 | 19.6 |
| S-20 | 314128 | 2789099 | 640 | 29.7 | 1.1 | 17270 | 17.8 |
| S-21 | 314171 | 2788961 | 640 | 3.8 | 1.4 | 10530 | 19.3 |
| S-22 | 314376 | 2788955 | 630 | 7.2 | 0.9 | 13881 | 18.7 |
| S-23 | 314559 | 2789027 | 630 | 10.0 | 0.4 | 1433 | 22.4 |
| S-24 | 314683 | 2789579 | 660 | 0.5 | 0.1 | 276 | 22.6 |
| S-25 | 315184 | 2789060 | 640 | 7.7 | 3.1 | 18060 | 20.9 |
| S-26 | 315199 | 2788418 | 650 | 4.7 | 2.1 | 4161 | 18.8 |
| S-27 | 314844 | 2788250 | 650 | 27.6 | 2.1 | 37636 | 19.5 |
| S-28 | 313362 | 2788839 | 640 | 49.3 | 2.7 | 16064 | 19.6 |
| S-29 | 313031 | 2788687 | 660 | 30.8 | 1.3 | 35392 | 19 |
| S-30 | 312950 | 2788741 | 660 | 9.9 | 3.8 | 29800 | 17.3 |
| S-31 | 313260 | 2789105 | 710 | 20.4 | 1.65 | 28789 | 18.8 |
| S-32 | 313494 | 2789355 | 620 | 6.0 | 0.9 | 40727 | 20.6 |
| S-33 | 313868 | 2789571 | 640 | 7.1 | 2.55 | 10661 | 20.1 |
| S-34 | 314134 | 2789730 | 660 | 13.0 | 1.56 | 19750 | 20.6 |
| S-35 | 314031 | 2789996 | 620 | 25.4 | 1.66 | 14582 | 20.8 |

表 30、土壤氣體調查結果(續)

| Site No. | X (TWD97) | Y (TWD97) | CO ₂ in Air (ppm) | CO ₂ flux (g/m ² /day) | CO ₂ in Irons (%) | Radon (Bq/m ³) | Soil Temp (C°) |
|----------|--------------|--------------|---------------------------------|---|---------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| S-36 | 313868 | 2790113 | 650 | 22.6 | 0.42 | 339 | 21.1 |
| S-37 | 312923 | 2790241 | 700 | 3.4 | 1.38 | 19382 | 25 |
| S-38 | 312720 | 2790082 | 620 | 3.1 | 5.38 | 31585 | 24.8 |
| S-39 | 312676 | 2789975 | 630 | 5.5 | 2.8 | 20192 | 21.4 |
| S-40 | 312692 | 2790007 | 620 | 8.3 | 0.41 | 1421 | 25 |
| S-41 | 312518 | 2789915 | 630 | 17.1 | 2.32 | 22121 | 22.6 |
| S-42 | 312483 | 2789741 | 610 | 15.3 | 7.32 | 27338 | 23.3 |
| S-43 | 312350 | 2789631 | 620 | 3.0 | 2.68 | 44276 | 22.9 |
| S-44 | 312137 | 2789420 | 630 | 4.1 | 1.95 | 11625 | 21.6 |
| S-45 | 312438 | 2790110 | 680 | 85.1 | 0.99 | 5709 | 17.9 |
| S-46 | 312173 | 2789823 | 690 | 9.3 | 2.65 | 34838 | 17.9 |
| S-47 | 312072 | 2789762 | 670 | 15.7 | 0.66 | 11123 | 18.2 |
| S-48 | 311792 | 2789627 | 680 | 5.4 | 1.33 | 26940 | 18.2 |
| S-49 | 311385 | 2789112 | 370 | 10.5 | 1.01 | 3824 | 17.6 |
| S-50 | 311606 | 2788674 | 730 | 9.2 | 0.86 | 23973 | 17 |
| S-51 | 311701 | 2788266 | 700 | 6.5 | 1.21 | 14150 | 17 |
| S-52 | 312121 | 2788340 | 670 | 1.2 | 1.31 | 41064 | 16.7 |
| S-53 | 312341 | 2788944 | 660 | 31.4 | 0.86 | 2211 | 17.3 |
| S-54 | 312498 | 2789187 | 670 | 26.3 | 0.77 | 13169 | 17 |
| S-55 | 313732 | 2789758 | 650 | 1.0 | 1.45 | 24738 | 23.4 |
| S-56 | 313817 | 2789898 | 630 | 52.7 | 2.01 | 21538 | 23.4 |
| S-57 | 313694 | 2789955 | 620 | 5.1 | 1.79 | 14409 | 22.4 |
| S-58 | 313252 | 2790138 | 620 | 17.9 | 1.67 | 17067 | 24.3 |
| S-59 | 314696 | 2790394 | 720 | 13.8 | 7.54 | 14315 | 18.5 |
| S-60 | 314916 | 2790622 | 650 | 8.8 | 4.01 | 18500 | 17.6 |
| S-61 | 314802 | 2790942 | 660 | 20.9 | 2.11 | 2059 | 17 |
| S-62 | 315026 | 2790880 | 650 | 27.5 | 1.01 | 2727 | 16.7 |
| S-63 | 315057 | 2790410 | 660 | 9.5 | 1.64 | 3964 | 17.3 |
| S-64 | 315266 | 2789857 | 670 | 8.1 | 0.62 | 1758 | 17.3 |
| S-65 | 315054 | 2790052 | 660 | 5.7 | 4.11 | 9590 | 17.9 |
| S-66 | 314084 | 2790893 | 620 | 46.4 | 1.06 | 1234 | 17.9 |
| S-67 | 315132 | 2788121 | 610 | 10.2 | 1.56 | 5912 | 18.8 |
| S-68 | 315106 | 2787647 | 600 | 4.6 | 1.63 | 8824 | 19.3 |
| S-69 | 314597 | 2786708 | 620 | 22.0 | 0.99 | 30150 | 20.4 |
| S-70 | 314514 | 2786447 | 600 | 12.0 | 0.68 | 10304 | 21.6 |

表 30、土壤氣體調查結果(續)

| Site No. | X (TWD97) | Y (TWD97) | CO ₂ in Air (ppm) | CO ₂ flux (g/m ² /day) | CO ₂ in Irons (%) | Radon (Bq/m ³) | Soil Temp (C°) |
|----------|--------------|--------------|---------------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| S-71 | 314540 | 2786206 | 610 | 19.8 | 1.95 | 23194 | 18.1 |
| S-72 | 314357 | 2785997 | 610 | 33.3 | 0.64 | 2432 | 19.5 |
| S-73 | 314198 | 2785991 | 610 | 10.2 | 1.72 | 5683 | 21.1 |
| S-74 | 314156 | 2786359 | 600 | 18.2 | 0.54 | 3563 | 19.8 |
| S-75 | 314255 | 2786752 | 600 | 10.7 | 1.62 | 10332 | 19.5 |
| S-76 | 314499 | 2786781 | 620 | 4.5 | 0.23 | 484 | 21.1 |
| S-77 | 314667 | 2788213 | 620 | 17.3 | 4.78 | 20591 | 20.6 |
| S-78 | 314438 | 2788001 | 640 | 28.7 | 2.48 | 21963 | 21.4 |
| S-79 | 314289 | 2787865 | 620 | 17.6 | 0.96 | 1966.25 | 20.8 |
| S-80 | 313915 | 2787826 | 640 | 19.1 | 1.35 | 19057.1429 | 20.1 |

圖 101分別為二氧化碳通量、氬氣濃度(圖 102)以及土壤溫度分布圖(圖 103)。二氧化碳通量高值區分布大致上與噶哩岸線型的方向一致，但較偏向北側，氬氣濃度分布圖並無明顯的噶哩岸線型趨勢，氬氣高區落在山腳斷層和噶哩岸線型中間區域，這個結果和土壤溫度作圖結果相當一致。由於氬氣濃度相當容易受到外在環境影響，在使用上必須特別小心以避免造成誤判。二氧化碳相對於氬氣來說受到外在影響較少，且對構造分布解讀有良好結果。在土壤溫度作圖表現上，由於測量土壤逸氣時避開了噴氣區，加上受到環境氣候影響，土壤溫度偏低。

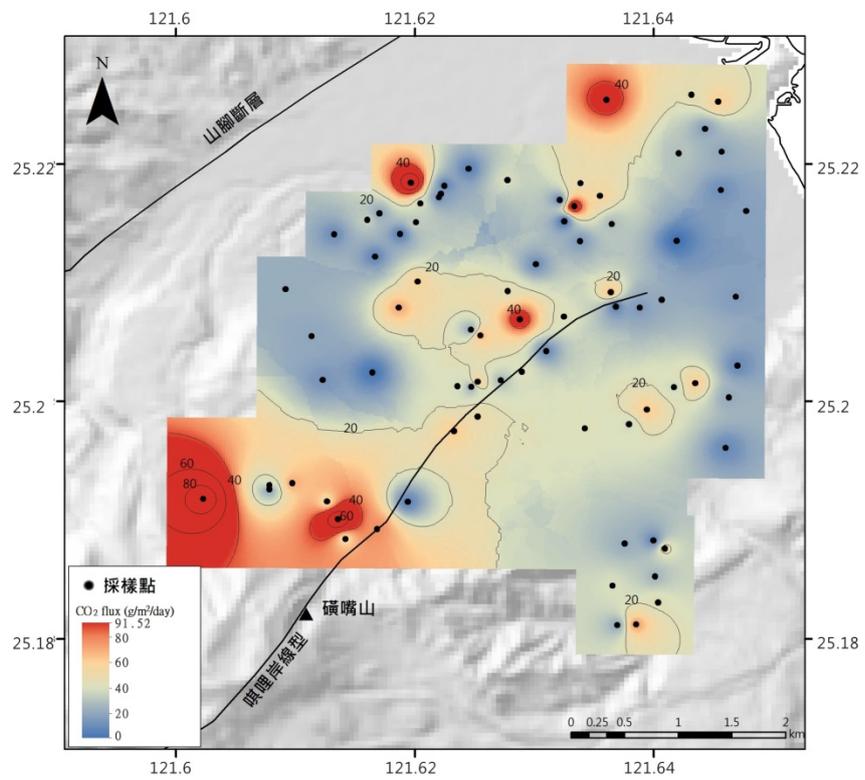
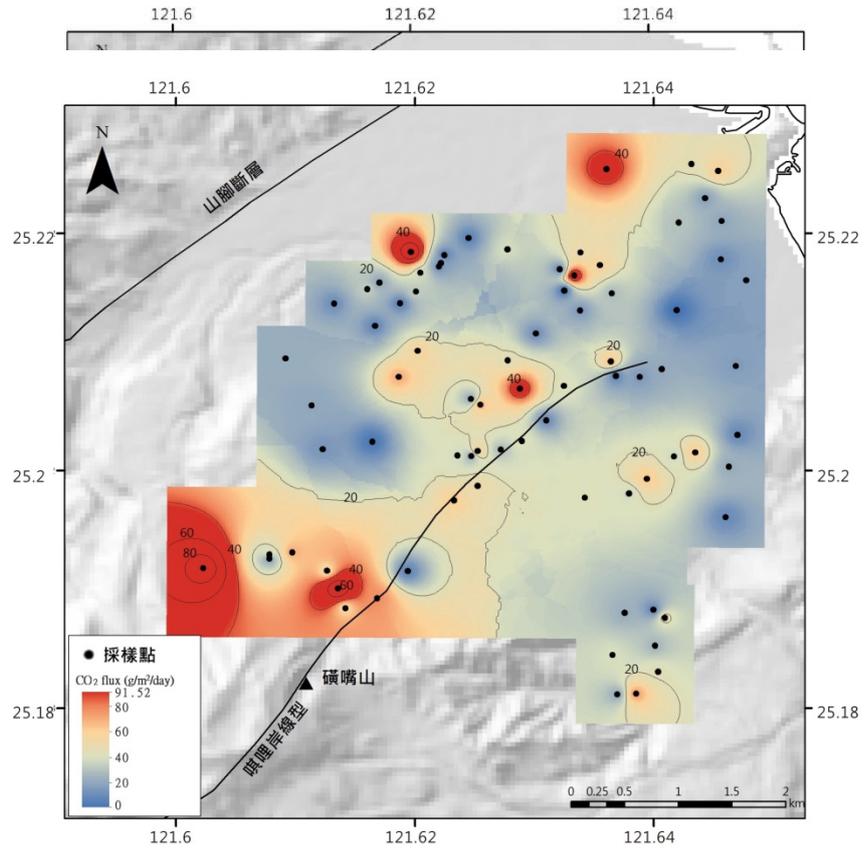


圖 102、土壤二氧化碳逸氣通量分布圖

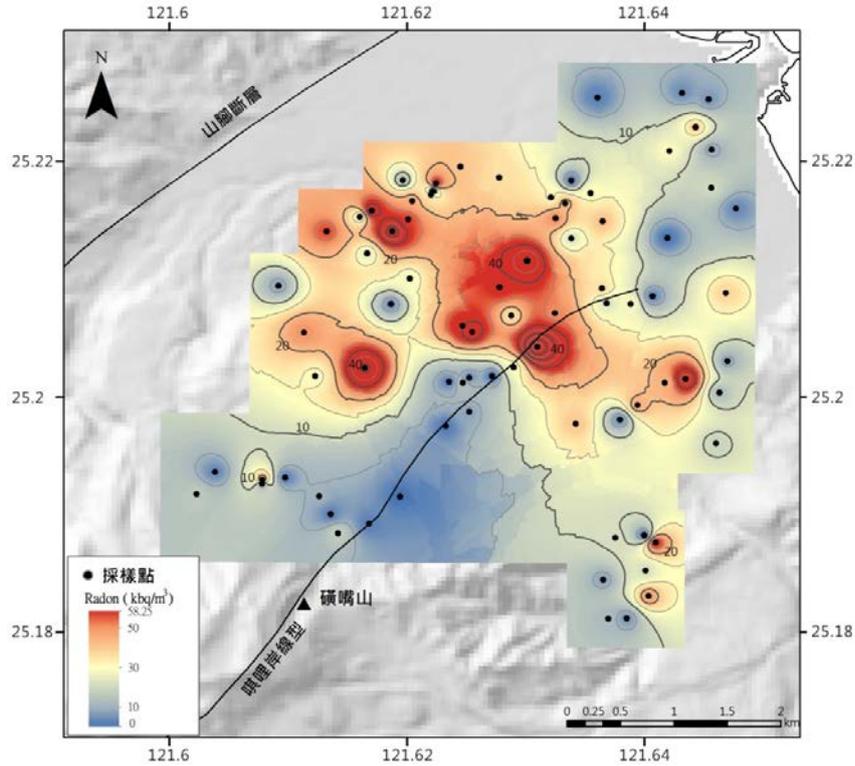


圖 103、土壤氡氣濃度分布圖

1.2.1.3 潛能區塊水文地質模式建立

本年度工作以磺嘴山區(即大屯火地熱潛能區)以及宜蘭清水-土場兩地熱潛能區塊為目標，進行水文地質概念模式及水文循環模式建立，以評估及分析地熱潛能區入滲補注量及其來源。主要工作項目包括:(1)地熱潛能區水文觀測站設置；(2)地熱補注量評估分析；(3)地熱潛能區水文地質概念模式建立。執行成果分述如後：

(1) 水文觀測站設置

建立水文循環及水文地質概念模式，是地熱潛能區廣域水文地質調查的重要工作，但建立概念模式所需參數相當多且具有不確定性，所涵蓋領域包括地質結構、地層分布、水文地質特性、河川流量、地下水入滲補注及水質分布等，皆需逐一調查釐清。水文循環(hydrology budget cycle)特性分析是其中一項重要的工作。

Bosh and Hewlett (1982)統計全球 94 個集水區試驗發現，森林覆蓋的減少會使水文循環因子中逕流量增加，不同植被覆蓋亦有不同的影響，如每減少 10%的針葉林覆蓋面積，會增加約 40 mm 的年逕流深度；每減少 10%的闊葉林覆蓋面積，會增加約 25 mm 的年逕流深度；而每減少 10%的灌木或綠地覆蓋，年逕流量深度會增加約 10 mm。

因此，為因應全球氣候變遷，減少地熱潛能區土石流失及地表水資源損失，應積極增設次(子)集水區水文觀測站，長期觀測地表及地下水水文的變化，再依據觀測數據設計地熱潛能區截流設施，使地表水可以停留時間較長，增加地熱潛能區地下水的入滲量，進行天水深循環(約 4-5 km)入滲，以與上升高溫熱水進行混和，再經由構造形成地表地熱徵兆區。

大屯火山(磺嘴山區)及清水土場地熱潛能區水文觀測站集水區，分別包含磺溪及萬里磺溪集水區(如圖 104所示)與清水溪及土場溪集水區(如圖 105所示)。磺溪及萬里磺溪集水區面積分別為 50 及 40 平方公里；清水溪及土場溪集水區面積則分別為 98 及 80 平方公里。

圖 106為磺溪及萬里磺溪規劃之水文觀測站位置，均不屬於陽明山國家公園管理範圍；圖 107則為清水溪及土場溪規劃之水文觀測站位置，均位於林務局羅東林業管理處的範圍內，清水溪水文觀測站已完成使用土地租借(契約編號：16360263500012)，土場溪仁澤(亦稱鳩之澤)水文觀測站則至目前尚未與羅東林管處完成使用土地租借簽約手續，因此無法設置水文觀測站。

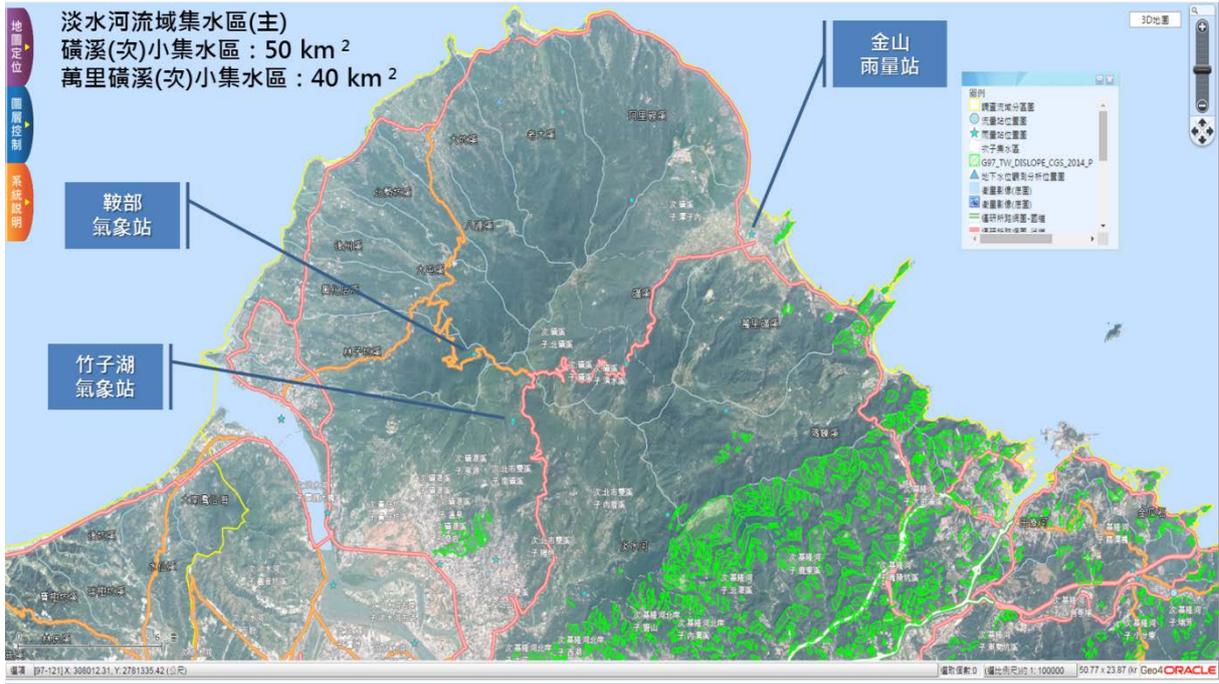


圖 104、磺溪及萬里磺溪小集水區為淡水河流域之次流域
 註：底圖取自中央地質調查所集水區地形及地質資料庫網站



圖 105、清水溪及土場溪小集水區分別為蘭陽河流域之次與小流域
 註：底圖取自中央地質調查所集水區地形及地質資料庫網站

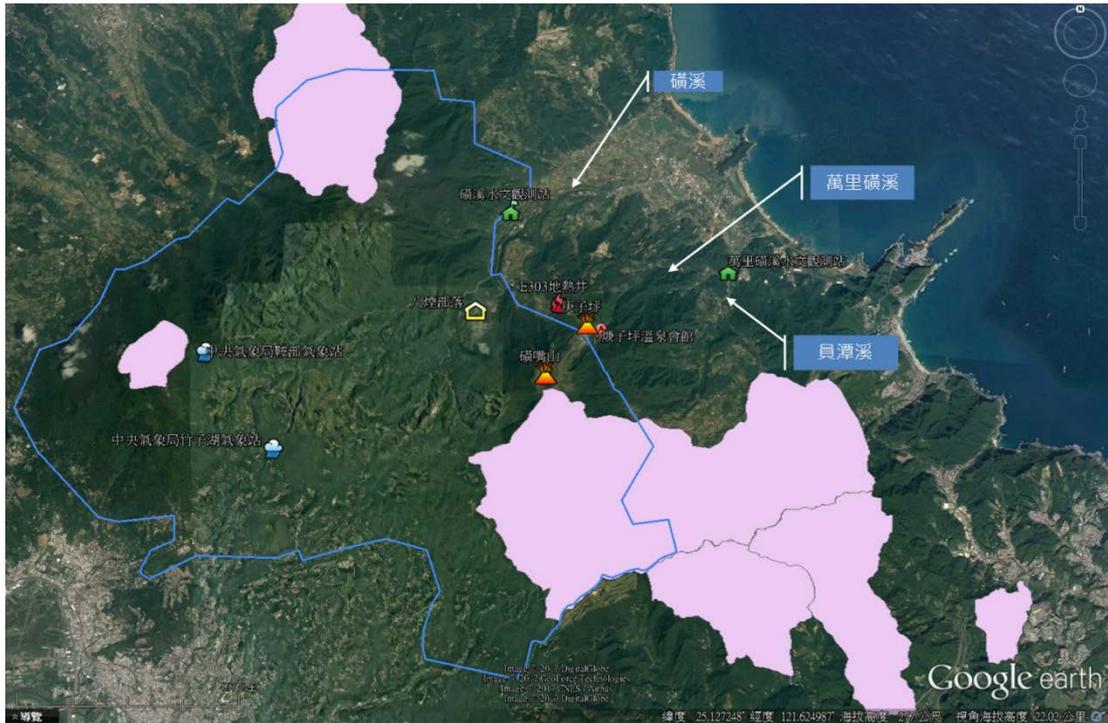


圖 106、礮溪及萬里礮溪水文觀測站規劃位置圖(圖中綠色小屋)
 註：底圖取自 Google Earth 網站



圖 107、清水溪與土場溪水文觀測站規劃位置圖(圖中綠色小屋)
 註：底圖取自 Google Earth 網站

圖 108為萬里磺溪水文觀測站選定之站址，地籍圖上屬於新北市萬里區下萬里加投員潭子小段，可於台 2 公路上大鵬國小轉員潭路抵達磺潭社區內之站址，鄰近第二核能發電廠。其 TWD97 坐標為 X=314,223 m；Y=2,788,350 m，高程約 43 m。

圖 109則為磺溪水文觀測站選定之站址，地籍圖上屬於新北市金山區頂中股段茅埔頭小段，位於台 2 甲路上田園蔬食餐坊附近，據金山市區直線距離約 4 km，其 TWD97 坐標為 X=309,266 m；Y=2,789,611 m，高程約 112 m。

圖 110為清水溪水文觀測站選定之站址，地籍圖上屬於宜蘭縣大同鄉清溪段，亦屬於羅東事業區 26 林班地(冬山工作站負責)，位於清水地熱廣場旁，TWD97 坐標為 X=314,422 m；Y=2,723,231 m，高程約 413 m。

圖 111為場溪仁澤水文觀測站選定之站址，地籍圖上屬於宜蘭縣大同鄉仁澤段，亦屬於太平山事業區 95 林班地(太平山工作站負責)，位於太平山森林遊樂區內之鳩之澤溫泉區，TWD97 坐標為 X=300,513 m；Y=2,715,763 m，高程約 647 m。

地熱潛能區水文觀測站觀測項目包括：(1)50/100 cm 深度的土壤含水量(water content)、(2)河川水位(river stage)、(3)河川表面流速(surface velocity)、(4)皿蒸發量、(5)50/100 cm 深度的土壤張力值、(6)50/100 cm 深度的地溫(ground thermal)、(7)降水量、(8)環境中溫度與濕度及(9)日照強度等。主要觀測儀器特性說明如下：

(A) 土壤含水量：

採用澳洲 Sentek technology 生產之土壤水份感測計，針對地表下 50 cm 及 100 cm 處土壤水份變化進行量測，其操作溫度介於-20°C 至+75°C 之間，準確度為±0.003% Vol.。



圖 108、萬里磺溪水文觀測站選定之站址
註：底圖取自 Google 地圖



圖 109、磺溪水文觀測站選定之站址
註：底圖取自 Google 地圖



圖 110、清水溪水文觀測站選定之站址
 註：底圖取自 Google 地圖



圖 111、土場溪仁澤水文觀測站選定之站址
 註：底圖取自 Google 地圖

(B) 河川水位與流速：

水位與流量觀測採取非接觸型之觀測儀器，預防河川暴漲所帶來之大型雜物破壞相關設備並避免影響水中保育類動物之活動。感測器包含超音波水位計及雷達測速儀兩種，分述如下：

a. 超音波水位計：採用美國 Campbell sr50a 型超音波水位計，其量測距離介於 0.5 至 10 m 之間，涵蓋範圍為 0.268 倍的量測距離，即 0.134 至 26.8 m 之間；適用溫度範圍介於 -45°C 至 $+50^{\circ}\text{C}$ 之間，且具溫度補償功能；量測準確度為 0.4" (1 cm)，解析度為 0.01" (0.25 mm)。其優點為：非接觸測定，按裝快速、超音波因人耳聽不到，在測定過程無任何噪音、超音波之波長短，故可準確且迅速的測定水位、超音波之指向性大且發射所需能量小波長短，音響裝置可作成小型輕巧型式。

b. 河川表面流速儀：採用克羅埃西亞 Hydrosan 廠牌之微波雷達測速儀(Surface Velocity Radar, SVR)，是利用都卜勒(Doppler)原理研製的測速儀器，亦可稱為微波都卜勒測速儀或雷達波流速儀。量測範圍介於 0.1 m/sec 至 15 m/sec 之間，有效量測距離 50 m，操作溫度介於 -40°C 至 $+85^{\circ}\text{C}$ 之間。

(C) 蒸發皿：

蒸發量依照世界氣象組織(WMO)及國際文教組織(UNESCO)在 1992 年所訂定之定義為「實際蒸發量(actual evaporation)，由開放水面或地面之水氣蒸發量」，但從自然水中或地面直接量測蒸發量，並不容易實現，只能由間接方法提供合理之量測結果，間接方法包含蒸散計(lysimeter)、蒸發計(atmometer)及蒸發皿等，其中蒸發皿為

中央氣象局所選用之儀器，一般設置地點應儘量靠近雨量計。

本計畫現地蒸發量採用美國 Novalynx 公司型號為 255-100 及 255-200 型之 A 型自記式蒸發皿，其中 255-100 為蒸發量量測計(evaporation output gauge)，準確度為 0.25%，電阻為 1000 ohms，操作溫度介於-40°至 60°C 之間，量測範圍介於 0 至 10"之間；255-200 則為美國標準之 A 型蒸發皿，其材質為 304 低碳不鏽鋼，材質厚約 0.047"，圓型尺寸大小為 10"深×47-1/2"直徑(即 25.4 cm×120.65 cm)，總容量約為 77 加侖(約 291 公升，若加入 7.7 加侖水則會升高 25.4 mm，因此滿水位約為 254 mm，皿內水深應經常保持 180 至 200 mm 之間)，總重量約 22 kg。

(D) 土壤張力計

使用美國 Soil moisture Equipment Corp.廠牌與 2725ARL Jet Fill 及 5301 current transducer 型式之感測元件；可以同時量測 50 cm 及 100 cm 不同深度土壤張力值(suction head)；輸出選擇及訊號為 RS232/5301-B1 (4-20 mA)；量測範圍介於 0 至 1 bar ($\cong 1020$ cm of H₂O)。

(E) 地溫計

使用美國 Campbell Scientific Inc.廠牌之感測元件；可以同時量測 50 cm 及 100 cm 不同深度土壤溫度；長度及直徑分別為 7.94 cm 及 0.95 cm；量測溫度範圍介於-50°C至+70°C之間；工作溫度範圍介於-50°C至+100°C之間；量測準確度 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ (0 至 70°C)。

(F) 雨量計

使用日本小笠原計器製作所(Ogasawara Keiki Co., Ltd.)廠牌與 RS-102 D/no heater 型式之發信器；材質及直徑為不鏽鋼

及 200 mm；量測準確度為 0.5 mm/降水量 < 20 mm 或 <3% of the instrumental error/降水量 > 20 mm。

(G) 環境溫濕度計

使用美國 Campbell Scientific Inc. 廠牌與 CS-215 型式之感測元件；操作溫度介於 -40°C 至 +70°C 之間；操作濕度介於 0 至 100% RH (-20°C 至 +60°C)；溫度準確度為 ±0.9°C；濕度準確度為 ±4.0%。

本年度共完成 3 處水文觀測站設置工作，各觀測站詳細觀測數據與分析成果分述於後：

(A) 清水水文觀測站觀測成果

圖 112 為清水地熱潛能區水文觀測站設置完成後之相關感測儀器，自 2017 年 4 月 6 日起進行觀測，至 11 月 27 日止共紀錄 5,636 筆資料；為防止相關儀器遭受破壞，設置圍籬並掛上警告標誌(如圖 113 所示)。

圖 114 至圖 119 則為清水地熱潛能區自 2017 年 4 月 6 日至 11 月 27 日止水文觀測成果，分別為降水量與蒸發量、含水量、張力值、地溫、清水溪水位與流速及累積流量關係圖，目前總累積降水量 4,640 mm，總累積蒸發量 411 mm，約為降水量 1/12，符合高山地區特性，清水溪總累積流量已達約 192 百萬立方公尺，約為蘭陽溪年逕流量(2,400 百萬立方公尺)之 1/13。



圖 112、清水地熱潛能區水文觀測站之觀測儀器



圖 113、清水地熱潛能區水文觀測站安全設置

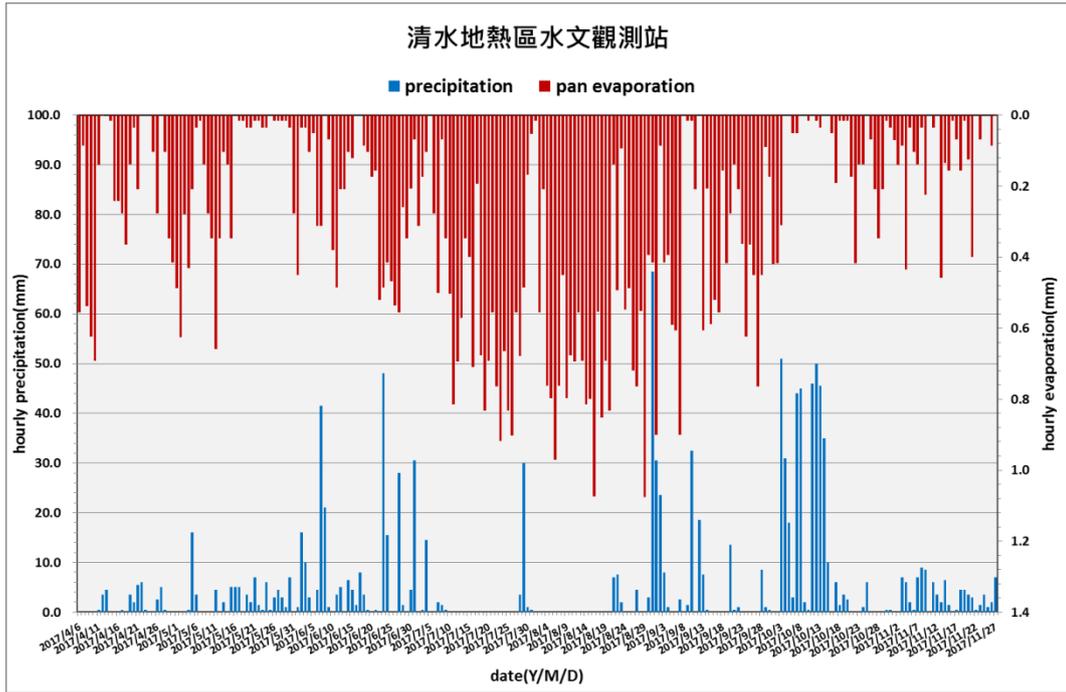


圖 114、清水地熱潛能區降水量與蒸發量分布圖

註：紀錄期間自 2017 年 04 月 06 日至 2017 年 11 月 27 日止。

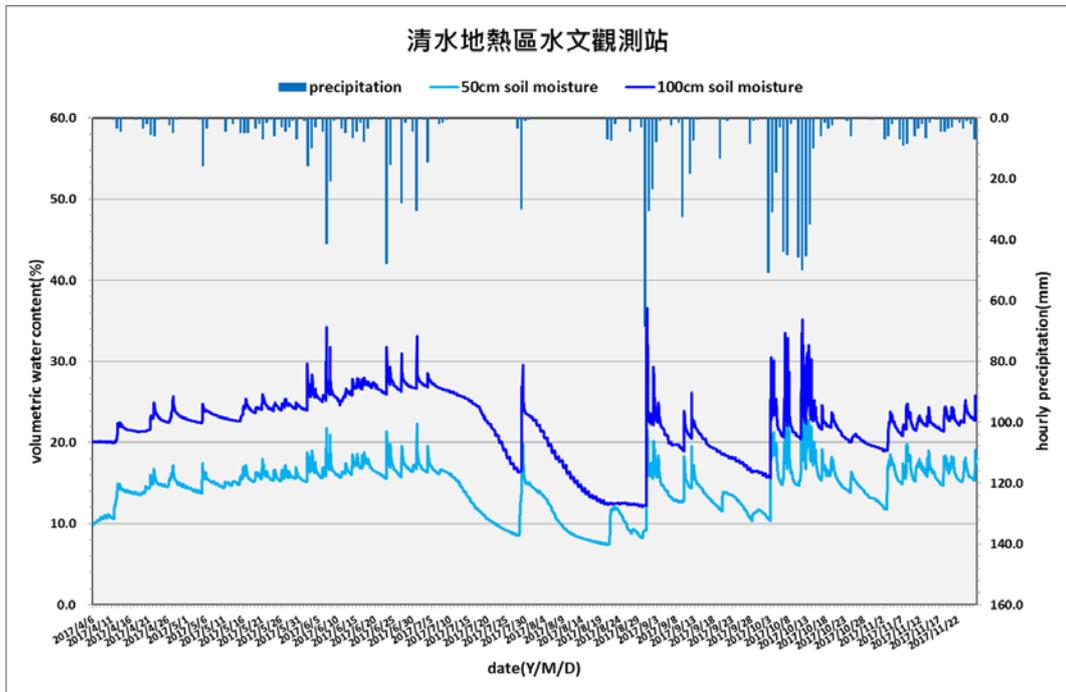


圖 115、清水地熱潛能區土壤含水量與降水量關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 04 月 06 日至 2017 年 11 月 27 日止。

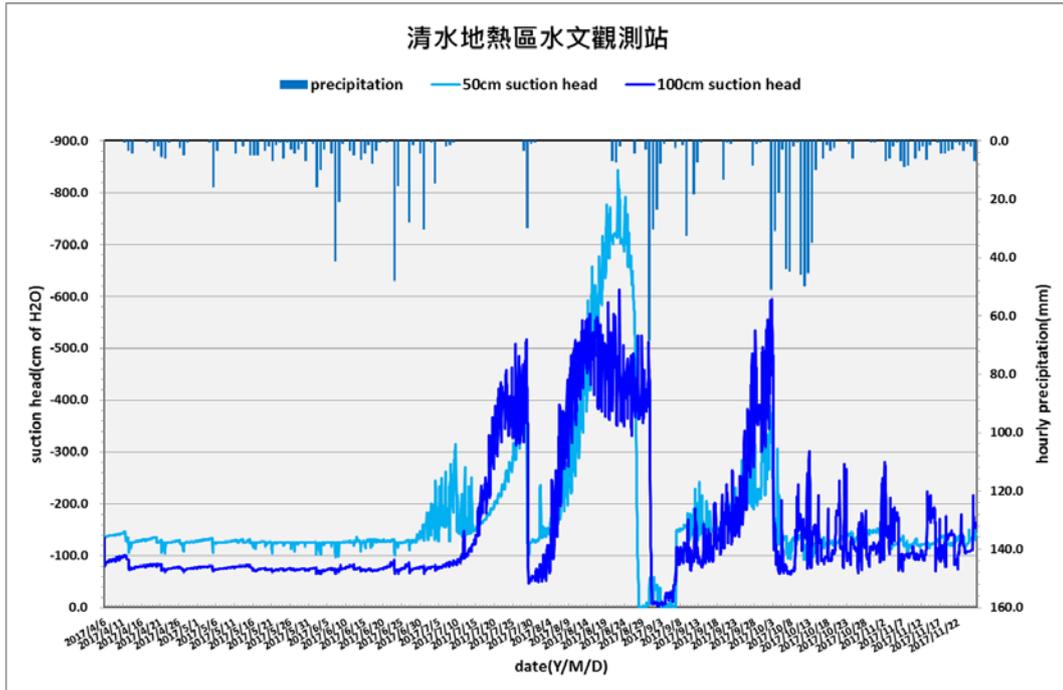


圖 116、清水地熱潛能區土壤張力值與降水量關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 04 月 06 日至 2017 年 11 月 27 日止。

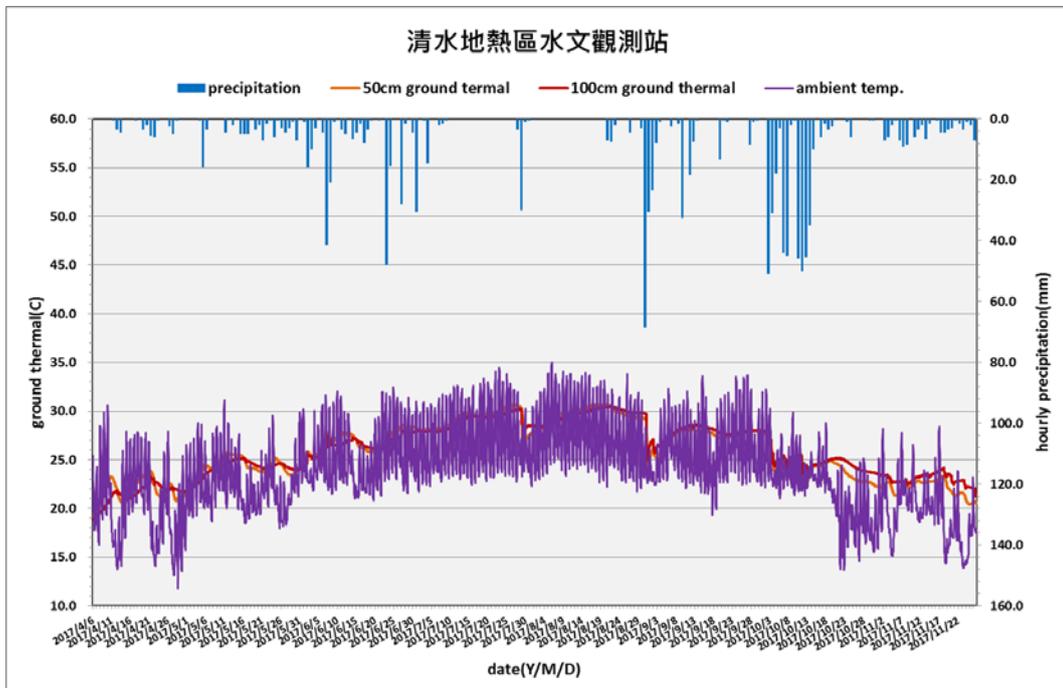


圖 117、清水地熱潛能區土壤地溫與環境溫度及降水量關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 04 月 06 日至 2017 年 11 月 27 日止。

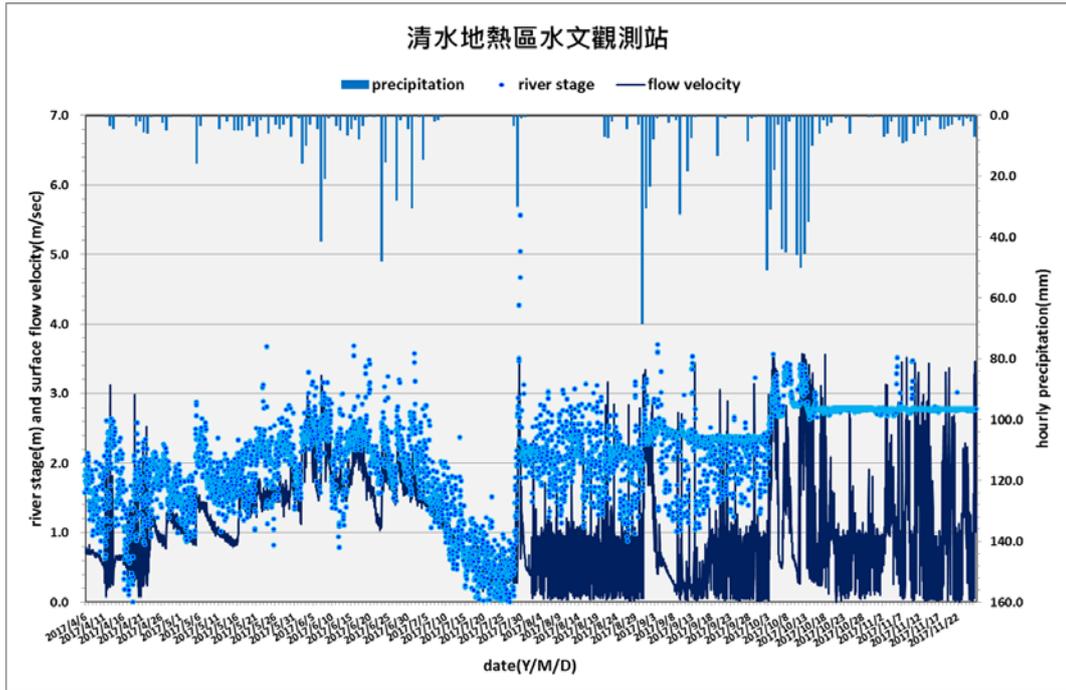


圖 118、清水地熱潛能區清水溪水位與流速及降水量關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 04 月 06 日至 2017 年 11 月 27 日止。

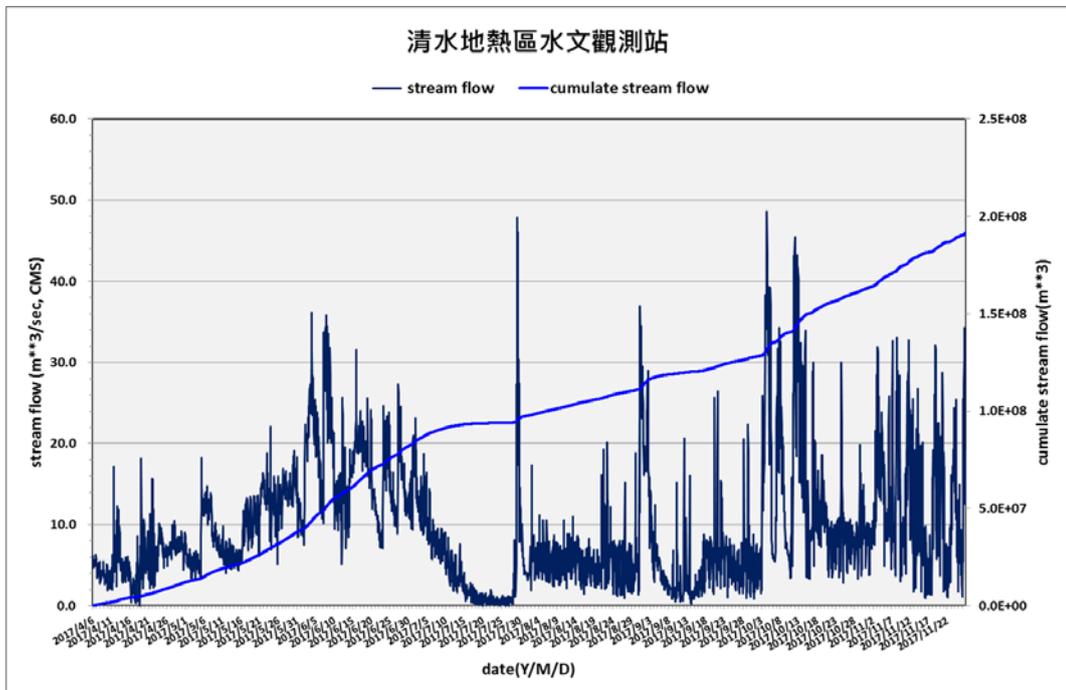


圖 119、清水地熱潛能區清水溪流量與累積流量關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 04 月 06 日至 2017 年 11 月 27 日止。

圖 120是本觀測站與中央氣象局(Central Weather Bureau, CWB)所屬玉蘭測站(編號：C0U650)降水量的比較，其相關係數大於0.5，顯示觀測數據具代表性；玉蘭測站 2015 年及 2016 年總降水量分別約為 3,210 mm 及 3,932 mm。由於目前觀測時間尚未累積足夠一個水文年觀測數據，以進行地熱潛能區水文循環分析，後續將會繼續完成相關的分析工作。

圖 121是清水地熱區日照強度(pyranometer)與電力供應系統電力分布圖，穩定供電是獲得連續觀測數據的重要關鍵。當日照強度值超過 1,000 W/平方公尺以上時，多為晴天，800 至 1,000 W/平方公尺之間則為晴時多雲，600 至 800 W/平方公尺之間則為多雲時晴，600 W/平方公尺以下則為多雲時陰或雨天。雖然日照強度超過 600 W/平方公尺以上的天數並不多，但觀測站電力均可穩定維持在 12.5 至 14.0V 之間，顯示太陽能板及電池功能運作正常。

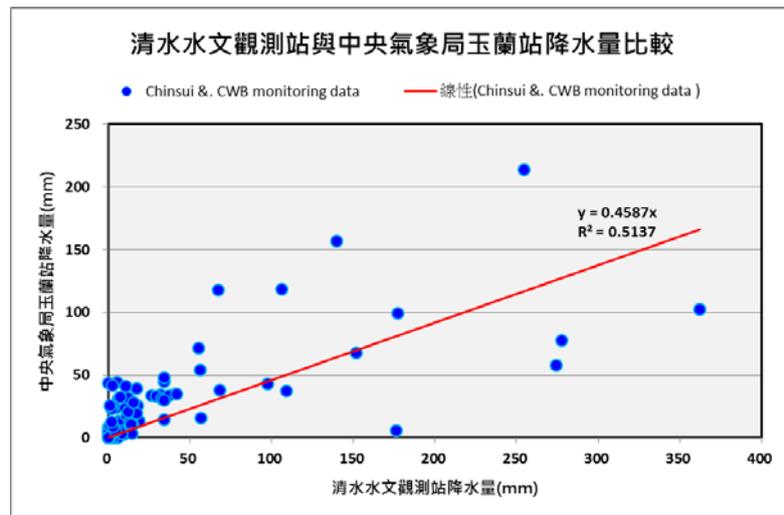


圖 120、清水地熱潛能區降水量與中央氣象局玉蘭測站比較圖

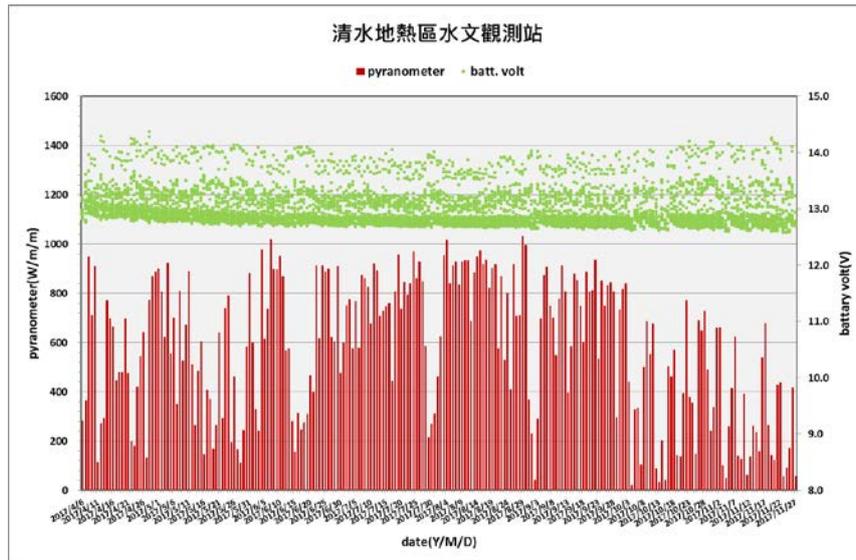


圖 121、清水地熱潛能區日照強度與供電系統電力關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 04 月 06 日至 2017 年 11 月 27 日止。

(B) 大屯火山磺溪觀測站觀測成果

圖 122 為大屯火山磺溪地熱潛能區水文觀測站之相關感測儀器，自 2017 年 7 月 5 日起進行觀測，至 11 月 27 日止共記錄 3,480 筆資料；為防止相關儀器遭受破壞，同樣設置圍籬並掛上警告標誌(如圖 123 所示)。

圖 124 至圖 129 則為磺溪地熱潛能區水文觀測成果，分別為降水量與蒸發量、含水量、張力值、地溫、磺溪水位與流速及累積流量關係圖，目前總累積降水量 1,736 mm，總累積蒸發量 317 mm，約為降水量 1/5，磺溪總累積流量已達約 58 百萬立方公尺，約為淡水河年逕流量(6,600 百萬立方公尺)之 1/100。由於目前觀測時間同樣尚未累積足夠一個水文年觀測數據，以進行地熱潛能區水文循環分析，後續亦會繼續完成相關的分析工作。

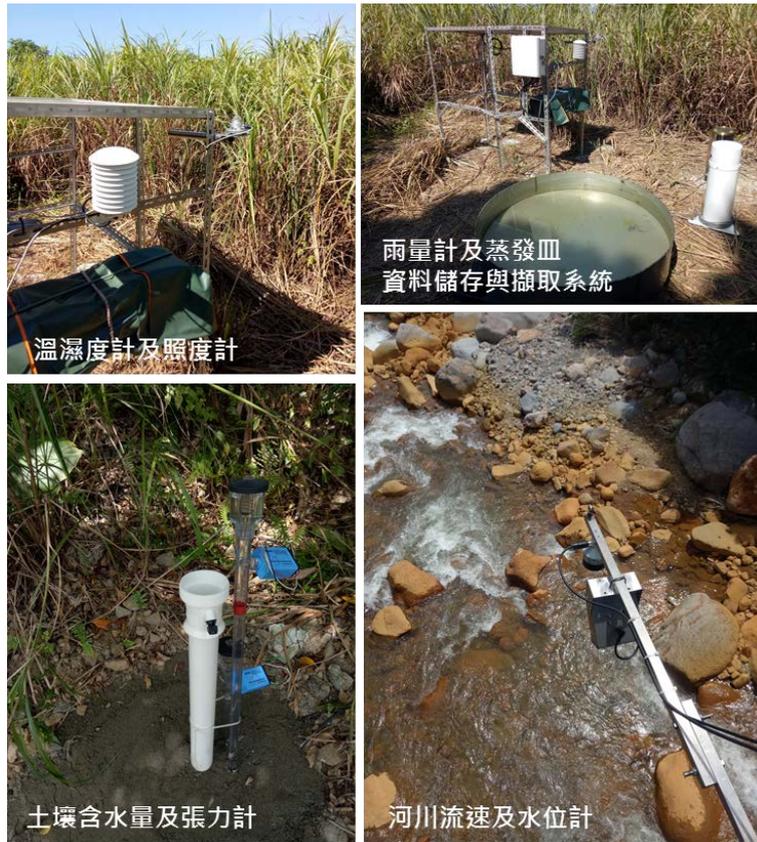


圖 122、大屯火山礮溪地熱潛能區水文觀測站之觀測儀器



圖 123、大屯火山礮溪地熱潛能區水文觀測站安全設置

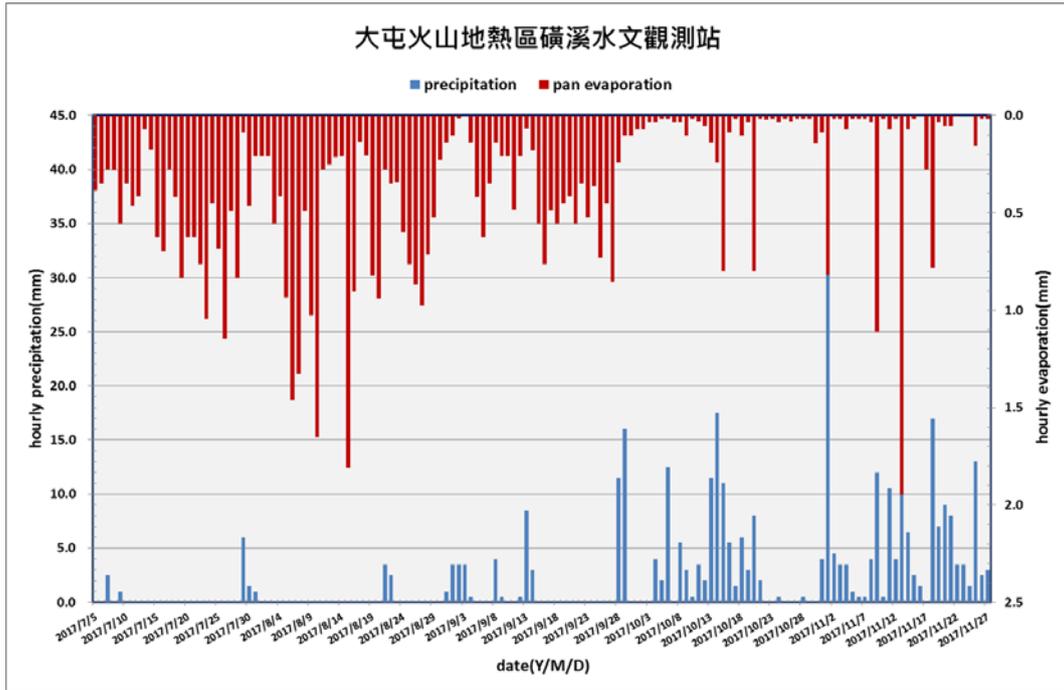


圖 124、大屯火山磺溪地熱潛能區降水量與蒸發量分布圖

註：紀錄期間自 2017 年 07 月 05 日至 2017 年 11 月 27 日止。

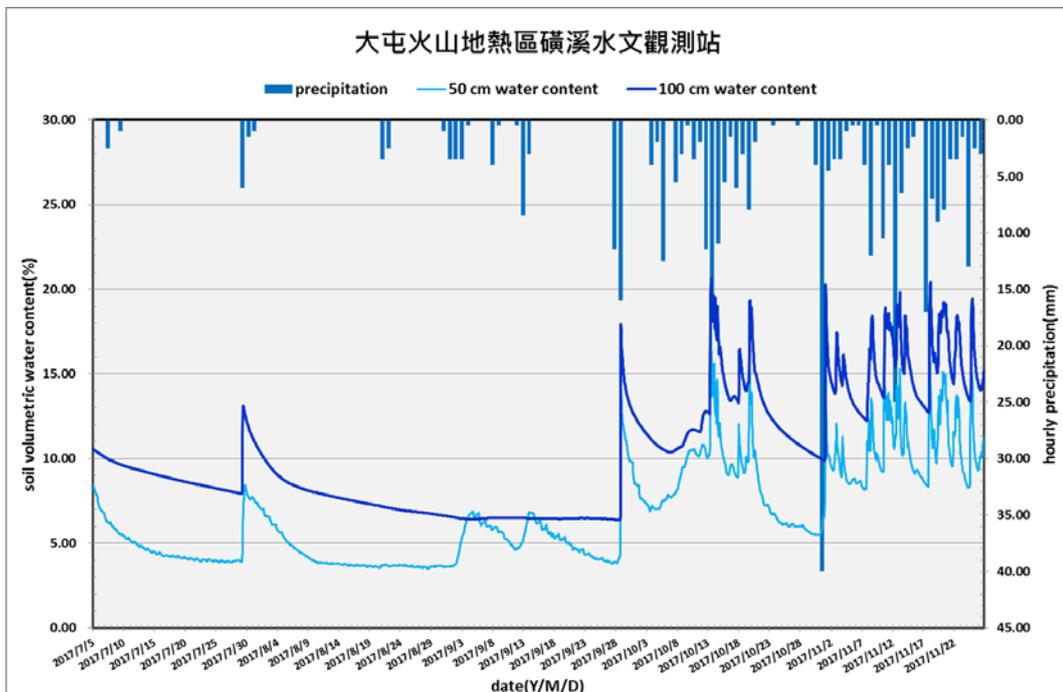


圖 125、大屯火山磺溪地熱潛能區含水量與降水量分布圖

註：紀錄期間自 2017 年 07 月 05 日至 2017 年 11 月 27 日止。

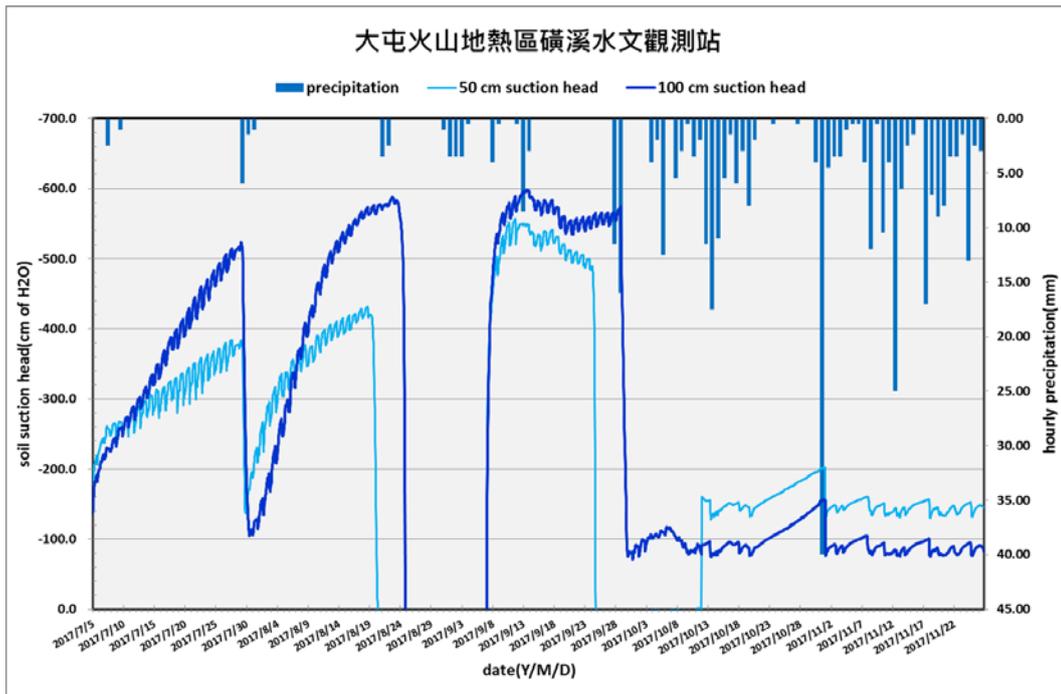


圖 126、大屯火山磺溪地熱潛能區土壤張力值與降水量關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 07 月 05 日至 2017 年 11 月 27 日止。

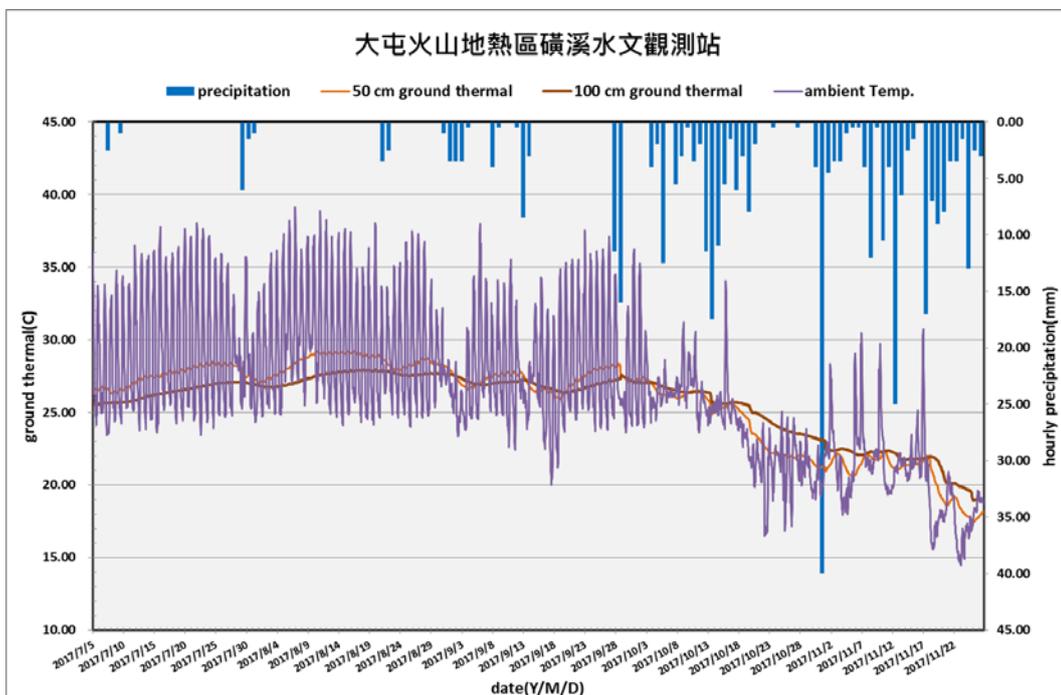


圖 127、大屯火山磺溪地熱潛能區土壤溫度與環境溫度及降水量關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 07 月 05 日至 2017 年 11 月 27 日止。

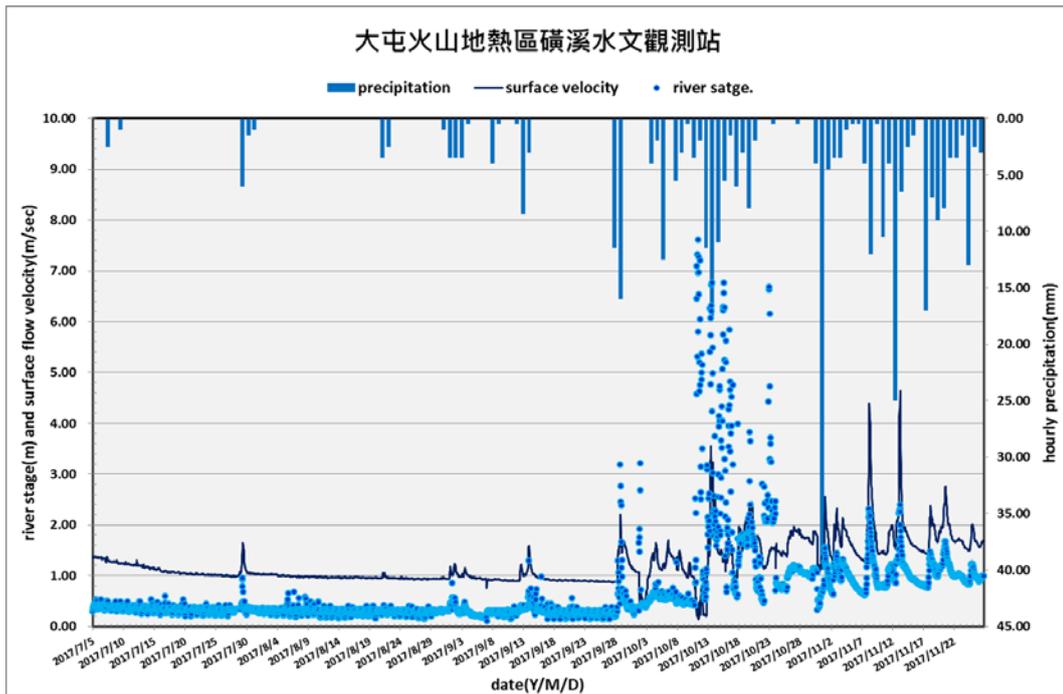


圖 128、大屯火山磺溪地熱潛能區磺溪水位與流速及降水量關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 07 月 05 日至 2017 年 11 月 27 日止。

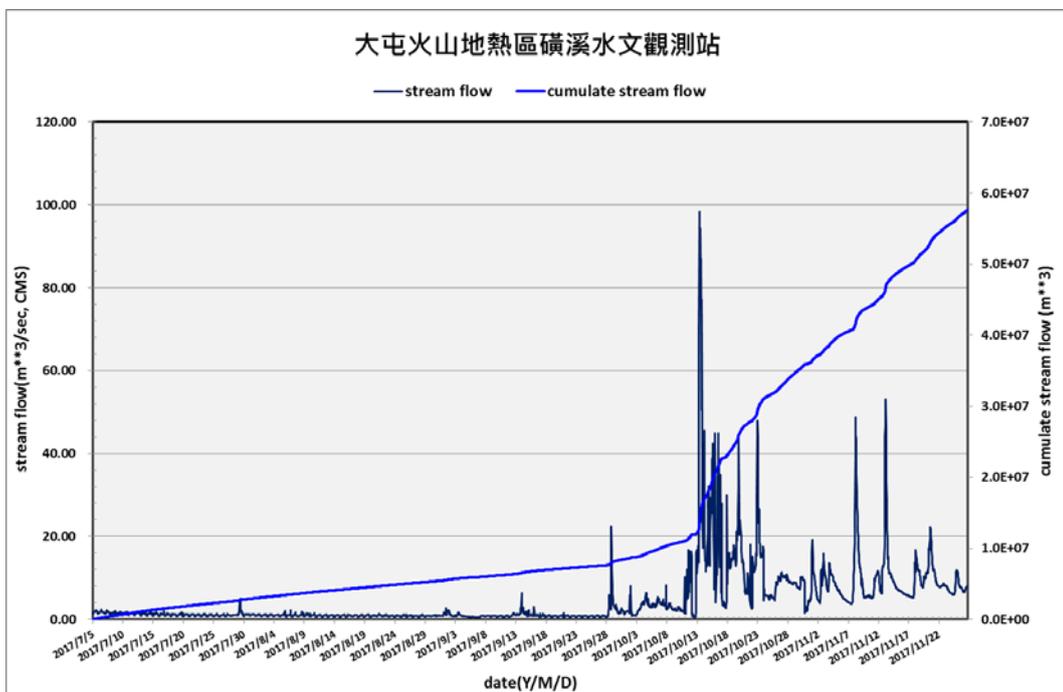


圖 129、大屯火山磺溪地熱潛能區磺溪流量與累積流量關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 07 月 05 日至 2017 年 11 月 27 日止。

圖 130是本觀測站與中央氣象局所屬金山(編號：C0A940)與三和(編號：C0A931)測站降水量的比較，其相關係數大於 0.8，顯示觀測數據具代表性；金山測站 2015 年及 2016 年總降水量分別約為 2,658 mm 及 2,892 mm。

圖 131是磺溪地熱區日照強度(pyranometer)與電力供應系統電力分布圖。雖然 10 月份以後日照強度超過 600 W/平方公尺以上的天數並不多，但觀測站電力均可穩定維持在 12.0 至 14.0V 之間，顯示太陽能板及電池功能運作正常。

(C) 大屯火山萬里磺溪觀測站觀測成果

圖 132為大屯火山萬里磺溪地熱潛能區水文觀測站之相關感測儀器，自 2017 年 10 月 18 日起進行觀測，至 11 月 27 日止共紀錄 960 筆資料；為防止相關儀器遭受破壞，亦設置圍籬並掛上警告標誌(如圖 133所示)。

圖 134至圖 139則為萬里磺溪地熱潛能區水文觀測成果，分別為降水量與蒸發量、含水量、張力值、地溫、萬里磺溪水位與流速及累積流量關係圖，目前總累積降水量 633 mm，總累積蒸發量 5 mm，約為降水量 1/120，萬里磺溪總累積流量已達約 1.4 百萬立方公尺，約為淡水河年逕流量(6,600 百萬立方公尺)之 1/5,000。由於目前觀測時間同樣尚未累積足夠一個水文年觀測數據，以進行地熱潛能區水文循環分析，後續亦會繼續完成相關的分析工作。

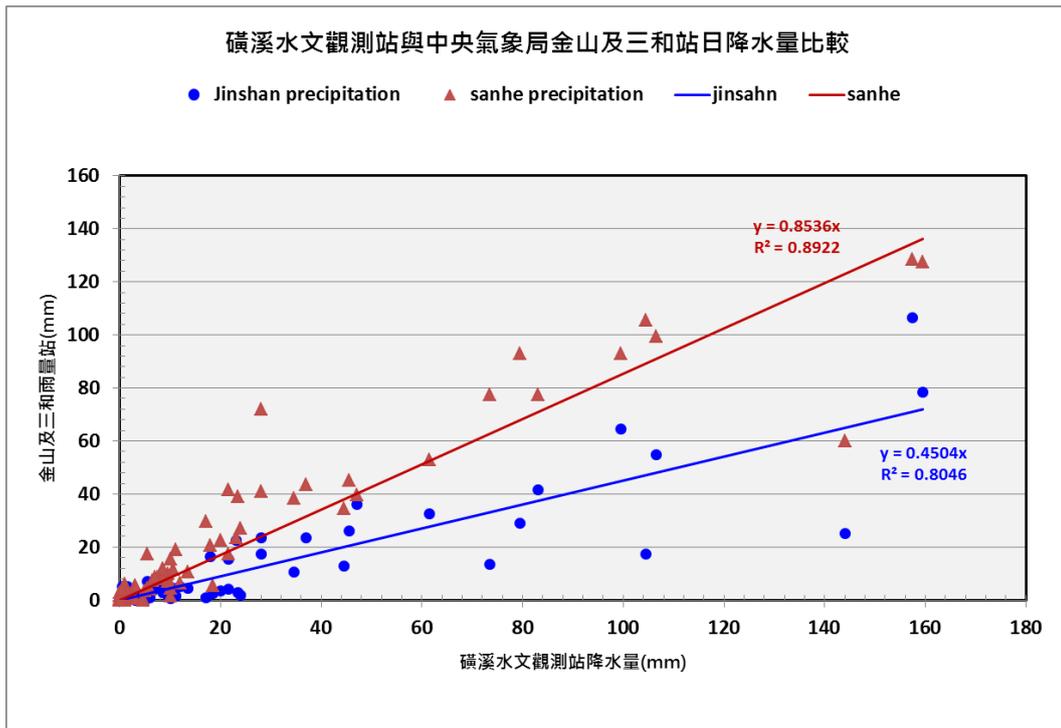


圖 130、大屯火山磺溪地熱潛能區降水量與中央氣象局金山與三和測站比較圖

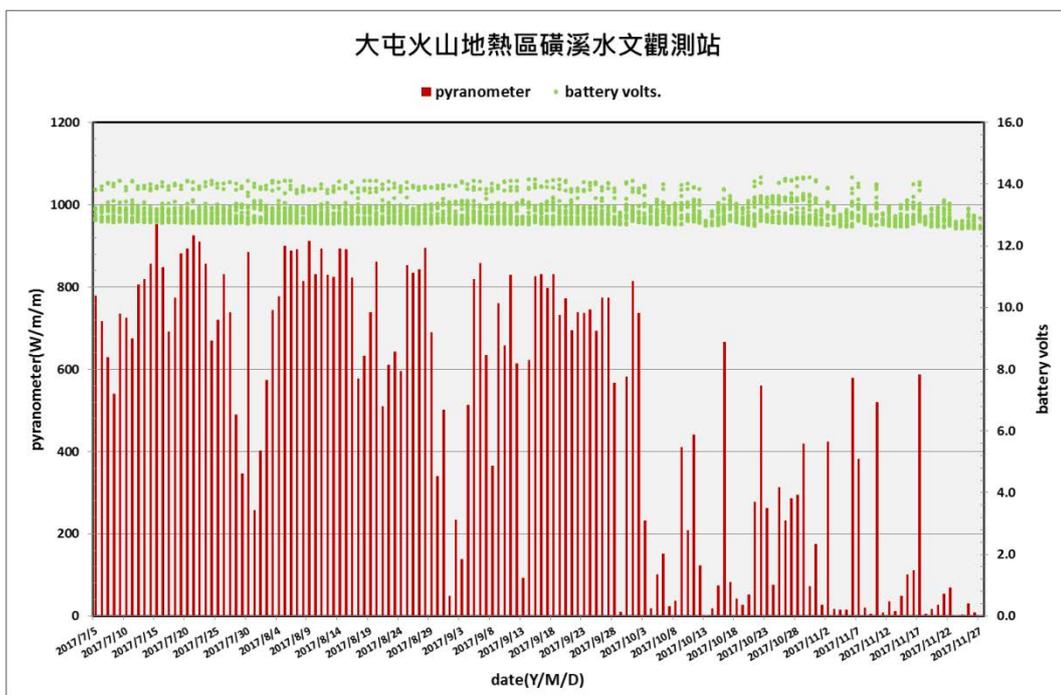


圖 131、大屯火山磺溪地熱潛能區日照強度與供電系統電力關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 07 月 05 日至 2017 年 11 月 27 日止。



圖 132、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區水文觀測站之觀測儀器



圖 133、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區水文觀測站安全設置

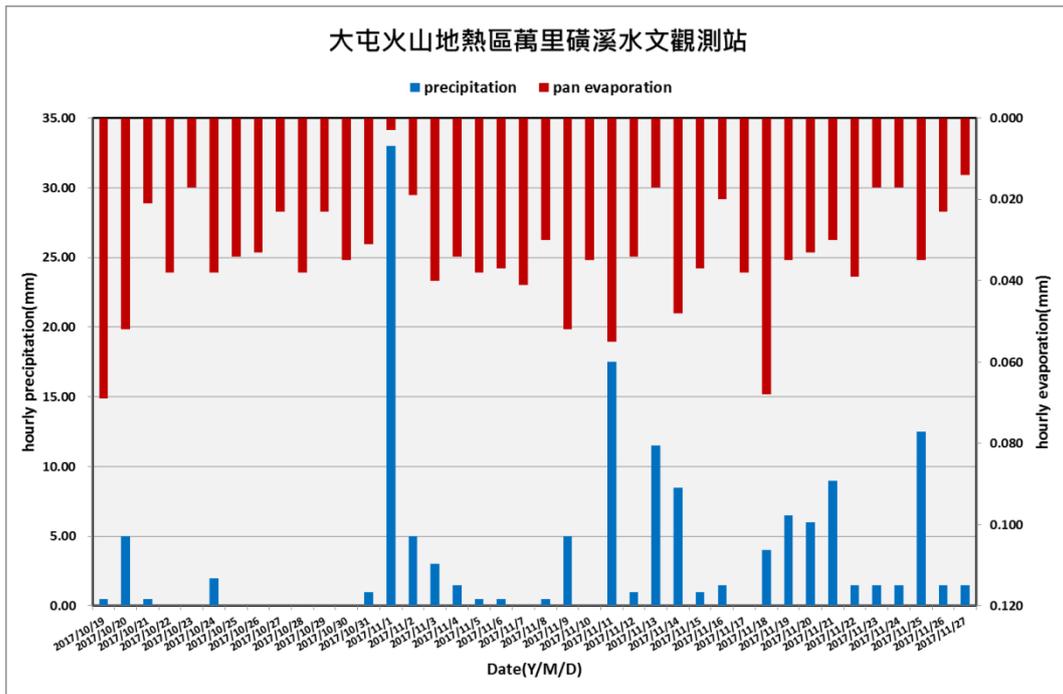


圖 134、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區降水量與蒸發量分布圖
 註：紀錄期間自 2017 年 10 月 18 日至 2017 年 11 月 27 日止。

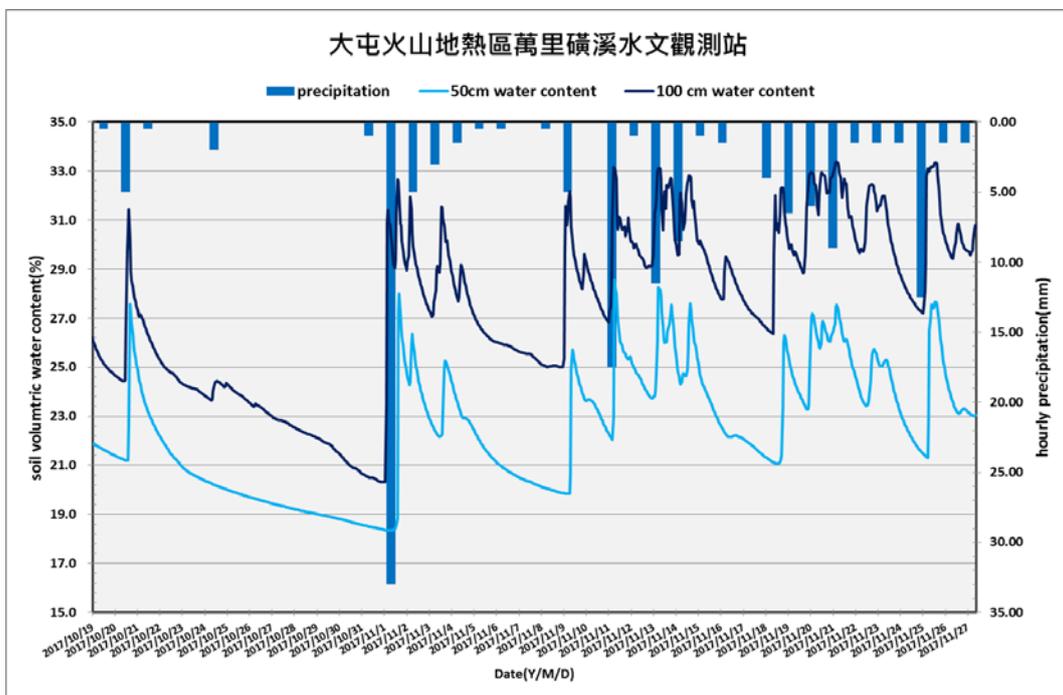


圖 135、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區含水量與降水量分布圖
 註：紀錄期間自 2017 年 10 月 18 日至 2017 年 11 月 27 日止。

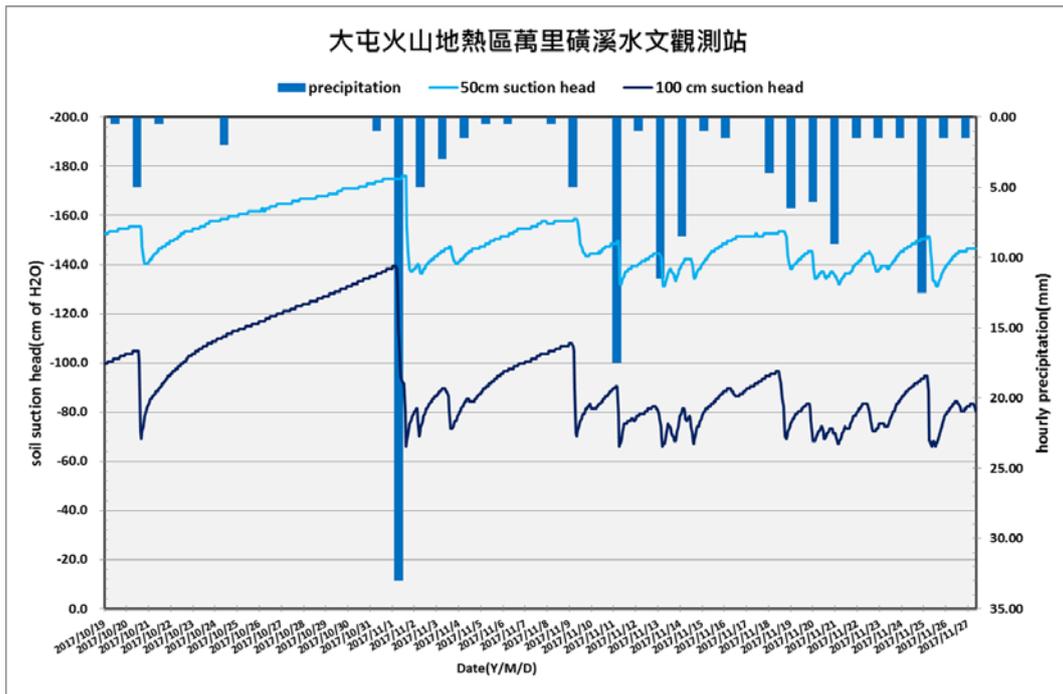


圖 136、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區土壤張力值與降水量關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 10 月 18 日至 2017 年 11 月 27 日止。

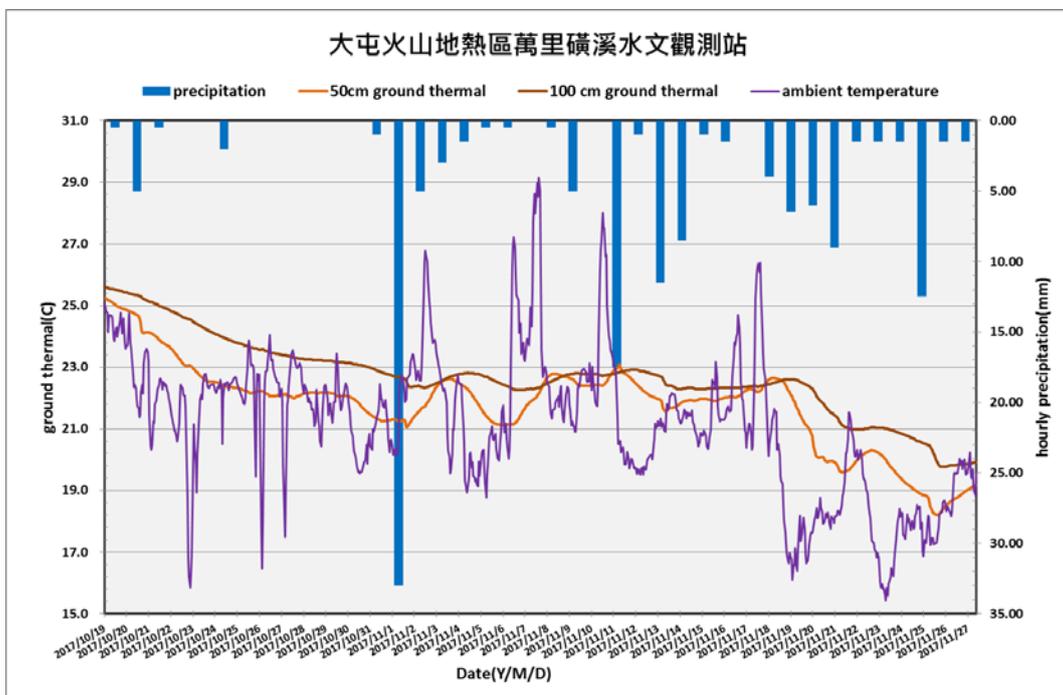


圖 137、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區土壤溫度與環境溫度及降水量關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 10 月 18 日至 2017 年 11 月 27 日止。

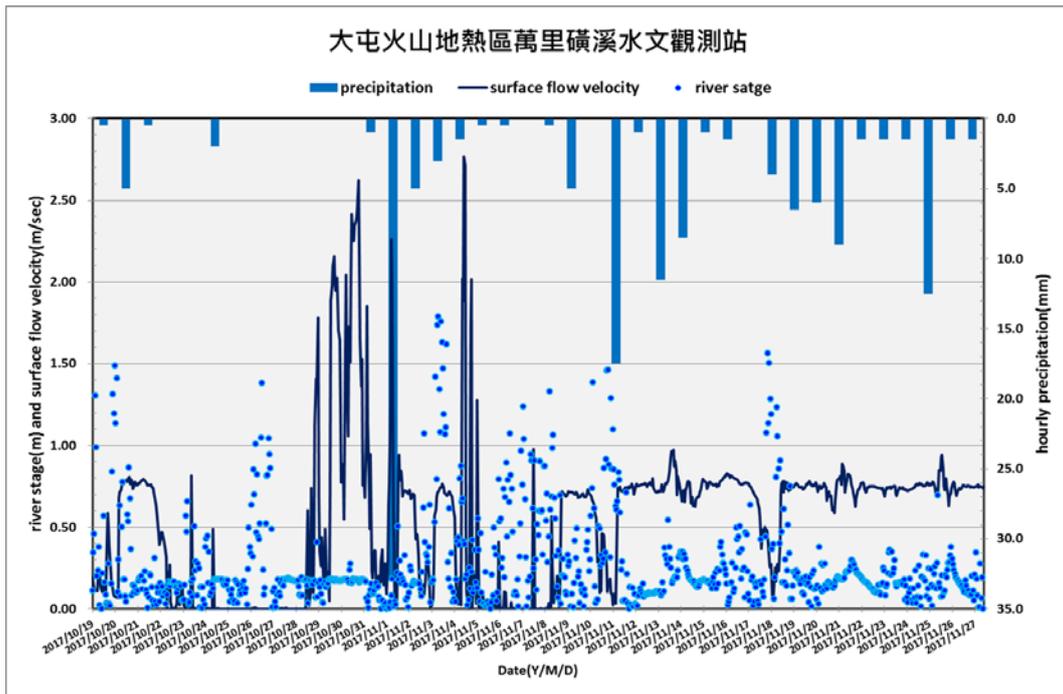


圖 138、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區磺溪水位與流速及降水量關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 10 月 18 日至 2017 年 11 月 27 日止。

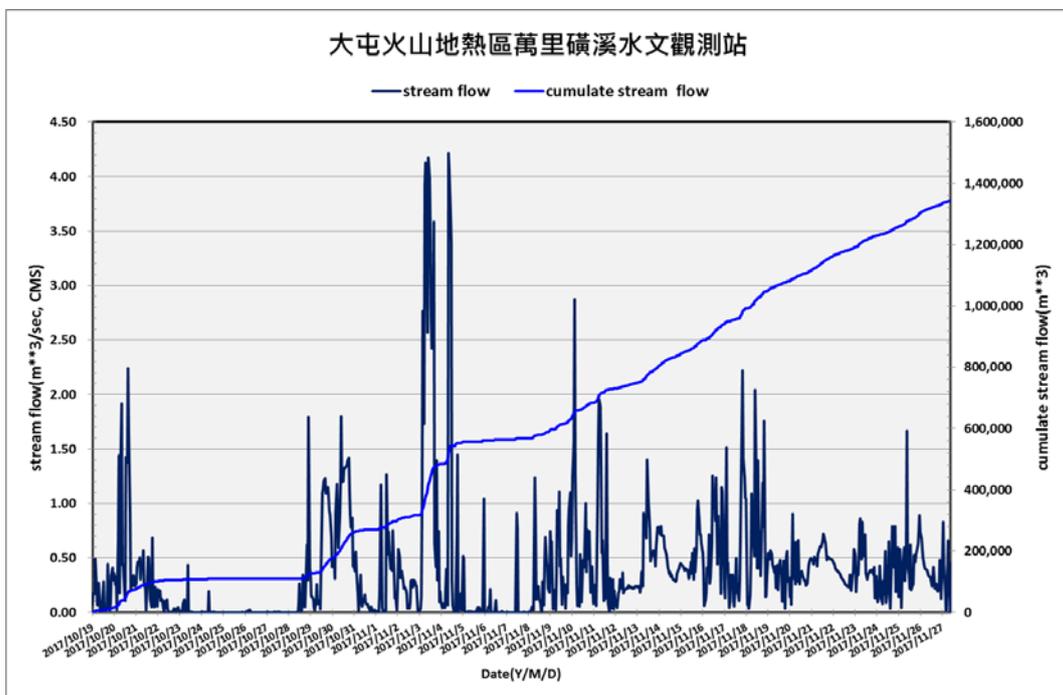


圖 139、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區磺溪流量與累積流量關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 10 月 18 日至 2017 年 11 月 27 日止。

圖 140是本觀測站與中央氣象局所屬金山測站降水量的比較，其相關係數大於 0.8，顯示觀測數據亦具代表性。圖 141是萬里磺溪地熱區日照強度(pyranometer)與電力供應系統電力分布圖，雖然觀測期間日照強度超過 200 W/平方公尺以上的天數並不多，顯示前述皿蒸發量不大之原因，但觀測站電力均可穩定維持在 12.0 至 14.0V 之間，顯示太陽能板及電池功能運作正常。

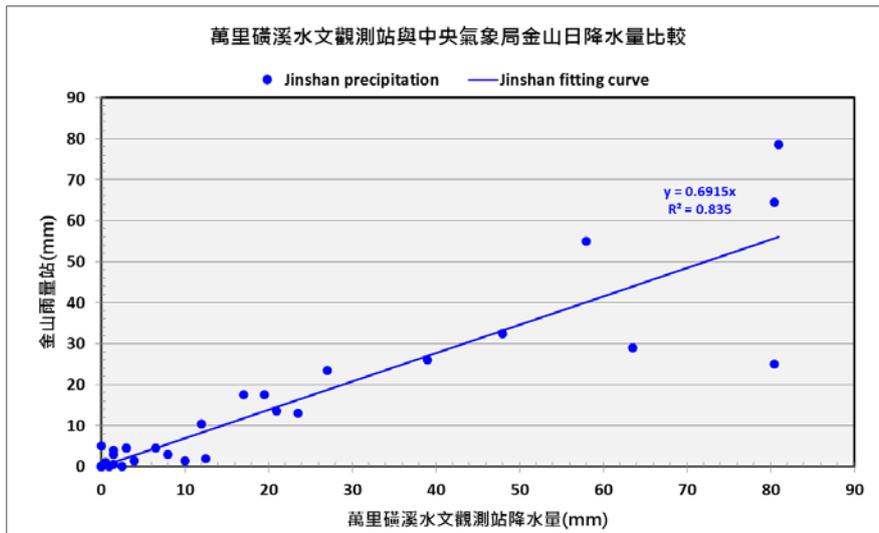


圖 140、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區降水量與中央氣象局金山測站比較圖

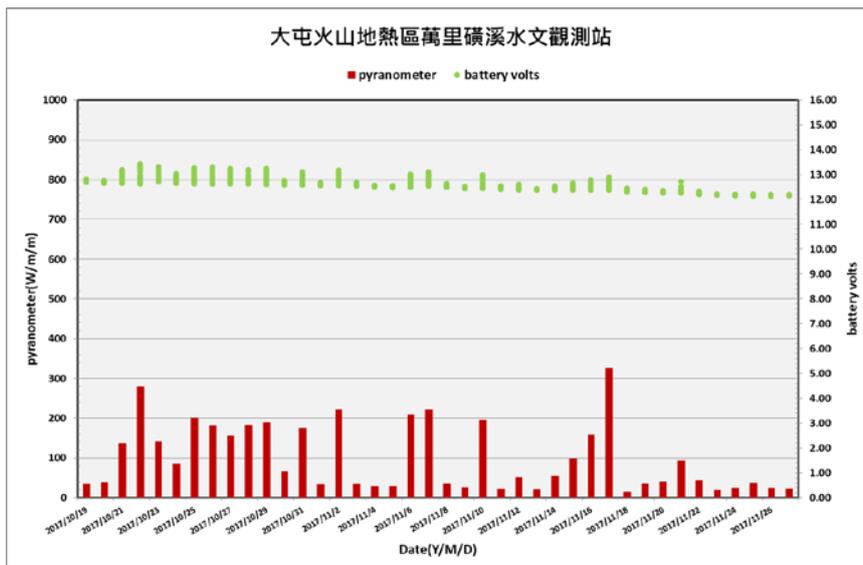


圖 141、大屯火山萬里磺溪地熱潛能區日照強度與供電系統電力關係圖

註：紀錄期間自 2017 年 10 月 18 日至 2017 年 11 月 27 日止。

(2) 地熱補注量評估分析

本工作項目利用已存在的天然與人為產生示蹤劑評估地熱地下熱儲集層的流體補注量，藉由放射性碳同位素(碳-14)及氟氯碳化物(CFCs)推估大屯火山群中地熱潛能區-磺嘴山儲集層地熱流體補注年代及地熱流體滯留時間。

(A) 放射性環境同位素(碳-14, ^{14}C):

碳有兩個穩定同位素：碳-12 和碳-13，以及很微量的碳-14。空氣中的碳-14 是在平流層生成，宇宙射線撞擊大氣中的顆粒產生熱中子，熱中子再撞擊氮-14 產生碳-14，碳-14 進入對流層之後會立刻氧化成二氧化碳，與碳-12 或碳-13 的二氧化碳混合，共同進入環境水體的碳循環系統，當停止與生物圈的碳交換，碳 14 含量開始衰變減少，將現代碳-14 與待測物的碳-14 含量加以計算，即可得之衰變至今的年代。此外與空氣交換均勻的水體，就具有與空氣碳-14 含量類似的組成，然而若與其他水體混合，即展現混合之後的碳-14 組成，因此碳-14 可作為水體來源與多重來源混合的示蹤劑指標。

碳-14 的示蹤指示，在火山活動的環境特別顯著。在火山蒸汽中的二氧化碳有極高的比例是由深層含碳物質經由熱裂解生成，深層含碳物質中的碳-14 經由長期深埋衰變之後含量非常低，而這些低碳-14 含量的二氧化碳溶解在熱液之後，也會讓熱液中的碳酸根離子呈現低碳-14 含量的特徵，因此我們可以將此熱液來源定為一端成分。空氣中碳-14 含量高的二氧化碳，下雨時溶解在雨水中降下並混入熱液之中，因此我們可以將空氣來源定做另一個端成分，利用兩個端成分的混合比例，來討論熱液與周圍水體混合比例與擴展範圍。

(B) 放射性環境同位素水樣分析方法：

將玻璃採樣瓶經 10%鹽酸泡洗，再以 450°C 高溫燒烤以去除瓶中可能的含碳干擾物。在選取之採樣點取水，水裝滿之後立刻封口避免與空氣交換。水樣拿回實驗室之後靜置兩小時以上，利用針筒取 50ml 的上清液，注入已加入 150 μ l 磷酸的玻璃管中。

碳-14 分析必須在高真空 (10^{-5} mbar) 的環境下進行 (如圖 142)，此玻璃管即為真空管線的第一部分，二氧化碳和部分其他氣體會在酸化的條件之下釋出，經由冷凝管抓取水氣等氣體，再經由加熱器氧化還原部分硫與氮化合物，經由純化之後會得到純的二氧化碳氣體，測量體積之後分成兩部分，一份送往加速器質譜儀分析實驗室進行碳-14 的分析，另一份送往穩定同位素實驗室進行碳-13 的分析。

(C) 放射性環境同位素採樣地點：

本計畫以磺嘴山地區的地熱流體為主，除了採集四磺子坪地熱水體，亦採集鄰近的煥子坪地熱區水體，和附近的金山地區水尾和金泉溫泉井水，更在可能存有岩漿庫的大油坑、七股和馬槽地熱區採集井下地熱流體(如圖 143)；此外為探討水體混合來源，上磺溪溪水與菁山地區大屯火山觀測站接收的雨水，作為本區域具有現生碳水體之可能來源的代表。

(D) 放射性環境同位素分析結果與討論：

分析結果於表 31，以 F14C 值表示待測物的碳-14 和現代碳-14 的比值。經由下列方程式計算碳-14 年代，年代誤差為一個標準差。溫泉水中的 F14C 值都較雨水(菁山雨水)或是溪水(上磺溪水)來的小，顯示不同類型的水。

$$C - 14\text{yrBP} = -8033 \times \ln(\text{F14C}) \dots\dots\dots (6)$$

大屯火山群的溫泉水體因有岩漿熱液的注入，在成分上會顯示具有岩漿來源，岩漿來源的碳-14 特徵，即是相對於空氣中的現生二氧化碳非常年老。大油坑、馬槽、七股、煨子坪與四礮子坪顯示兩萬年到三萬年的年紀，表示在這些區域有高比例的岩漿來源，大油坑主要噴氣口附近的溫泉水最老，四礮子坪在此區域最年輕；水尾與金泉雖與前述採樣區域有一段距離，其碳-14 年代仍有一萬兩千到三萬年，推測此區域有另一個岩漿來源，熱液水體中的岩漿來源比例也相當高。菁山雨水原本預估為最接近空氣含量的碳-14 組成，但分析結果顯示其年代比上礮溪水老，推估岩漿噴口附近空氣中含有高含量的岩漿氣體，因此這些碳-14 年代老的二氧化碳從岩漿口噴出之後，再伴隨著雨水落下，反而是此次上礮溪水標本的採樣點，跟空氣混合較均勻，顯示最接近現生空氣的組成，可作為此一區域熱液水體混合計算的一個端成分。

除了分析地熱水樣本之外，為確保分析品質，更以 IAEA-C1 國際標準品作為偵測實驗過程中是否有空氣混染。試驗結果顯示該 F14C 值在本實驗分析結果為 0.0028 ± 0.0004 ，符合國際標準之背景數值： 0.003 ± 0.001 (recorded from UA AMS laboratory)，表示在實驗過程中沒有空氣混染，因此標本中的空氣成分為其本身具有的特徵。

空氣混合計算是以目前空氣之 F14C 值為 1.03 進行計算。根據分析結果按照與空氣混合比例遞減排列來顯示（圖 144），上礮溪水中 95% 以上都是空氣來源，岩漿水來源的比例最低，菁山雨水混合了來自岩漿氣體的老二氧化碳，因此空氣來源只佔 80%。大油坑、馬槽、七股、煨子坪與四礮子坪、如預估岩漿熱液含量佔 90% 以上，水尾具有高達 95% 以上的岩漿熱液比例，金泉則佔 80%，金泉與水尾

地區，應該有另一個獨立的岩漿液體來源。



圖 142、二氧化碳氣體純化管線

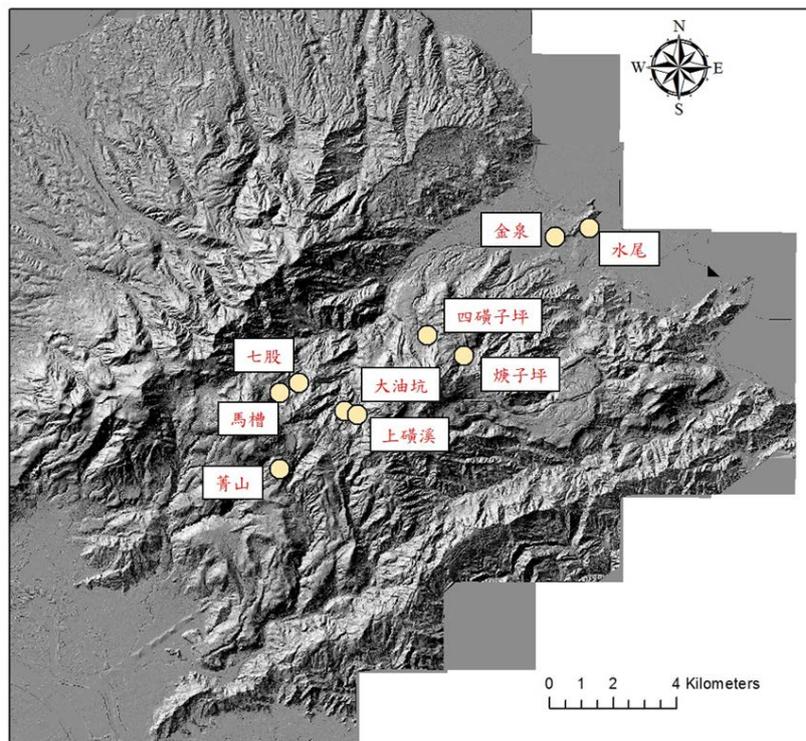


圖 143、碳-14 採樣點位分布位置

表 31、碳-14 分析結果與空氣混合比例

| 點位 | C-14 yrBP | error | F ¹⁴ C | ±1σ | air mixing % |
|---------|-----------|-------|-------------------|-------|--------------|
| 水尾 | 29,750 | 2050 | 0.025 | 0.002 | 2% |
| 金泉 | 12,600 | 190 | 0.209 | 0.003 | 20% |
| 煨子坪 | 31,800 | 2650 | 0.019 | 0.002 | 2% |
| 四礮子坪 | 21,300 | 650 | 0.071 | 0.002 | 7% |
| 大油坑 | 36,100 | 5150 | 0.011 | 0.002 | 1% |
| 七股 | 31,800 | 2800 | 0.019 | 0.002 | 2% |
| 馬槽 | 33,700 | 3550 | 0.015 | 0.002 | 1% |
| 上礮溪-溪水 | 180 | 5 | 0.978 | 0.009 | 95% |
| 菁山-雨水 1 | 990 | 10 | 0.884 | 0.007 | 86% |
| 菁山-雨水 2 | 1,520 | 40 | 0.827 | 0.020 | 80% |

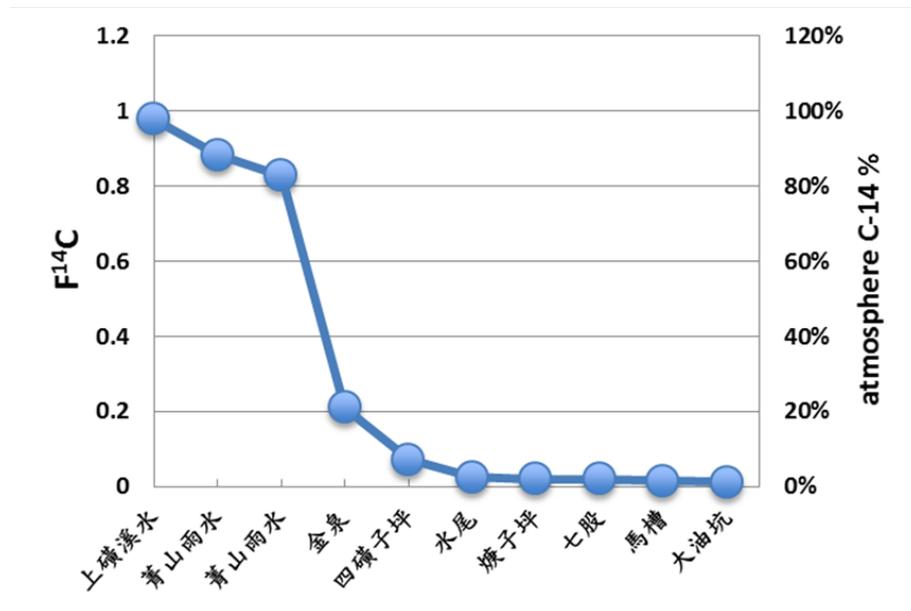


圖 144、大屯山地區水體 C-14 含量與空氣混合比例分布圖

註：以空氣混合比例遞減排列。

(E) 氟氯碳化物(CFCs)定年

CFCs 為純人工化合物，自 1930 年代起 CFCs 開始大量生產，作為冷媒(CFC-11/CFC-12)、清洗劑與溶劑(CFC-113)、發泡劑(CFC-11)等用途。其中 CFC-11 大規模釋放至大氣，至 1980 年累積產量高達 7.7 億噸。CFC-11 在大氣中含量高，適合做為地下水定年示蹤劑，根據美國地質調查所(USGS)追蹤大氣中 CFC-11 及 CFC-113 等 CFCs 濃度，其中 CFC-11 從 1940 年以後快速上升至 1994 年達到最高值 271.081 pptv，目前環境背景已降至 230.2 pptv；CFC-113 從 1944 年以後快速上升至 1955 年達到最高值 85.4435 pptv，目前環境背景已降至 73.0 pptv。但大量生產的 CFCs 被發現為破壞臭氧層的主因，因此自 1989 年 1 月起生效的蒙特婁議定書限制或禁止生產多種 CFCs，使 1994 後大氣中 CFCs 含量有緩緩下降的趨勢。CFCs 在大氣中混合，隨雨水降落地表入滲補注地下水，地下水中之 CFCs 因補注年代的不同而顯示出不同的濃度，使用亨利定律及地下水樣本中 CFC 含量分析結果，計算出與地下水濃度平衡時大氣中的濃度，再對照大氣中 CFCs 歷史資料(如圖 145)，可以反推地下水補注年代。

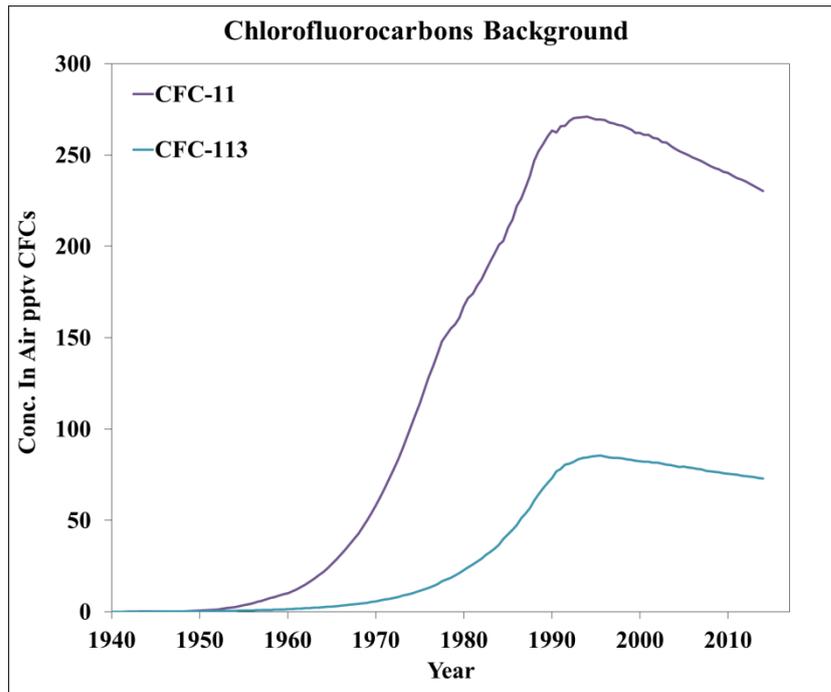


圖 145、氟氯碳化物濃度背景分布圖

資料來源：USGS(2016a)

(F) 氟氯碳化物(CFCs)採樣方法

採樣方法依照美國地質調查所地下水 CFCs 採樣方法(USGS, 2016b)，當採樣時應避免水樣與大氣接觸，並確保採樣完成時採樣瓶避免頂空，以標準方法採集的樣本可保存 6 個月。本工作地下水 CFCs 現地標準採樣方法整理如下：

- a. 先對採樣井進行洗井，抽出井水體積高於三倍井體積後，進行採樣。
- b. 將 250 mL 玻璃採樣瓶、含鋁箔墊片瓶蓋採樣瓶放置在集水容器中，將水樣直接導入 250 mL 採樣瓶後，持續讓水樣溢滿出採樣瓶，直到充滿集水容器（體積至少 4L）後，並確保持其他採樣瓶、瓶蓋及墊片完全浸潤在水樣中，並持續讓水樣溢流出集水容器(圖 146)。

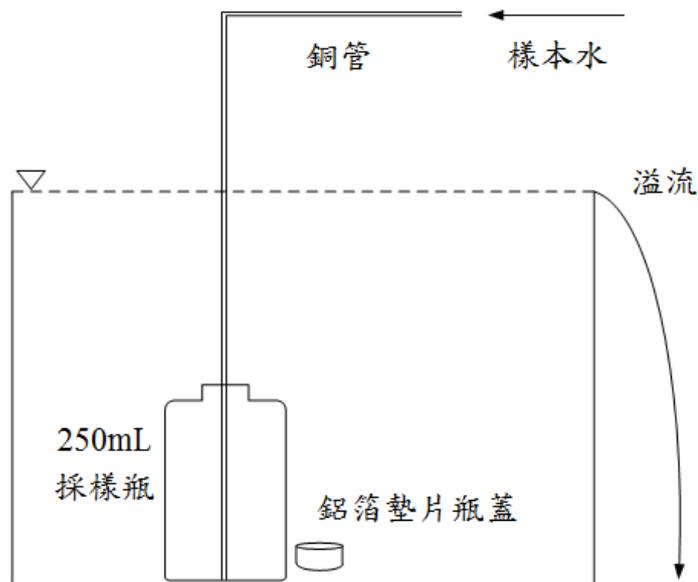


圖 146、氟氯碳化物採樣方法示意圖

- c. 集水容器內將裝滿水樣並溢流出後，在集水容器中將 250 mL 玻璃採樣瓶以含鋁箔墊片瓶蓋封好。
- d. 確保採樣瓶內沒有氣泡。若有頂空產生，需重新採樣。
- e. 以電氣膠帶封緊瓶口。
- f. 填寫採樣記錄(採樣日期、溫度及高程等)。
- g. 樣本倒置運送，並保持常溫、避免加熱。

(G) 氟氯碳化物分析方法

自採樣瓶瓶底取 25 mL 水樣注入吹氣捕捉裝置中，利用零級氮氣吹出水樣中之待測物，經由過氯酸鎂($\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$)除水後，導入吸附管柱以低溫($-78\text{ }^\circ\text{C}$)吸附濃縮，經過 5 分鐘完成吸附步驟，隨後確認 GC-ECD 狀態後，再升溫進行加熱

脫附 (100°C)，脫附步驟將待測物脫附由 6 向閥引入分析管柱進行分離，以電子捕捉偵測器量測訊號，遂完成一次地下水樣本分析(圖 147)。設定 GC-ECD 載流氣體 (零級氮氣 99.999 %)流速為 10 mL/min 時，全部分析時間大約 20 分鐘。每點地下水樣本皆進行 3 重複分析，由於 CFC-11 在地下水中濃度非常微量，每次分析完成後皆進行儀器烘烤動作，避免樣本殘留造成干擾。分析標準品購自 SUPELCO 公司生產 CFCs 標準品(CAT. NO. 41903)，再自行配製所需濃度製作標準檢量線，每組檢量線應至少有五點不同濃度組成 CFC-11 檢量線，並確定決定係數 (R^2 , Coefficient of determination) 大於 0.995。並於每批次分析進行標準品查核點注入分析，以確定儀器狀態。

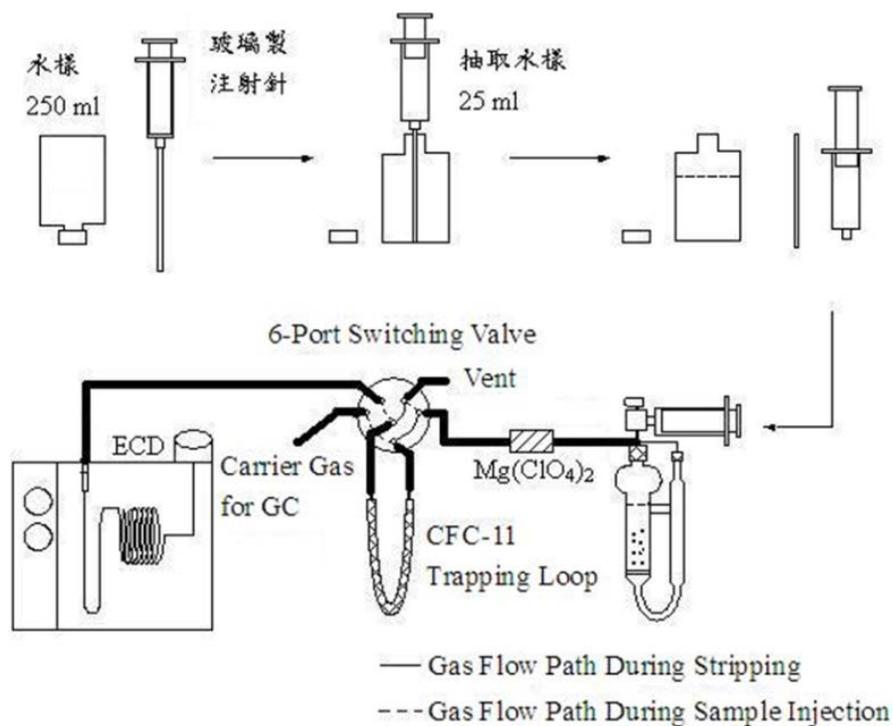


圖 147、氟氯碳化物分析流程圖

(H) 氟氯碳化物分析檢量線建立：

CFCs 在大氣中濃度大約是數十到數百 pptv (parts per trillion volume, 1×10^{-12}) 之間的濃度，經過溶解後在地下水中濃度更是微量，因此在實驗室中為了使地下水定年的解析度更佳，自國外購買 SUPELCO 公司生產 CFCs 氣體標準品 (CAT. NO. 41903) 配製檢量線 (圖 148 及圖 149)，CFC-11 檢量線之 $R^2 = 0.9986$ ，方法偵測極限 (MDL) 為 3.4 pg/L (1 pg = 1 picogram = 1×10^{-12} g)、相對標準偏差 (RSD) 為 4 %；與 CFC-113 檢量線之 $R^2 = 0.9983$ ，方法偵測極限 (MDL) 為 8.7 pg/L，相對標準偏差 (RSD) 為 14 %。確定檢量線 CFC-11 與 CFC-113 之檢量線線性良好，線性回歸值 $R^2 > 0.995$ ，可用於 CFCs 質量換算。標準品經過吹氣捕捉等過程後，CFC-11 滯留時間約為 6.1 min；CFC-113 滯留時間約為 7.1 min (圖 150a)。分析 CFCs 過程中除了 SUPELCO 氣體標準品之外，進一步利用空氣作為第二種查核標準協助判斷 CFCs 分析準確性，由於大氣中 CFCs 濃度相對穩定且取得方便，適合檢查儀器之狀態，唯需注意單次分析空氣注入量，不致使空氣中干擾物質干擾儀器設備帶來反效果。空氣分析圖譜如圖 150b 所示，圖譜中可明顯看出 CFC-11 與 CFC-113 所在位置之波峰。由於大氣中普遍存在 CFCs，一般深度較淺之井水與地面水幾乎都存在少量 CFCs 濃度，CFCs 分析空白水樣 (Blank) 是取自於斗六丘陵 BHW-28 井，井深約 100 m，地下水樣氣濃度分析僅 0.14 TU，推測地下水補注年代為 1950 以前 (中央地質調查所，2011)。BHW-28 水樣經過 CFC 分析之後，依據分析圖譜於 CFC-11 (6.1 min) 與 CFC-113 (7.1 min) 皆無波峰出現 (圖 150c)，顯示對於 CFC-11 與 CFC-113 皆屬 ND (Not Detected)，適合當作 CFCs 分析之空白水樣。

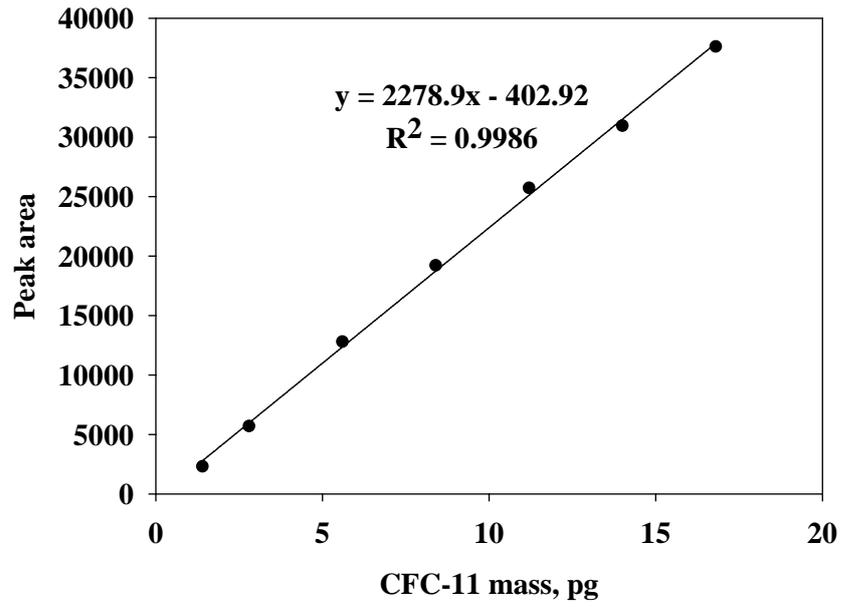


圖 148、CFC-11 檢量線圖

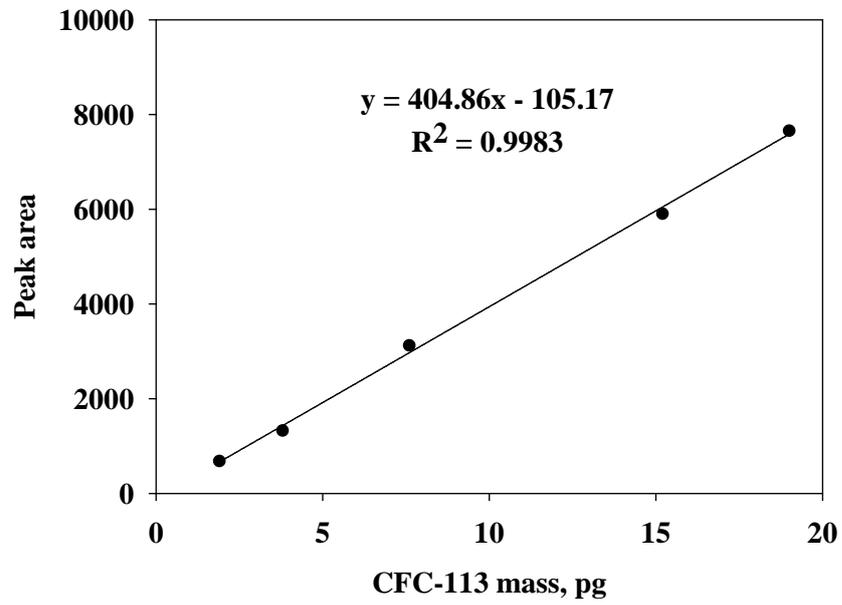


圖 149、CFC-113 檢量線圖

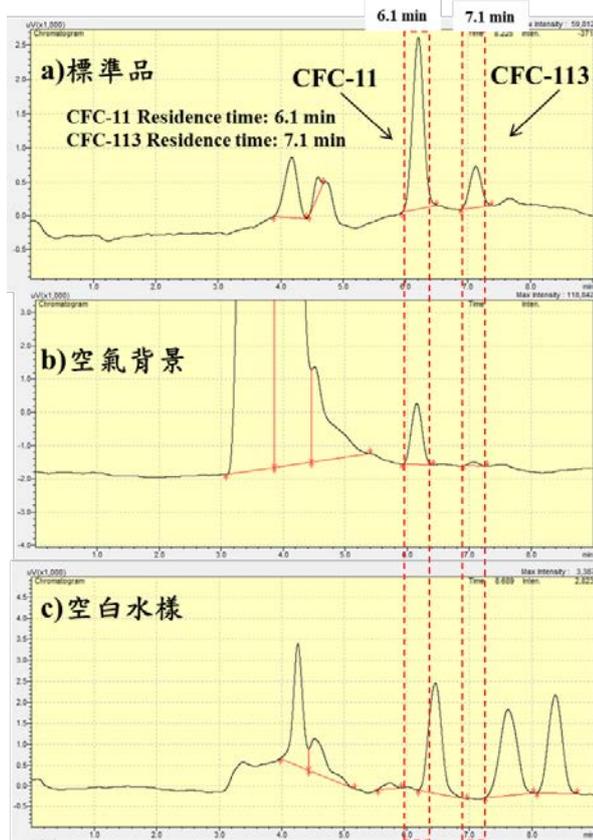


圖 150、氟氯碳化物分析圖譜

(I) 氟氯碳化物定年推估方法

CFCs 定年基本假設天水補注地下水時，水中 CFCs 濃度與空氣中的濃度達到平衡，之後進入含水層後儲存在飽和含水層中與大氣隔絕，CFCs 在地下水中濃度不變。因此地下水體中 CFCs 未受到後來地球化學、生物或水文過程的改變，分析地下水中 CFCs 濃度，可以估算地下水滯留時間(IAEA, 2006)。定年理論是應用亨利定律計算 CFCs 在大氣與天水(地下水)平衡濃度，並利用美國地質調查所(USGS)大氣 CFCs 的濃度監測歷線，對應平衡之地下水年代。亨利定律如下：

$$C = K_H \times p \dots\dots\dots(7)$$

其中，C 為地下水樣中 CFCs 測量濃度； K_H 為亨利常數； p 為大氣中 CFCs 的分壓，定義如方程式 8 (Warner and Weiss,

1985) :

$$p = x(P_T - p_{H_2O}) \dots\dots\dots(8)$$

其中， P_T 為總大氣壓力； p_{H_2O} 為水蒸氣壓； x 為大氣中 CFCs 濃度(pptv)。當地下水補注時，大氣濕度在未飽和層中是接近飽和的，因此 CFCs 分壓計算時需考慮水蒸氣壓，以上式求得大氣中 CFCs 的分壓(p)。亨利常數(K_H)影響 CFCs 氣水兩項的平衡分配關係，CFCs 之亨利常數可由方程式 9 計算得出：

$$\ln K_H = a_1 + a_2 \left(\frac{100}{T}\right) + a_3 \ln \left(\frac{100}{T}\right) + S \left[b_1 + b_2 \left(\frac{100}{T}\right) + b_3 \left(\frac{100}{T}\right)^2 \right] \quad (9)$$

其中， T 為補注時溫度，273 - 313 °K； S 為鹽度，0 至 40 %。 a_1 至 b_3 根據不同的 CFCs (CFC-11、CFC12 及 CFC-113) 可利用方程式 10 參數求得 K_H (mole/L/atm)。一般而言，山區地下水中鹽度過少，所以在地下水中計算適用的亨利常數時，鹽度校正可以忽略，上式可簡化成：

$$\ln K_H = a_1 + a_2 \left(\frac{100}{T}\right) + a_3 \ln \left(\frac{100}{T}\right) \dots\dots\dots(10)$$

地下水補注當地的海拔高度也會影響補注地下水中 CFCs 的濃度。因為隨著海拔高度的增加，大氣壓力會隨著減少，補注水中 CFCs 的濃度也會隨著降低，所以在利用地下水中 CFCs 濃度評估補注年代，需考慮補注時的海拔高度。尤其在高山區補注地區，低估補注區海拔高度，可能會影響地下水年代估算。在海拔高度低於 3000 公尺時，總大氣壓力(P_T , atm)與高程(H , m)關係如下式所示(List, 1949)：

$$\ln P_T = -H/8300 \dots\dots\dots(11)$$

水蒸氣壓(p_{H_2O} , atm)可利用下式計算得到下式(Weiss and Price, 1980)：

$$\ln p_{H_2O} = 24.4543 - 67.4509 \left(\frac{100}{T}\right) - 4.8489 \ln \left(\frac{T}{100}\right) - 0.000544 S \quad (12)$$

一般而言，山區地下水中鹽度過少，上式可被簡化為：

$$\ln p_{H_2O} = 24.4543 - 67.4509 \left(\frac{100}{T}\right) - 4.8489 \ln \left(\frac{T}{100}\right) \quad (13)$$

合併方程式(7)與(8)式，可推得 CFCs 在不同條件下地下水濃度與大氣濃度平衡轉換為：

$$x = \frac{C}{K_H(P_T - p_{H_2O})} \dots\dots\dots (14)$$

表 32、CFCs 溶解計算參數

| CFC | a ₁ | a ₂ | a ₃ | b ₁ | b ₂ | b ₃ |
|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| CFC-11 | -134.1536 | 203.2156 | 56.232 | -0.144449 | 0.092952 | -0.0159977 |
| CFC-12 | -122.3246 | 182.5306 | 50.5898 | -0.145633 | 0.092509 | -0.0156627 |
| CFC-113 | -134.243 | 203.898 | 54.9583 | -0.02632 | 0.005874 | - |

資料來源：Warner and Weiss, 1985；Bu and Warner, 1995

整合上述計算，換算步驟如下：

- a. 帶入地下水補注溫度(T)，由方程式(9)計算獲得亨利常數(K_H)
- b. 帶入地下水補注溫度(T)與高層(H)，由方程式(10)與(11)分別計算獲得總大氣壓力(P_T)與水蒸氣壓(p_{H₂O})。
- c. 將實驗室分析之地下水 CFCs 濃度(C)與步驟 1 與步驟 2 之計算獲得參數 K_H、P_T與 p_{H₂O}帶入方程式(13)，求得大氣中 CFCs 濃度(x, pptv)。

d.最後對應 USGS 公佈之大氣 CFCs 的濃度監測歷線，推得地下水補注年代。

(J) 氟氯碳化物於地熱水定年基本估算參數

一般地下水水溫同區域變化不大，可假設採樣溫度與補注溫度相同(Koh et al., 2012、2006；Hagedorn et al., 2011)，應用在 CFCs 地下水補注定年的參數。但地熱水之補注溫度與採樣溫度常有相當大的差異，需以其他方法獲得補注溫度(Corcho Alvarado, 2005)。因此，本工作以磺嘴山採樣點附近平均氣溫設定為該區補注溫度(Busenberget al., 2000；IAEA, 2006)。除了補注溫度之外，需特別注意地熱區常有厭氧降解(Anaerobic digestion)產生的 CFCs 濃度損失(Alvarado, 2005；Qin et al., 2005)，厭氧狀態可由現地採樣點之溶氧數據小於 1 mg/L 判斷(Sebol et al., 2007)。

地熱水之 CFCs 濃度是由不同時期大氣的補注條件(溫度、高程)下平衡，所以補注區之溫度與高程為定年重要參數，尤其在高山區地下水補注區的溫度與高程較難評估。以補注高程為例：地下水年代在 1987 年以前，補注高程不確定性為 1,000 m 時，換算補注年代差距為數年或更少，然而在 1990 年以後的補注高程差異對補注年代會有影響顯著(Busenberget al., 1993)。因此，磺嘴山區高程位於 1,000 m 以下，且樣本分析結果大部份屬於年代老的地下水，高程影響較小，本研究以採樣點高程 (Koh et al., 2012、2006；Hagedorn et al., 2011)為推測補注年代參數。

磺嘴山區域屬地熱活動區，不適用採樣點溫度作為補注溫度(Koh et al., 2006)。本工作補注溫度以磺嘴山區域附近之中央氣象局鞍部觀測站大氣年平均溫度(1981 年至 2010 年)為補注溫度，獲得年均溫 16.9 度。補注溫度有不確定性且對於換算年代影響較大，因此，在換算年代時以 ± 2 °C 表現

不確定性之誤差(Koh et al., 2006；Johnson et al., 1998)。

(K) 氟氯碳化物現地採樣

本工作完成磺嘴山附近選取 20 組地熱水採樣與分析，磺嘴山區地熱水採樣點位如圖 151，分 2 階段採樣，目的是想比較重複採樣結果是否有差異性。於 106 年 6 月 6 日至 6 月 8 日及 106 年 8 月 17 日至 8 月 18 日進行，採樣期間天氣均為晴天且無降雨，第一階段完成採樣點馬槽爆裂口、八煙爆裂口、大豐修車廠、金山大飯店(120 m 及 60 m)、沐舍溫泉度假酒店、四磺子坪爆裂口(A 水池、B 水管口)、大油坑爆裂口、湖山國小、地熱谷爆裂口、泉源公園、冷水坑及金泉溫泉，共 12 處 15 組地熱水之 CFC 樣本，採樣照片整理如照片 1。



圖 151、磺嘴山區地熱水樣之採樣點位置圖

註：底圖取自 GoogleEarth 網站



金山大飯店



沐舍溫泉度假酒店



四磺子坪爆裂口

照片 1、第一階段磺嘴山區現地採集照

註：106 年 6 月 6 日至 6 月 8 日



馬槽爆裂口



八煙爆裂口



大豐修車廠

照片 1、第一階段磺嘴山區現地採集照(續)



大油坑爆裂口



湖山國小



照片 1、第一階段磺嘴山區現地採集照(續)



泉源公園



冷水坑



照片 1、第一階段磺嘴山區現地採集照(續)

106年8月17日進行第二階段採樣，完成白宮行館、庚子坪爆裂口、大豐修車廠、沐舍溫泉度假酒店與四磺子坪爆裂口(C湧出水)之地熱水CFC採樣，其中大豐修車廠、沐舍溫泉

度假酒店與第 1 批次同一採樣地點取樣口；四磺子坪爆裂口 (C 湧出水) 在四磺子坪爆裂口 (A 水池、B 水管口) 附近之另一湧出水取樣口，共完成 5 處 5 組採樣 (如照片 2)。CFCs 定年分析會受到現地地下水補注溫度、高程與溶氧影響，故於採樣過程中記錄相關資訊整理如表 33。



白宮行館



大豐修車廠



沐舍溫泉度假酒店

照片 2、第二階段磺嘴山區現地採集照

註：106 年 8 月 17 日至 8 月 18 日



四磺子坪爆裂口



庚子坪爆裂口

照片 2、第二階段磺嘴山區現地採集照(續)

表 33、磺嘴山區現地採集紀錄一覽表

| 日期 | 位置 | 溫度 (°C) | DO (mg/L) | 北緯 | 東經 | 高程 (m) |
|---------|----------------|------------|--------------|--------------|---------------|-----------|
| 106/6/6 | 馬槽爆裂口 | 50 | 3.5 | 25°10'34.62" | 121°33'40.47" | 643 |
| 106/6/6 | 八煙爆裂口 | 78 | 3.5 | 25°11'35.90" | 121°35'20.02" | 247 |
| 106/6/6 | 大豐修車廠 | 79 | 3.0 | 25°12'59.06" | 121°38'30.85" | 12 |
| 106/6/6 | 金山大飯店(120m) | 68 | 2.0 | 25°13'27.91" | 121°38'58.56" | 7 |
| 106/6/6 | 金山大飯店(60m) | 38 | a | 25°13'27.91" | 121°38'58.56" | 7 |
| 106/6/6 | 沐舍溫泉度假酒店 | 85 | 3.2 | 25°12'51.42" | 121°38'35.01" | 9 |
| 106/6/7 | 四磺子坪爆裂口(A 水池) | 79 | a | 25°11'37.08" | 121°36'13.13" | 337 |
| 106/6/7 | 四磺子坪爆裂口(B 水管口) | 88 | 3.2 | 25°11'37.08" | 121°36'13.13" | 337 |
| 106/6/7 | 大油坑爆裂口 | 74 | 3.5 | 25°10'20.71" | 121°34'47.71" | 552 |

| | | | | | | |
|----------|---------------|----|-----|--------------|---------------|-----|
| 106/6/7 | 湖山國小(產發局) | 41 | 5.1 | 25°8'58.75" | 121°32'8.91" | 297 |
| 106/6/7 | 湖山國小(自有) | 39 | a | 25°8'58.75" | 121°32'8.91" | 297 |
| 106/6/7 | 地熱谷爆裂口 | 66 | 4.2 | 25°8'16.30" | 121°30'42.07" | 57 |
| 106/6/7 | 泉源公園 | 56 | b | 25°8'30.47" | 121°30'35.09" | 67 |
| 106/6/8 | 冷水坑 | 45 | 2.0 | 25°10'4.33" | 121°33'45.20" | 771 |
| 106/6/8 | 金泉溫泉 | 49 | 0.9 | 25°13'18.88" | 121°38'23.52" | 12 |
| 106/8/17 | 白宮行館 | 41 | 2.4 | 25°10'48.30" | 121°41'27.28" | 7 |
| 106/8/17 | 大豐修車廠 | 75 | 3.5 | 25°11'35.90" | 121°35'20.02" | 12 |
| 106/8/17 | 沐舍溫泉度假酒店 | 88 | 2.4 | 25°12'51.42" | 121°38'35.01" | 9 |
| 106/8/18 | 四磺子坪爆裂口(C湧出水) | 73 | 3.3 | 25°11'35.30" | 121°36'13.40" | 348 |
| 106/8/18 | 煥子坪爆裂口 | 87 | 3.8 | 25°11'12.18" | 121°36'46.20" | 451 |

註：a 代表同 1 處 2 取樣點，共量測 1 點 DO。

註：b 代表泉源公園引水道長，有空氣混入。

(L) 氟氯碳化物地熱水定年綜合判釋

良好之熱水型地熱儲集層可假設為半封閉儲層，內部流體由於受到高溫加熱及儲集層壓力而沿裂隙往上流動，經由地表地熱徵兆露頭或生產井流出；而儲集層內部流體是來自深部熱儲層之原生水體以及地表自然補注入滲或經由斷層裂隙因重力而到達深部儲層之外界補注水混合，外界補注水源由地表再經由儲集層熱源加熱深循環流至地表之過程，代表流體在儲集層之循環時間或滯留時間，亦即補注年代。為了量化此循環過程所需時間，需要透過媒介(人工或天然示蹤劑)來進行定量，由於整個循環過程極為複雜，量化循環補注過程常會以塞流模式及延散模式簡化進行評估(Cheng et al., 2010)，估算出流體循環時間。以氟氯碳化物(CFCs)定年，可直接由採樣濃度，結合當地補注溫度及高程(氣體分壓)，計算出對應之大氣濃度，再與美國地質調查所建立之 CFCs 歷線圖(USGS, 2016a)比對，擬合出對應之年代，而此年代與採樣時間之差值即為流體循環時

間。定年結果常非唯一，因此一般需要更多定年方法互相佐證來縮小定年誤差(USGS, 2016a)，所得結果才能更精準，本小節以 CFC-11、CFC-113 所推測結果，作為實際應用僅可參考。

(a) CFC-11 分析定年判釋

地熱水 CFC-11 分析濃度與定年推測結果顯示於表 6。表中顯示 ND 結果，是指低於 CFC-11 濃度之方法偵測極限 3.4 pg/L。假設補注流體來源於七星山，其補注高程為 (1,120 m) 及年補注區均溫為 16.9 度(大鞍觀測站)，可獲得 CFC-11 濃度 3.4 pg/L 即為 1.9 pptv，推測之年代為 1953 年，亦即 ND 結果之地熱水來源很可能是來自 1953 年以前補注流體。在採樣點中，熱水來源年代顯示以冷水坑及泉源公園井最年輕為 1994；另四礮子坪 B 和 C、大豐修車廠、湖山國小(產發局)、地熱谷爆裂口為 ND，推測為 1953 以前。四礮子坪 A 為水池，熱水來源年代在 1970 前後，結果與四礮子坪 B 和 C，研判有受到不同水源混合。其中，冷水坑及泉源公園井採樣點之 CFC-11 值分別為 387.4 及 361.5 pptv，然而目前 CFC-11 環境背景已降至 230.2 pptv，代表很有可能此兩處地熱水來源有受到干擾，干擾源為含 CFC-11 之干擾物洩漏或溶出。另，金泉溫泉之 CFC-11 分析結果推測補注年代為 1969 前後，然而金泉溫泉流體 DO 值(溶氧)為 0.9 mg/L (< 1.0 /L) (表 34)，為厭氧狀態，所以 CFC-11 很可能被厭氧降解造成 CFC-11 濃度被低估，故需要再與其他方式(CFC-113)定年結果比對。礮嘴山地熱區所在區域採樣點，包含煥子坪爆裂口、四礮子坪及八煙之 CFC-11 定年結果(表 35)，初步顯示熱水來源年代在 1970 年前後至更早之 1953 年以前。

表 34、地熱水 CFC-11 分析濃度與定年

| 採樣點 | 採樣日期 | 分析濃度 | | 推估補注當下大氣濃度 | | 推估年代 |
|-------------|----------|-------|-------|------------|-------|---------|
| | | pg/L | 標準差 | pptv | 標準差 | |
| 馬槽爆裂口 | 106/6/6 | 130.3 | 9.3 | 74.4 | 5.3 | 1972 前後 |
| 大油坑爆裂口 | 106/6/7 | 64.0 | 15.4 | 36.5 | 8.8 | 1967 前後 |
| 煥子坪爆裂口 | 106/8/17 | 48.9 | 2.4 | 27.9 | 1.4 | 1966 前後 |
| 四磺子坪(A 水池) | 106/6/7 | 92.7 | 7.6 | 52.9 | 4.3 | 1970 前後 |
| 四磺子坪(B 水管口) | 106/6/7 | ND | -- | ND | -- | 1953 以前 |
| 四磺子坪(C 湧出水) | 106/8/18 | ND | -- | ND | -- | 1953 以前 |
| 八煙爆裂口 | 106/6/6 | 76.5 | 7.5 | 43.7 | 4.3 | 1969 前後 |
| 大豐修車廠 | 106/6/6 | ND | -- | ND | -- | 1953 以前 |
| 大豐修車廠 | 106/8/17 | ND | -- | ND | -- | 1953 以前 |
| 金泉溫泉井 | 106/6/8 | 83.5 | 4.7 | 47.7 | 2.7 | 1969 前後 |
| 沐舍酒店井 | 106/6/6 | 92.3 | 23.3 | 52.7 | 13.3 | 1970 前後 |
| 沐舍酒店井 | 106/8/18 | 83.4 | 4.7 | 47.6 | 2.7 | 1969 前後 |
| 金山飯店井(120m) | 106/6/6 | 43.7 | 17.6 | 24.9 | 10.0 | 1965 前後 |
| 金山飯店井(60m) | 106/6/6 | 404.0 | 15.2 | 230.6 | 8.7 | 1987 前後 |
| 冷水坑井 | 106/6/8 | 678.7 | 279.1 | 387.4 | 159.3 | 1994 以後 |
| 湖山國小(產發局) | 106/6/7 | ND | -- | ND | -- | 1953 以前 |
| 湖山國小(自有) | 106/6/7 | 77.9 | 22.4 | 44.5 | 12.8 | 1969 前後 |
| 地熱谷爆裂口 | 106/6/7 | ND | -- | ND | -- | 1953 以前 |
| 泉源公園井 | 106/6/7 | 633.4 | 112.9 | 361.5 | 64.4 | 1994 以後 |
| 白宮行館井 | 106/8/17 | 51.2 | 3.7 | 29.2 | 2.1 | 1966 前後 |

註：估算高程使用七星山，海拔1120公尺；補注區溫度使用鞍山觀測站(大屯山)，年均溫16.9℃；ND 為未檢出，其 CFC-11之方法偵測極限值為3.4 pg/L。

表 35、地熱水 CFC-113 分析濃度與定年

| 採樣點 | 採樣日期 | 分析濃度 | | 推估補注當下大氣濃度 | | 推估年代 |
|-------------|----------|-------|-------|------------|-------|------------|
| | | pg/L | 標準差 | pptv | 標準差 | |
| 馬槽爆裂口 | 106/6/6 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 大油坑爆裂口 | 106/6/7 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 煨子坪爆裂口 | 106/8/17 | 22.4 | 3.2 | 31.3 | 4.5 | 1983 前後 |
| 四磺子坪(A 水池) | 106/6/7 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 四磺子坪(B 水管口) | 106/6/7 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 四磺子坪(C 湧出水) | 106/8/18 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 八煙爆裂口 | 106/6/6 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 大豐修車廠 | 106/6/6 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 大豐修車廠 | 106/8/17 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 金泉溫泉井 | 106/6/8 | 71.2 | 30.2 | 99.6 | 42.2 | 1995 以後 |
| 沐舍酒店井 | 106/6/6 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 沐舍酒店井 | 106/8/18 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 金山飯店井(120m) | 106/6/6 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 金山飯店井(60m) | 106/6/6 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 冷水坑井 | 106/6/8 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 湖山國小(產發局) | 106/6/7 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 湖山國小(自有) | 106/6/7 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 地熱谷爆裂口 | 106/6/7 | ND | -- | ND | -- | 1976 以前 |
| 泉源公園井 | 106/6/7 | 587.9 | 306.5 | 822.5 | 428.8 | CFC-113 干擾 |
| 白宮行館井 | 106/8/17 | 27.1 | 4.9 | 37.9 | 6.9 | 1985 前後 |

註：估算高程使用七星山，海拔1120公尺；補注區溫度使用鞍山觀測站(大屯山)，年均溫16.9°C；ND為未檢出，其 CFC-113 之方法偵測極限值為3.4 pg/L。

(b) CFC-113 分析定年判釋

地熱水 CFC-113 分析濃度與定年推測結果顯示於表 36。表中顯示 ND 結果，是指低於 CFC-113 濃度之方法偵測極限 8.7 pg/L。假設補注流體來源於七星山，其補注

高程為(1,120 m)及年補注區均溫為 16.9°C(大鞍觀測站)，可獲得 CFC-113 濃度 8.7 pg/L 即為 12.2 pptv，推測之年代為 1976 年，亦即 ND 結果之地熱水來源很可能是來自 1976 年以前補注流體。在採樣點中，熱水來源年代顯示以金泉溫泉及泉源公園井最年輕，為 1995 以後；另煖子坪爆裂口為 1983 前後及白宮行館井為 1985 前後；其餘採樣點之 CFC-113 皆為 ND，亦即地熱水來源很可能是來自 1976 年以前。其中，金泉溫泉及泉源公園之 CFC-113 值分別為 99.6 及 822.5 pptv，然而目前 CFC-113 環境背景已降至 73.0 pptv，代表很有可能這兩處地熱水來源或井管(連接設施)有受到干擾，干擾源為含 CFC-113 之干擾物洩漏或溶出。表 36 結果可再結合 CFC-11 定年結果進行比對。磺嘴山地熱區所在區域採樣點，包含煖子坪爆裂口、四磺子坪及八煙之 CFC-113 定年結果(表 36)，顯示熱水來源年代在 1983 年前後及更早之 1976 年以前。

(c) CFCs 綜合判釋補注年代

整理 CFC-11 (表 34)及 CFC-113 (表 35)結果，綜合判釋列於表 37。推測熱水來源年代中，顯示以金泉溫泉及泉源公園井最年輕，為 1995 以後；另四磺子坪 B 和 C、大豐修車廠、湖山國小(產發局)、地熱谷爆裂口之熱水來源年代最老，推測為 1953 以前。金山飯店井(深度 60 m)之 CFC-11 顯示為 1987 前後，然而 CFC-113 為 1976 之前，兩者矛盾，推測應該是此口井水源，早期(1976 之前)有受到含 CFC-11 物質干擾，無法推斷對應年代，推測應為 1953 至 1976 之間；同一地點之另一口井，金山飯店井(120 m)之定年為 1965 前後，由定年結果及兩口井之溫度(深

度 60 m 為 38 及深度 120 m 為 68°C) (表 33)，可初步判斷為不同含水層。

冷水坑井之 CFC-11 顯示為 1994 以後，然而 CFC-113 為 1976 之前，兩者矛盾，推測應該是此口井水源，早期(1976 之前)有受到含 CFC-11 物質干擾，無法推斷對應年代，推測應為 1953 至 1976 之間。泉源公園井熱水具有高於背景之 CFC-11 及 CFC-113 濃度，因此區域鄰近住宅及人類活動區域，很有可能含有含 CFC-11 及 CFC-113 物質之洩漏入滲干擾，推測與地表連通相關性高，參雜 1994 之後之入滲水源。磺嘴山地熱區所在區域採樣點，包含煥子坪爆裂口、四磺子坪及八煙之定年結果(表 36)，顯示熱水來源年代，煥子坪爆裂口在 1983 年前後，四磺子坪可能在更早之 1953 年以前，而八煙爆裂口在 1969 前後。同區域年代差異性大可能是受到各區域採樣點流體來源不同而影響，煥子坪爆裂口於山坡轉緩處採樣，可能有淺部伏流水參雜，而拉升 CFC-113 濃度，使得定年結果在 1983 年前後；而四磺子坪採樣點位於爆裂口之正上方，是此區域溪谷地勢之上方台地，水源可能是經較長途之補注路徑，由儲集層深層循環往上之地熱蒸氣，再沿爆裂口溢出，長久冷凝匯集之熱水，在年代上相對較長遠，而呈現 CFC-11 及 CFC-113 未檢出(ND)狀況；八煙爆裂口採樣點之熱液流體僅看到 CFC-11 而未分析到 CFC-113 存在，代表此地熱流體循環補注路徑只受到 1976 年前之補注水源影響，途徑可能不是非常深但又路徑較長，使得定年結果為 1969 前後。

表 36、CFCs 綜合判釋補注年代

| 採樣點 | CFC-11 | | CFC-113 | | 綜合判釋補注年代 |
|-------------|--------|---------|---------|---------|-----------------------------|
| | pptv | 推估年代 | pptv | 推估年代 | |
| 馬槽爆裂口 | 74.4 | 1972 前後 | ND | 1976 以前 | 1972 前後 |
| 大油坑爆裂口 | 36.5 | 1967 前後 | ND | 1976 以前 | 1967 前後 |
| 煨子坪爆裂口 | 27.9 | 1966 前後 | 31.3 | 1983 前後 | CFC-11生物降解；1983前後 |
| 四磺子坪(A水池) | 52.9 | 1970 前後 | ND | 1976 以前 | 1970 前後 |
| 四磺子坪(B水管口) | ND | 1953 以前 | ND | 1976 以前 | 1953 以前 |
| 四磺子坪(C湧出水) | ND | 1953 以前 | ND | 1976 以前 | 1953 以前 |
| 八煙爆裂口 | 43.7 | 1969 前後 | ND | 1976 以前 | 1969 前後 |
| 大豐修車廠 | ND | 1953 以前 | ND | 1976 以前 | 1953 以前 |
| 大豐修車廠(重複) | ND | 1953 以前 | ND | 1976 以前 | 1953 以前 |
| 金泉溫泉井 | 47.7 | 1969 前後 | 99.6 | 1995 以後 | CFC-11生物降解；CFC-113干擾。1995以後 |
| 沐舍酒店井 | 52.7 | 1970 前後 | ND | 1976 以前 | 1970 前後 |
| 沐舍酒店井(重複) | 47.6 | 1969 前後 | ND | 1976 以前 | 1969 前後 |
| 金山飯店井(120米) | 24.9 | 1965 前後 | ND | 1976 以前 | 1965 前後 |
| 金山飯店井(60米) | 230.6 | 1987 前後 | ND | 1976 以前 | 研判有 CFC-11干擾；1953~1976 |
| 冷水坑井 | 387.4 | 1994 以後 | ND | 1976 以前 | 研判有有 CFC-11干擾；1953~1976 |
| 湖山國小(產發局) | ND | 1953 以前 | ND | 1976 以前 | 1953以前 |
| 湖山國小(自有) | 44.5 | 1969 前後 | ND | 1976 以前 | 1969 前後 |
| 地熱谷爆裂口 | ND | 1953 以前 | ND | 1976 以前 | 1953以前 |
| 泉源公園井 | 361.5 | 1994 以後 | 822.5 | 1995 以後 | CFC-11干擾；CFC-113污染。1995以後 |
| 白宮行館井 | 29.2 | 1966 前後 | 37.9 | 1985 前後 | CFC-11降解；1985前後 |

註：CFC-11：學名為一氟三氯甲烷(Trichlorofluoromethane)，作為製冷劑、氣霧劑、滅火劑、乾洗劑和發泡劑用途。CFC-113：學名為三氟三氯乙烷(Trichlorotrifluoroethane)，作為溶劑、致冷劑、滅火劑、發泡劑、清洗劑和乾洗劑用途。

根據表 36 定年判釋結果，將年代註記於採樣點位置圖上(錯誤! 找不到參照來源。)。顯現磺嘴山附近地下水流動方向以最高峰七星山為中心分別向東北與西南方向流動之趨勢(錯誤! 找不到參照來源。)。東北方向地下水流由

上游馬槽爆裂口及大油坑爆裂口(高程 643m 至 552m)經中游四礮子坪爆裂口及八煙爆裂口(高程 348 m 至 247 m)往下游之大豐修車廠與金山大飯店-120 m(高程 12 m 至 7 m)趨於平緩入海，地下水補注年代自上游 1972 年，經過中游 1969 年，至最下游為 1953 年以前。西南方向地下水流由上游冷水坑井(高程 771 m)1976 年以前，往地熱谷(高程 57 m)為 1953 年以前。地下水補注年代隨高程越高，年代相對較年輕。



圖 152、礮嘴山附近採樣點 CFCs 地熱水補注年代分布

註：底圖取自 GoogleEarth 網站

(M) 氟氯碳化物地熱水定年小結

(a) 分成兩階段採樣，完成 20 組地熱水樣採樣工作與 CFCs 分析及定年。

(b) CFCs 綜合判釋推測熱水來源年代，顯示大屯山地熱區以

金泉溫泉及泉源公園井最年輕，為 1995 以後，主要是檢測到高於背景濃度之 CFCs，顯示水源有明顯受到人工干擾，受地表補注影響大；另四磺子坪、大豐修車廠、湖山國小(產發局)、地熱谷爆裂口之熱水來源年代最老，推測為 1953 以前，顯現以上採樣點所在區域之地熱流體受到地表補注影響較小，地熱流體來源可能為較深層之岩漿熱液，或是來自補注途徑較長之熱液循環流體。

- (c) 磺嘴山地熱區所在區域採樣點，包含煥子坪爆裂口、四磺子坪及八煙之定年結果，顯示熱水來源年代，煥子坪爆裂口在 1983 年前後，四磺子坪可能在更早之 1953 年以前，而八煙爆裂口在 1969 前後。同區域年代差異性大可能是受到各區域採樣點流體來源、補注路徑及循環深度不同之影響。
- (d) 根據 CFCs 定年判釋結果，有觀測到地下水補注年代隨高程越高，年代相對較年輕。
- (e) 環境示蹤劑追蹤地下水年代，受到自然、人為或示蹤劑特性等影響，可能會得到不同的分布。建議未來可再增加不同自然示蹤劑以獲得較可靠之地熱水定年成果。

(N) 磺嘴山區地熱流體補注年代綜合評估

本年度已完成放射性環境同位素(^{14}C)及氟氯碳化物分析與定年工作；在 2014 年之工作成果中也有初步的以氚(Tritium, T 或 ^3H)作為大屯山地熱區定年判釋之參考(工研院，2014) (表 37)。結合已完成之同位素(^{14}C 、 ^3H)及自然界存在之示蹤劑(CFCs)定年結果，獲得以下結論：

- (a) 碳-14 定年結果顯示採樣區域地熱儲層地熱流體來源，有部分比例是由自然界補充至地層之天然補注水體。在比

例上以金泉溫泉井達到最高之 20%；另四磺子坪也達到 7%；水尾(金山大飯店)、煥子坪、大油坑、七股及馬槽地區也有大於 1%之之天然補注水體。可推論整體大屯山地熱區地熱儲集層並非是一封閉構造，具有裂隙通道與地表補注流體來源連通。而定年結果顯示年代久遠皆在萬年以上，若與 ^3H 及 CFCs 結果比對則定年可信度相對較低，因為在 ^3H 及 CFCs 有被分析檢測到的情況下，代表水體皆受到 1953 年之後的天然補注水體影響。因此碳-14 定年結果，可作為判釋儲集層熱液來源中，深部岩漿熱液及地表天然補注量之比例關係，而年齡甚老僅能代表其循環時間或補注速率不高。

- (b) CFCs 綜合判釋，推測大屯山地熱區熱水來源以金泉溫泉及泉源公園井最年輕，為 1995 以後，這可由所分到之 CFCs 污染佐證，顯示此區水源受地表補注影響大；四磺子坪、大豐修車廠、湖山國小(產發局)、地熱谷爆裂口之水樣中未分析到 CFC-11 及 CFC-113，顯現熱水來源年代為 1953 以前，推測採樣點所在區域之地熱流體受到地表補注影響較小，地熱流體來源可能是來自補注途徑較長之熱液循環流體。CFCs 結果與 ^3H 定年結果比對後發現，金泉溫泉及冷水坑結果都呈現受到 1953 以後之天然補注水影響，而湖山國小(產業局監測井) CFCs 結果為 1953 年之前補注水， ^3H 定年為 1952 年之後，結果不一致，可推測為補注水來源剛好落在此區段時間上，但仍需於未來進行再確認。

表 37、大屯山地區溫泉水氡定年採樣說明與分析結果

| 採樣地點 | 鑽井位置 (TW97) | | 採樣位置 | 現場照片 | 分析結果 |
|--------------------------------------|-------------|---------|-----------|--|----------------------------|
| 金山金泉溫泉 JC-001 | 314470 | 2790511 | 源頭出水口 |  | 0.69±0.09TU (post-1952) |
| 金山明屋泡湯 MW-01 | 313721 | 2790352 | 200 m 溫泉井 |  | -0.02±0.09TU (pre-1952) |
| 陽明山冷水坑 公共浴室 LSK-01 | 306732 | 2784489 | 120 m 自湧井 |  | 0.96±0.09TU (post-1952) |
| 湖山國小 TB-MW-18 產 業局監測井 HS-01 | 304012 | 2782461 | 110 m 自湧井 |  | 0.72±0.09TU (post-1952) |

由以上結果，若僅針對磺嘴山地熱區儲集層補注年代進行推斷，煖子坪爆裂口補注來源在 1983 年前後，四磺子坪可能在更早之 1953 年以前，而八煙爆裂口在 1969 前後。若假設四磺子坪補注來源最年輕時為 1953 年，則三區域平均補注年代為 1968，亦即磺嘴山地熱區儲集層流體循環所需時間大於 50

年。

(3) 地熱潛能區水文地質概念模式建立

地熱潛能區水文地質圖為水文地質調查的中間產物，是整合與評估地熱資源的手段，用以架構地熱潛能區水文地質概念模式(Geothermal Potential area Hydro-geology Conceptual Model, GPHCM)，以作為地熱區水文地質調查的最終目標。

地熱潛能區水文地質圖的編製方法，應考慮的因素頗多，重要的是能準確的顯現水文地質資料，組成水文地質圖或概念模式之基本元件包含：(1)動態元件：即水(Water)；(2)靜態元件：即岩石(Rock)與土壤(Soil) (如圖 153)。經由水文地質調查程序與數據解析，由靜態元件可分別產出：(1)地質單元：如地層、岩性(Lithology)、構造(Structure)及裂隙網路(Fracture Network)等；(2)水文地質單元：如含水層分類、水力參數分布、綜合性水文地質圖等。由動態元件亦可分別產出：(1)水文循環機制，如降水、蒸發、逕流、水化學反應、穩定同位素分析等；(2)流動機制：如地下水與地面水(如河川、湖泊)互動機制、入滲補注(補注區)、貯蓄、泉水(流出區)、水文平衡等。

今年度首先進行台灣地熱潛能區進行大尺度與中尺度水文地質環境分區，再針對東北部清水土場地熱潛能區進行小尺度水文地質單元分析，並結合水文循環與補注量評估分析成果，以探討天水深循環入滲及熱上升，經由構造(通路)形成地表地熱徵兆區之成因。

(A) 台灣地熱潛能區之水文地質環境分區

本研究對於台灣地熱地質環境分區分為兩階：(1)大尺度分區：主要依據台灣主要地質分區及熱流分布狀況作分類(如圖 154)；(2)中尺分區：將上述大尺度分區，再依據地理區域、地形與熱水上升帶等因子細分(如圖 155)。

台灣地熱大尺度分區，係依據台灣地質區將台灣 127 處地熱徵兆區(溫泉)區分為火成岩、沉積岩與變質岩，自西而東為西部麓山帶沉積岩(包括大屯火山)、中央山脈變質岩區與東部海岸山脈地質區等三個地質區(張寶堂，1995)。由於中央山脈變質岩區為地熱徵兆分布最多與最廣之地區，若依據鄧屬予等(2014)之台灣熱流分布，可再將中央山脈變質岩區分為北部、中部與南部等三區。目前台灣地熱大尺度分區有五個分區包括：西部麓山沉積岩分區(Ws)、北部變質岩分區(NM)、中部變質岩分區(MM)、南部變質岩分區(SM)與東部海岸山脈分區(ES)。

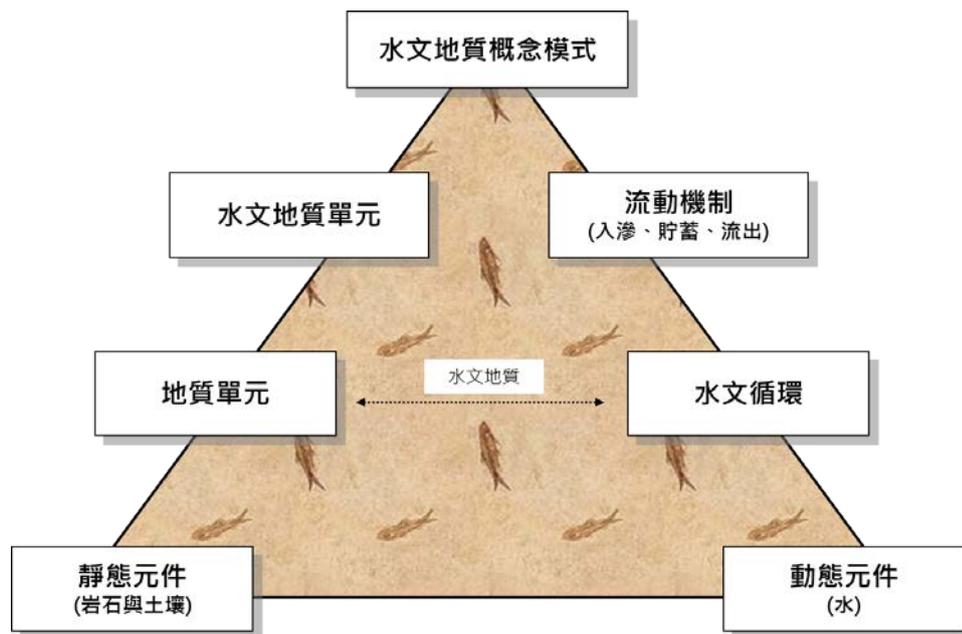


圖 153、地熱潛能區水文地質圖及概念模式之組成元件

註：修改自 Winkler, E. et al., 2003

台灣地熱大尺度分區主要為提供地熱區概略地質特性與分布狀況。但早期地熱地質調查階段之成果報告，僅針對個別地熱區進行調查，即使空間相近，兩個地熱區彼此之是

否屬於同一地熱系統(賦存區)或同一熱水通路，過去則較少被討論，如清水地熱區與土場地熱區相距僅 14 km。有鑑於此，在大尺度分區與個別地熱區中間實有必要存在一個中尺度地熱分區，來探討個別地熱區及其周圍地熱區間之地質環境特性與彼此間的相關性。

台灣地熱中尺度分區將原有的大尺度分區，再依據地理區域、地形與熱水上升帶等因子細分；其中熱水上升帶係由陳肇夏(1989)根據台灣中央山脈之地熱徵兆區分布狀況，區分為幾個不同的熱水上升帶。台灣地熱中尺度分區及其地熱潛能區包括：

- a. 西部麓山沉積岩區；在本區之南、北端分為火山岩與沉積岩組成之大屯山地熱區⁽¹⁾、關子嶺⁽²²⁾與中崙⁽²³⁾等地熱區。
- b. 北部變質岩區；約以蘭陽溪為界細分為 NM1 與 NM2 兩個亞分區；NM1 由雪山山脈地質區所組成區域，有烏來⁽²¹⁾與礁溪⁽²⁴⁾地熱區；NM2 由中央山脈板岩與片岩地質區所組成區域，包括清水⁽²⁾、土場⁽³⁾、四區⁽¹⁷⁾、五區⁽¹⁸⁾、臭乾⁽¹⁹⁾與茂邊⁽²⁰⁾等地熱區。
- c. 中部變質岩區；約以台灣中部中央山脈分水嶺分界細分為 MM1 與 MM2 兩個亞分區；MM1 包括廬山⁽⁴⁾、谷關⁽¹⁴⁾、馬陵⁽¹⁵⁾、紅香⁽¹⁶⁾、東埔⁽¹²⁾與樂樂⁽¹³⁾等地熱區；MM2 包括瑞穗⁽⁷⁾與富源⁽¹⁰⁾等地熱區。
- d. 南部變質岩區；約以台灣南部中央山脈分水嶺分界細分為 SM1 與 SM2 兩個亞分區；SM1 包括知本⁽⁵⁾、金崙⁽⁶⁾、紅葉⁽⁸⁾、霧鹿⁽¹¹⁾、桃林⁽²⁵⁾與比魯⁽²⁶⁾等地熱區。

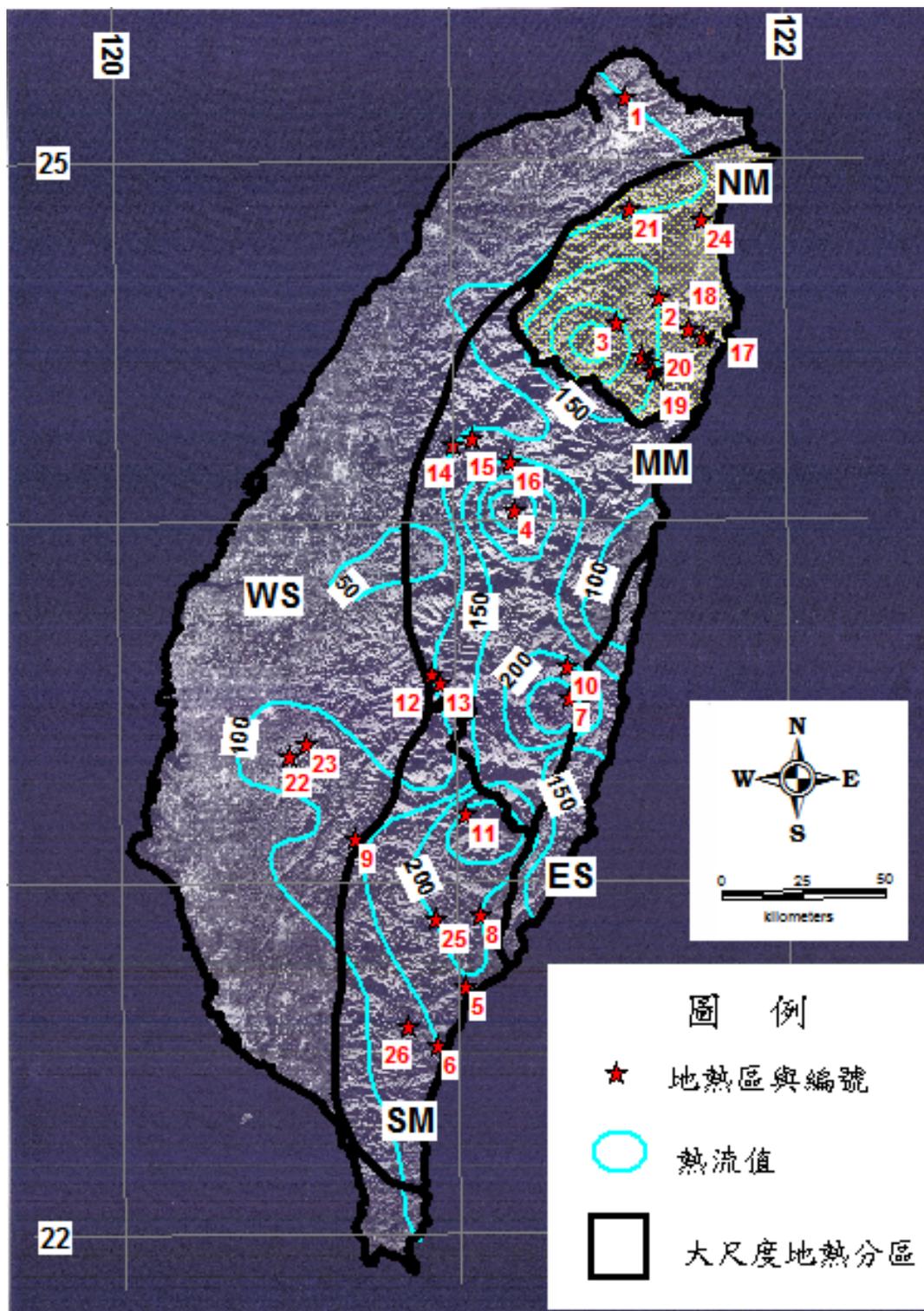


圖 154、台灣地熱潛能區之大尺度水文地質環境分區

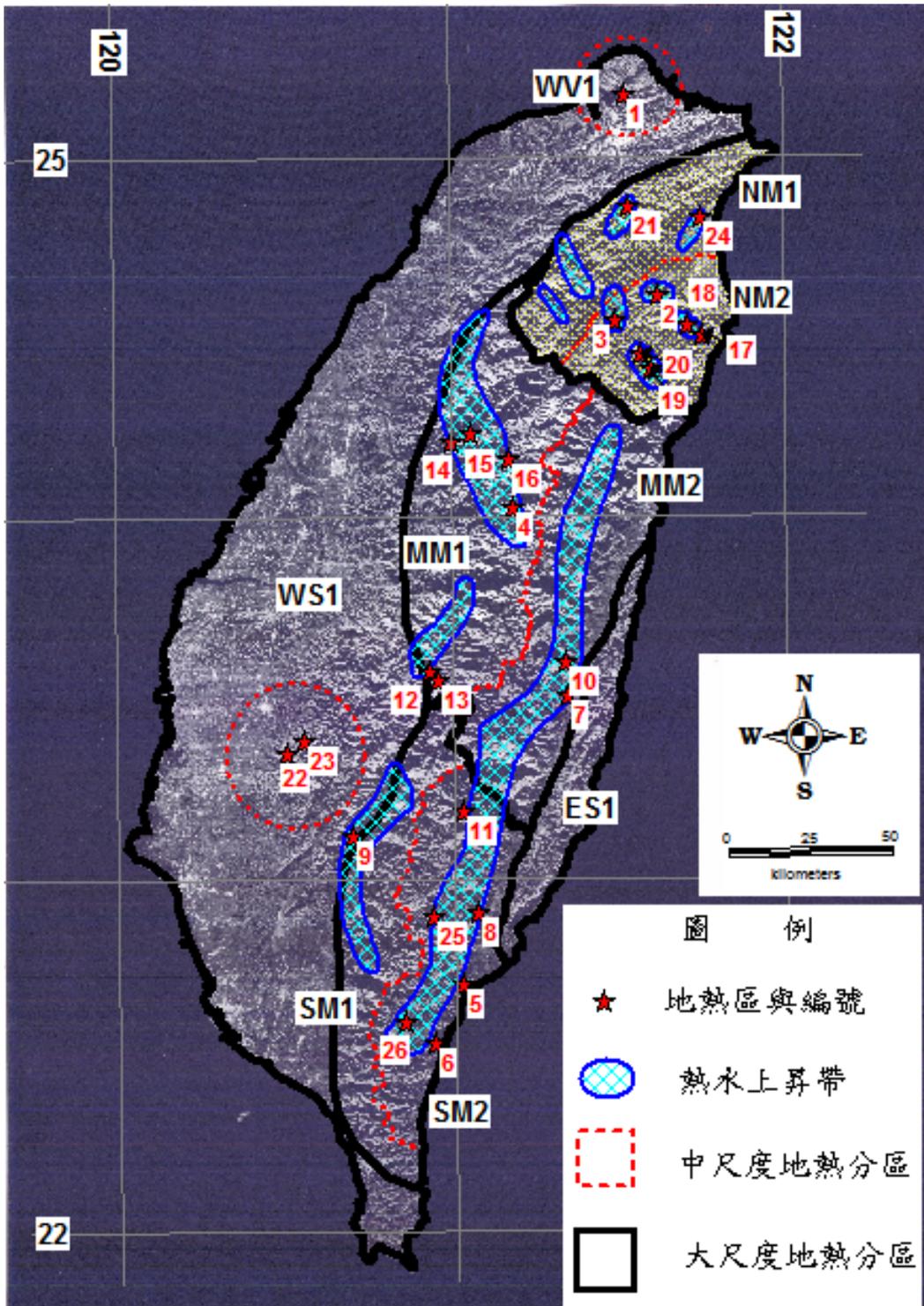


圖 155、台灣地熱潛能區之中尺度之水文地質環境分區

(B) 北部變質岩地熱潛能區之地熱水文地質環境

北部變質岩地熱區之地質環境藉由區域地質構造與地熱徵兆區之分布狀況，探討可能地熱賦存區與地熱通路之型式與分布狀況，提供後續地熱水文地質與地球物理調查之參考。區域性地質構造之資訊為參考中央地質調查所(2013)出版之『易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置圖冊』，地熱徵兆分布為綜合本單位過去進行地熱地質調查工作之結果。北部變質岩地熱區之地質環境分析結果說明如下：

a. 北部變質岩 NM1 地熱亞區

北部變質岩 NM1 地熱亞區之地質環境分析成果(如圖 156 與表 38)。北部變質岩 NM1 地熱亞區由雪山山脈北段地質區所組成，約成東北-西南向分布，其西北界為屈尺斷層、東南界由牛鬥斷層-礁溪斷層所構成，東北起自頭城沿海、西南迄石門水庫上游河段。本亞區包括有 13 處地熱徵兆區，從地質構造來看其主要分布於包括插天山背斜(A)(包括烏來與榮華)、中嶺背斜(E)(員山與四稜)、英士背斜(F)(排骨溪與梵梵)與未命名背斜(C、D)(秀巒與金北)等背斜構造，1 處向斜構造(爺亨)與 4 處其他(加空、頭城、礁溪與新興等)；雪山山脈岩性主要由變質砂岩與硬頁岩所組成，前者可為熱水之儲集層，後者為熱水之阻水層(aquiclude)，而由造山運動所形成的背斜褶皺構造則可形成其封閉構造，因此背斜軸部為本區地熱賦存區。

另外這些地熱徵兆區與斷層或線型亦有很大的相關性，其中以斜切構造之走向斷層最為常見，如忠治斷層(7，烏來)、信賢斷層(8，加空)、插天山斷層(9，榮華)、羅山斷層(10、爺亨)與梵梵斷層(11、排骨溪)等，另在圖幅西側

由地熱徵兆區所構成之2條線型(熱水上昇帶)亦有很大相關性，如A線型(12，秀巒、金北)與B線型(13，榮華、爺亨、新興與四稜)等，從線型與褶皺構造軸約略垂直，推測其具有正斷層或是張力區，上述這些斷層與線型為本區主要熱水通路之型式，其與背斜軸相交截部分極易形成地熱徵兆區(烏來、榮華、四稜、梵梵)。在區內東北端之礁溪地熱區因主要地熱徵兆區表層為沖積層所覆蓋，無法直接由區域地質圖所判讀，需配合地下鑽探或地球物理資料，才能確認其地熱地質環境。

b. 北部變質岩 NM2 地熱亞區

北部變質岩 NM2 地熱亞區之地質環境分析成果(如圖 156與表 39)。北部變質岩 NM2 地熱亞區由中央山脈西翼板岩與東翼片岩兩地質區所組成，約成東北-西南向分布，其西北界為由牛鬥斷層-武陵斷層所構成而東南至海，東北起自宜蘭平原南界而西南迄和平溪中上游河段。

本亞區包括有 13 處地熱徵兆區，從區域地質構造又可分為東、西兩區，兩者約以翠峰湖-古魯斷層-猴崎山斷層連線為界；斷層西北側 NM2A 地熱次分區，主要由廬山層板岩所構成；就褶皺構造特性來看地熱徵兆區分布包含未命名背斜(H、J)包括四季與蘇澳等 2 處及未命名向斜(I)包括田古爾(土場)、仁澤、清水與寒溪等 4 處。

就溫度與集群集特性而言，後者較具地熱潛能，構成向斜軸部之岩層為廬山層之仁澤段，由硬頁岩、硬頁岩與變質砂岩互層所組成，可為熱水之儲集層，雖不具封閉構造，但其形貌呈碟形，可承接周圍山地之天水補注，若當地地溫梯度夠高的話亦可為一良好的熱水賦存區。在區內主要地熱徵兆區和由走向斷層或線型構成之熱水通路有很大

的相關，如清水溪斷層(19，清水)、古魯斷層(20，寒溪)與線型 C(21，田古爾、仁澤)。翠峰湖-古魯斷層-猴崎山斷層連線以東部分為 NM2A 地熱次分區，主要由大南澳片岩所構成，部分則由板岩與千枚岩(黑岩山層與碧綠層)。

就岩性而言，這些厚層泥質岩類所形成的變質岩不易形成熱水儲集層，可能構成熱水儲集之區域為大理岩構成岩體，以及斷層或節理發達之地層破碎帶；前者見於烏帽地熱徵兆區，其並構成一未命名背斜(K)之軸部，有可能形成一地熱賦存區；區內其它地熱徵兆區與 2 條線型具有很大的相關性，如 D 線型(22，茂邊、臭乾、大濁水與硬骨)與 E 線型(23，四區與五區)等，從線型與褶皺構造軸約略垂直，推測其具有正斷層或是張力區，上述這些線型為本區主要熱水通路之型式。

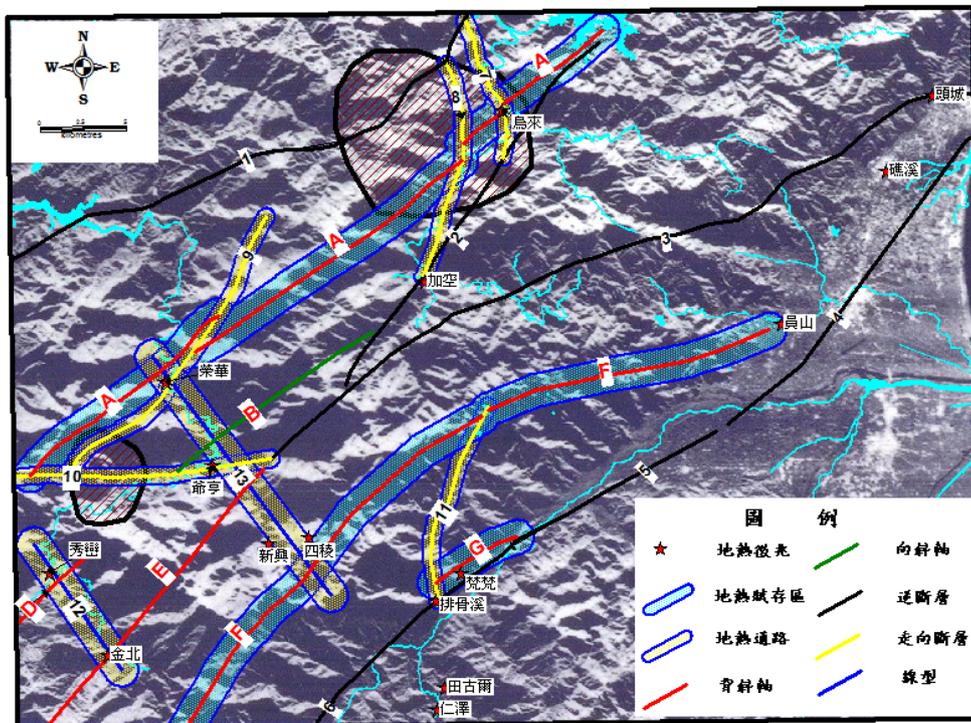


圖 156、台灣北部變質岩 NM1 區之地熱地質環境分析圖

表 38、台灣北部變質岩_NM1 地熱區之地質環境特性表

| 地熱徵兆名稱 | 溫度(°C) | 湧出處母岩 | 主要儲集層 | 褶皺構造 | 斷層構造 | 說明 |
|--------|--------|-------|-------|---------------------------|---|-------------------------------------|
| 烏來 | 83(高溫) | 乾溝層 | 四稜砂岩 | 插天山背斜 ^(A) | 忠治斷層 ⁽⁷⁾ | 插天山背斜為熱水封閉構造，儲集層為四稜砂岩，熱水經由忠治斷層上昇。 |
| 加空 | - | 大桶山層 | 粗窟砂岩 | - | 福山斷層 ⁽²⁾ 、信賢斷層 ⁽⁸⁾ | 儲集於粗窟砂岩之熱水經由信賢斷層上昇。 |
| 榮華 | 65(中溫) | 大桶山層 | 粗窟砂岩 | 插天山背斜 ^(A) | 插天山斷層 ⁽⁹⁾ | 插天山背斜為熱水封閉構造，儲集層為粗窟砂岩，熱水經由插天山斷層水上昇。 |
| 爺亨 | 60(中溫) | 汶水層 | 汶水層 | 三光向斜 ^(B) 東南翼 | 羅山斷層 ⁽¹⁰⁾ | 儲集於汶水層之熱水經由羅山斷層上昇。 |
| 秀巒 | 46(中溫) | 汶水層 | 汶水層 | 未命名背斜 ^(C) 之西北翼 | A 線型 ⁽¹²⁾ | 儲集於汶水層之熱水經由岩層破碎帶或線型 A 上昇。 |
| 頭城 | - | 四稜砂岩 | 四稜砂岩 | - | 石牌斷層 ⁽³⁾ | 儲集於四稜砂岩之熱水經由石牌斷層上昇。 |
| 礁溪 | 64(中溫) | 沖積層 | 四稜砂岩 | - | - | 儲集於四稜砂岩之熱水經由岩層破碎帶上昇。 |
| 員山 | 41(中溫) | 沖積層 | 四稜砂岩 | 中嶺背斜 ^(E) 之東北端 | - | 儲集於四稜砂岩之熱水經由背斜軸部上昇。 |
| 四稜 | 65(中溫) | 四稜砂岩 | 四稜砂岩 | 中嶺背斜 ^(E) 之西北翼 | B 線型 ⁽¹³⁾ | 儲集於四稜砂岩之熱水經由線型 B 上昇。 |
| 新興 | 56(中溫) | 水長流層 | 四稜砂岩 | - | B 線型 ⁽¹³⁾ | 儲集於四稜砂岩之熱水經由線型 B 上昇。 |
| 金北 | - | 水長流層 | 四稜砂岩 | 未命名背斜 ^(D) | - | 儲集於四稜砂岩之熱水經由背斜軸部上昇。 |
| 排骨溪 | 40(中溫) | 四稜砂岩 | 四稜砂岩 | 英士背斜 ^(F) | 牛鬥斷層 ⁽⁵⁾ 、梵梵斷層 ⁽¹¹⁾ | 儲集於四稜砂岩之熱水經由梵梵斷層上昇。 |
| 梵梵 | 67(中溫) | 四稜砂岩 | 四稜砂岩 | 英士背斜 ^(F) | - | 儲集於四稜砂岩之熱水經由背斜軸部上昇。 |

資料整理自：張寶堂、李春生，1984；中央地質調查所，2013

表 39、台灣北部變質岩_NM2 地熱區之地質環境特性表

| 地熱徵兆名稱 | 溫度(°C) | 湧出處母岩 | 主要儲集層 | 褶皺構造 | 斷層構造 | 說明 |
|--------|--------|--------------|-----------|---------------------------|-----------------------|---|
| 四季 | -- | 廬山層清水湖段 | 廬山層清水湖段 | 未命名背斜 ^(H) | -- | 未命名背斜為熱水封閉構造，儲集層為廬山層清水湖段所夾砂岩，熱水經由背斜軸部上昇。 |
| 仁澤 | 53(中溫) | 廬山層仁澤段 | 廬山層仁澤段 | 未命名向斜 ^(I) 西北翼 | C 線型 ⁽²¹⁾ | 儲集於仁澤段之熱水經由 C 線型上昇。 |
| 土場 | 98(高溫) | 廬山層仁澤段 | 廬山層仁澤段 | 未命名向斜 ^(I) 西北翼 | C 線型 ⁽²¹⁾ | 儲集於仁澤段之熱水經由 C 線型上昇。 |
| 清水 | 99(高溫) | 廬山層仁澤段 | 廬山層仁澤段 | 未命名向斜 ^(I) 西北翼 | 清水溪斷層 ⁽¹⁹⁾ | 儲集於仁澤段之熱水經由清水溪斷層上昇。 |
| 寒溪 | 37(低溫) | 廬山層仁澤段 | 廬山層仁澤段 | 未命名向斜 ^(I) 西東北端 | 古魯斷層 ⁽²⁰⁾ | 儲集於仁澤段之熱水經由古魯斷層上昇。 |
| 蘇澳 | 22(低溫) | 廬山層清水湖段 | 廬山層清水湖段 | 未命名背斜 ^(J) 之南翼 | 未命名斷層 ⁽¹⁸⁾ | 儲集於清水湖段之熱水經由斷層或岩層破碎帶上昇。 |
| 茂邊 | 99(高溫) | 黑岩山層 | -- | -- | D 線型 ⁽²²⁾ | 儲集於斷層破碎帶之熱水經由 D 線型上昇。 |
| 臭乾 | 65(中溫) | 白楊片岩 | -- | -- | D 線型 ⁽²²⁾ | 儲集於斷層破碎帶之熱水經由 D 線型上昇。 |
| 大濁水 | 96(高溫) | 谷園片岩/飯包尖山片麻岩 | -- | -- | D 線型 ⁽²²⁾ | 儲集於斷層與岩層破碎帶之熱水經由 D 線型上昇。 |
| 硬骨 | 50(中溫) | 谷園片岩 | -- | -- | D 線型 ⁽²²⁾ | 儲集於斷層破碎帶之熱水經由 D 線型上昇。 |
| 烏帽 | 74(中溫) | 東澳片岩 | 東澳片岩(大理岩) | 未命名背斜 ^(K) | -- | 未命名背斜為熱水封閉構造，儲集層為東澳片岩所夾之大理岩，熱水經由背斜西北側破碎帶上昇。 |
| 五區 | 76(高溫) | 東澳片岩 | -- | -- | E 線型 ⁽²³⁾ | 儲集於斷層破碎帶之熱水經由 E 線型上昇。 |
| 四區 | 54(中溫) | 源頭山片麻岩 | -- | -- | E 線型 ⁽²³⁾ | 儲集於斷層破碎帶之熱水經由 E 線型上昇。 |

資料整理自：張寶堂、李春生，1984；中央地質調查所，2013

(C) 臺灣東北部地熱區水文地質圖單元分類

經濟部水資源統一規劃委員會於 1986 年出版二十五萬分之一「臺灣地下水地質圖」及臺灣水文地質分類表(如表 40)，為一最早且涵蓋全島之大尺度的水文地質圖。水文地質分類表係根據當時出版之小比例尺臺灣地質圖，將各岩層之含水性能將之分為 2 個大類與 9 個小分類(張秉權及吳建民，1989)，說明如後：

第 1 類為固結岩層，再細分為 B0 至 B4 等五種次分類，此類岩層多屬膠結甚固之岩層，岩石孔隙率較小而大多不能儲有大量地下水，然在岩層之裂縫及節理則可蓄存地下水或為其通路。第 2 類為未膠結而鬆散之岩層，稱為不固結岩層，再細分為 A1 至 A4 等四種次分類，皆屬第四紀沉積物，其間多孔隙，可大量儲存地下水。

經濟部中央地質調查所自 99 年起執行「臺灣山區地下水資源調查研究整體計畫」，在水文地質分類表沿用上述分類表，而在 101 年將依據地下水之儲蓄或流通特性，將原為固結層改稱為裂隙介質(fracture media)地層，並將不固結岩層改稱為孔隙介質(porous media)地層。由於目前中央地質調查所已有大部分五萬分之一地質基本圖或以流域為單位之流域地質圖，這些圖件屬於中尺度比例，因此需適度修正其分類如表 41，將各岩層之含水性能將之分為 3 個大類與 13 個小分類，分類成果說明如後：

第 1 類為以裂隙為介質之固結岩層，依據岩層之來源與組成而將之細分為 F1 至 F5 等五種次分類；此類岩層多屬孔隙率較小且膠結甚固之岩層，這些岩層受到地質

構造運動多有節理與裂隙，可提供地下水之蓄存與通路。

表 40、臺灣地下水地質分類表

| 分類 | | 說明 | 地下水產狀 |
|------|----|--|------------------|
| 固結層 | B4 | 由粗粒多孔岩石組成，含水量極豐，如白砂岩等。 | 地下水較豐富。 |
| | B3 | 由石灰岩、珊瑚礁等組成，含水量部分豐富。 | 地下水部分豐富，水源較深。 |
| | B2 | 由砂岩組成顆粒不大，但多裂縫如南港砂岩等。 | 局部可得豐富地下水常成泉水存在。 |
| | B1 | 主由頁岩或板岩組成，含水性較差，包括安山層、火山塊及凝灰岩，為全島中央山脈之火成岩及變質岩屬之。 | 極少地下水或無地下水。 |
| | B0 | 由泥岩組成，含水性較差，分布於台南岡山一帶。 | 無地下水。 |
| 不固結層 | A4 | 主由砂礫及少量黏土所組成之現代沖積層，分布於西部沿海平原一帶、蘭陽平原及花蓮台東縱谷平原等地。 | 地下水廣泛、且豐富。 |
| | A3 | 主由砂礫組成，部份半固結，不包括紅土層之台地均屬之，分布於縱谷平原及西南部沖積平原。 | 地下水廣泛、部分豐富。 |
| | A2 | 主由砂礫及紅土層組成，分布桃園、中壢及大肚山等之台地。 | 地下水部分豐富。 |
| | A1 | 主要由鬆礫石及砂頁岩組成，分布北部及東部沿海地區，如頭嵙山層、都巒山層、觸口山層及火山碎屑岩等。 | 含水量較差，局部有地下水。 |

資料來源：張秉權及吳建民(1989)

表 41、地熱潛能區水文地質單元分層及特性表

| 分類 | | 說明 | 出露地層 | |
|------|---------|----|-------------------------|--|
| 裂隙介質 | 固結層 | F5 | 由火山岩或火山源變質岩所組成。 | 源頭山片麻岩(Yt)、楓樹山角閃岩(Fh)、東澳片岩角閃岩(Taa)、飯包尖山片麻岩(Fp)、煌斑岩(lp)、角閃岩(am) |
| | | F4 | 由變質石灰岩(大理岩)所組成 | 東澳片岩大理岩(Tam)、九曲大理岩(Cu) |
| | | F3 | 由具節理發育之砂岩所組成。 | 北寮層(Pe)、木山層(Ms) 粗窟層(Tu)、四稜砂岩-白冷層(Em) 廬山層清水湖段砂岩(Lscs)、眉溪砂岩(Mh) |
| | | F2 | 由砂岩、頁岩互層所組成。 | 石底層(St)、汶水層(Ws)、西村層(Ht)、廬山層仁澤段(Lsj) |
| | | F1 | 由粘板岩類(硬頁岩、板岩與片岩等)組成。 | 大桶山層(Tt)、乾溝層(Kk)、中嶺層(Cg)、水長流層-巴陵層(Om)、佳陽層(Cy)、廬山層(Ls)、廬山層清水湖段(Lsc)、大禹嶺層(Ty)、南蘇澳層(Ns)、黑岩山層(Hs)、碧綠層(Pu)、南澳嶺片岩(Na)、東澳片岩(Ta)、白楊片岩(Py)、谷園片岩(Ku) |
| 孔隙介質 | 固結至半固結層 | P8 | 由火山岩屑或火山角礫岩組成。 | - |
| | | P7 | 由石灰岩、珊瑚礁所組成。 | - |
| | | P6 | 由多孔、膠結差及節理不發達之砂岩或岩層所組成。 | 南莊層(Nc) |
| | | P5 | 由凝灰岩、泥岩或頁岩等組成。 | 凝灰岩(tu)、打鹿頁岩(Td)、碧靈頁岩(Pi) |
| | 非固結層 | P4 | 由砂礫及少量黏土所組成之沖積層。 | 沙丘(s)、沖積層(a) |
| | | P3 | 由砂礫及少量黏土組成之階地堆積。 | 階地堆積層(t) |
| | | P2 | 由砂礫層及紅土層所組成之台地堆積層。 | - |
| | | P1 | 由礫石夾少量砂泥組成之礫石層。 | - |

註：FY106 本計畫修正版。

第 2 類為孔隙介質之半固結~固結岩層，依據岩層之來源與孔隙變化再細分為 P5 至 P8 等四種次分類；此類可能因膠結鬆散或屬岩質軟弱之岩層，較不受到地質構造運動的影響而少節理與裂縫結岩層，地下水之特性主要受岩層孔隙率大小變化之影響。第 3 類為孔隙介質之非固結層，再細分為 P1 至 P4 等四種次分類；由於本類岩層在地理區位非屬山區而多分布於平原、河岸階地或台地上且在岩性上

並無大太變化，故沿用舊版之分類。

(D) 東北部地熱區水文地質圖說明

依據陳肇夏(2000)及張寶堂(1979)資料顯示，臺灣地區地熱徵兆區總共有 98 處之多，以分布於變質岩區占多數計有 73 處(約總數 75%)，包括東北部(21 處)、中部(19 處)、花東(20 處)與東南部(13 處)。東北部變質岩區為其中出露最多，其中清水與土場地熱區皆位在此區。

圖 157 為臺灣東北部變質岩地熱區之地熱徵兆與水文地質單元分布圖，圖中紅色區塊代表火成岩，藍色代表大理岩，橘色代表砂岩，綠色代表砂頁互層，灰色代表粘板岩，黃色代表沖積層。粉色框則是後續(FY107)將於大屯火山區進行水文地質單元分類之範圍。目前水文地質單元分布圖在地理上主要位於臺灣之東北部，北起新北市貢寮區之福隆，南至花蓮縣秀林鄉之和平，西界新竹縣尖石鄉與五峰鄉交界之霞喀羅大山，東達宜蘭縣蘇澳鎮之蘇澳港。範圍內涵蓋蘭陽溪、大南澳溪、和平溪等流域及淡水河與頭前溪之部分主要流域。

臺灣東北部變質岩區泛指雪山山脈與中央山脈等兩個山地區，兩山地以蘭陽溪與宜蘭平原相隔。雪山山脈主要由變質砂岩與硬頁岩所組成，中央山脈則由板岩、片岩、變質砂岩、大理岩與變質火成岩等所組成。

地熱區的形成地質環境條件有 4(陳肇夏，1981)：(1)熱源：岩漿活動所造成之高溫火成岩侵入體(如大屯火山地熱區)，或因地溫梯度異常高區所造成之深部岩層高溫熱源；(2)熱水儲集層：裂隙發達之岩層提供熱水的儲存場所；(3)蓋層：將儲集層所儲存之熱能封存，避免熱能釋放散失；(4)通路與水源：地質構造活動作用產生之破碎帶所提供之熱水循環的通路，充沛的降水量及地下水深循環補注。本區之熱源非屬火山活動所造成，而是來自臺灣島屬於年代較輕的造山活動帶，具有較年輕的變質帶與快速的地盤上升等，所引起之地溫

梯度異常。

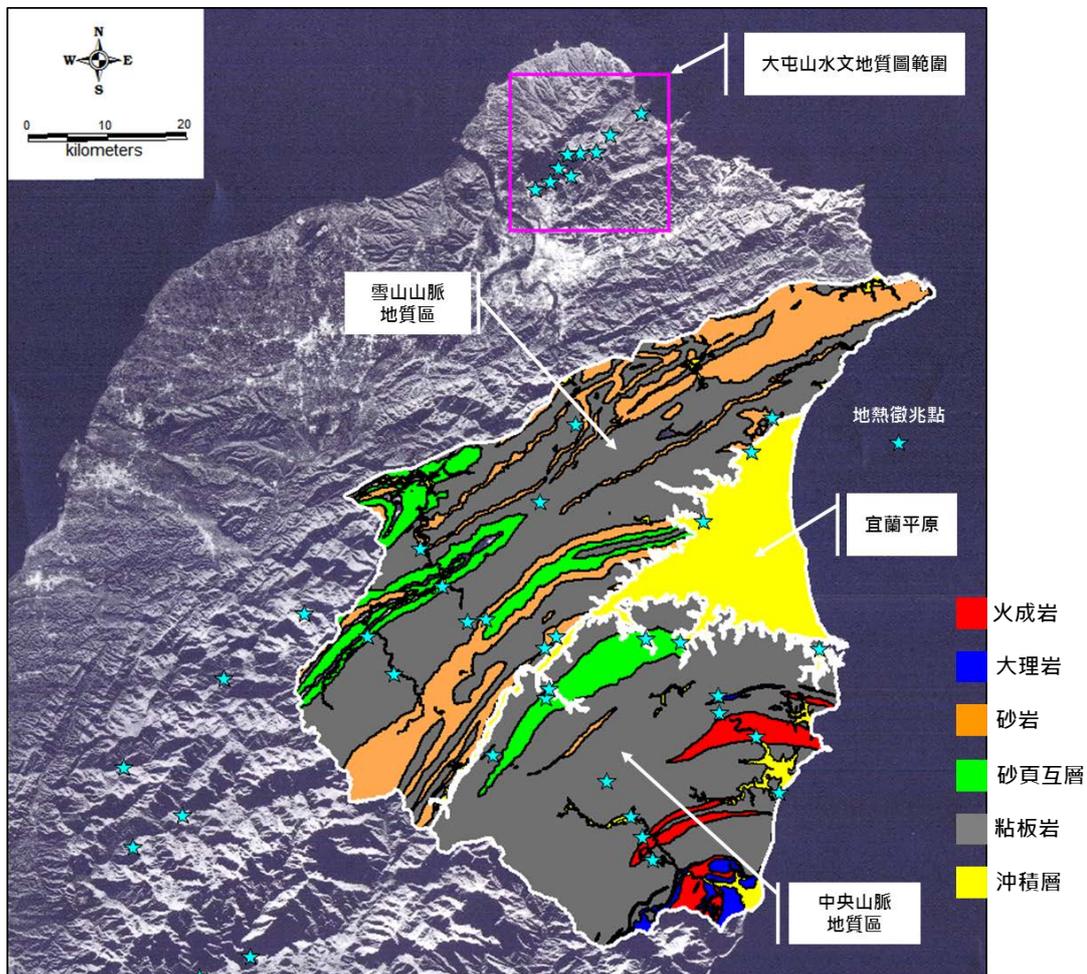


圖 157、東北部變質岩之地熱徵兆與水文地質單元分布圖

構成地熱流體之儲集層之地質組成，包括多孔性(porous)砂岩、礫石層、浮石質火山碎屑岩、多氣孔或多洞穴熔岩流，以及堅硬破碎(fracture)之硬砂岩、石英岩、火成岩等，由於劇烈的造山運動，通常變質的砂岩、火成岩及大理岩可以形成本區之主要儲集層。蓋層可由頁岩、泥岩、緻密火成岩、與熱水變質岩構成，本區極大部分區域由頁岩與泥岩經變質作用所形成的硬頁岩、板岩與片岩等所組成黏板岩類地層，這些地層可形成地熱水之蓋層。

臺灣是一個高山島嶼，雪山山脈與中央山脈為其兩大主幹，另臺灣位處亞熱帶區降水豐富(如圖 158所示)，年平均降水量約 2,474

mm，有利於地下水的補給與深循環。臺灣地區雖然地熱徵兆(溫泉)分布極多，但過去僅清水與土場曾發展小規模的地熱發電廠，除變質岩區位處交通不便外，另外可能由於區域地質圖普遍缺乏的年代，無法從區域性觀念去掌握熱水的溫度與水量，而這些參數對於地熱電廠長期開發利用有很大的影響。



圖 158、臺灣地區年降水量分布圖

依據陳肇夏(1981)指出臺灣東北部變質岩區之雪山山脈與中央山脈兩地區，在熱水溫度方面有很大差異，雪山山脈的熱水溫度較低，最高之烏來溫泉僅 85°C，推測熱水溫度應低於 150°C，而土場與清水溫泉近 100°C，在地下 2 km 處可達 226°C，通常較高的熱水溫度較有利於地熱電廠的開發，造成兩者差異除中央山脈有較高變質度外，雪山山脈地質區內廣泛有厚層破碎的砂岩，這些砂岩地層極易滲入低溫地下水，即使深處有較高溫之熱水上湧，也可能被此地下水混和。

表 42為東北部變質岩區水文地質單元之面積百分比。在雪山山脈地

質區一般認知可為熱水儲集層之 F3 類水文地質單元(砂岩為主)，其分布面積為 581.1 平方公里(約占全區之 29.67%)，若再加上 F2 類水文地質單元(砂頁互層)之區域(10.45%)則總數約有 40.12%；而可能構成蓋層之 P5 類水文地質單元(頁岩為主)與 F1 類水文地質單元(硬頁岩為主)合計約 1147.94 平方公里(約佔全區之 58.62%)，因此在兩者比例相當情況下，來自地下熱水易被地下水所影響而較低其溫度，因此若想永續地熱發電，可能地下水資源需做最適化 (optimization)或多目標的規劃。

表 42、臺灣東北部變質岩區之水文地質單元面積百分比

| 水文地質單元 | 雪山山脈 | | 中央山脈 | |
|-----------------------|----------------------|--------|----------------------|--------|
| | 面積(km ²) | 面積% | 面積(km ²) | 面積% |
| P3 類 | 8.70 | 0.44% | 5.06 | 0.34% |
| P4 類 | 16.06 | 0.82% | 42.51 | 2.88% |
| P5 類 | 39.94 | 2.04% | 0.00 | 0.00% |
| P6 類 | 0.05 | 0.00% | 0.00 | 0.00% |
| F1 類 | 1108.00 | 56.58% | 1142.00 | 77.47% |
| F2 類 | 204.60 | 10.45% | 104.30 | 7.08% |
| F3 類 | 581.10 | 29.67% | 23.48 | 1.59% |
| F4 類 | 0.00 | 0.00% | 46.20 | 3.13% |
| F5 類 | 0.00 | 0.00% | 110.60 | 7.50% |
| 總面積(km ²) | 1958.45 | | 1474.15 | |

在中央山脈地質區主要由可為熱水蓋層之 F1 類水文地質單元(以片岩與板岩為主)所組成，其分布面積為 1,142 平方公里(約占全區之 77.47%)，而一般認知可為儲集層之 F3 類水文地質單元(砂岩為主)或 F4 類水文地質單元(大理岩為主)合計約 69.68 平方公里(約占全區之 4.72%)，儲集層所佔比例極低。由目前中央地質調查所出版之三

星圖幅，包括清水與土場溫泉皆位在 F2 類水文地質單元(砂岩、頁岩互層)，而南澳溪與和平河流域地質圖之四區、五區與大濁水等溫泉區以分布於 F5 類水文地質單元(火成岩)與周圍 F1 類水文地質單元接觸地帶。

綜合 F2-F5 等類水文地質單元約 285.58 平方公里(約佔全區之 19.3%)，也就是說儲集層比例在 20%左右，以過去該地區地熱發電歷程而言，此區域似較有利於地熱發電的發展。

1.2.1.4 四礮子坪區地熱儲集層特性調查評估

FY105 已於大屯山四礮子坪地區完成一口 1,300 公尺深地熱探勘井(E303 井)，並已從井下獲得基本之地質構造、物理與化學等最新寶貴探勘資料，該探勘井位於大屯火山群東北側礮嘴山火山亞群區，為充分掌握該目標地區之地熱儲集層特性，本年度進一步規劃利用新完成之試驗井，進行儲集層特性研究，所得成果可做為未來商轉地熱電廠建置之參考依據。

(1) E303 地熱井注水試驗分析

一般而言，為獲得潛能區之地熱流體埋藏量，可進行多井干擾試驗分析，求得孔隙厚度乘積(ϕh)(Fan et al., 2005; Cheng et al., 2010)，利用體積法估算地熱埋藏量。然而目前四礮子坪僅有一口地熱探勘井，國內外相關經驗及文獻對於以單口井進行試井以求得孔隙厚度乘積(ϕh)之經驗稀少，且結果常與岩心分析有差異，但結果可配合岩心量測結果綜合判釋(Strobel et al., 1976)。FY106 年度將嘗試以注水試驗分析方式，透過經驗公式(Horner, 1951; Earlougher, 1977)，求得儲集層之滲透率厚度乘積(kh)及膚表效應影響因子(S_{skin} , skin factor)及孔隙厚度乘積(ϕh) (Strobel et al., 1976)，進而初步評估四礮子坪地熱儲集層之流體埋藏量。

A. 注水試驗流程

注水試驗於 2017/10/11 14:45 開始回注，使用 Multi-rate 方式進行回注(表 43)，回注前先於井下 500 公尺深處放壓力計(PT probe)，在注水完成後，壓力計持續置於井底計錄停止注水後壓力回降與時間變化曲線(14 小時)，探勘井地下水位深度達 420 公尺處；注水流量 18.3 降至 12.2 TPH；注水時間 3.6 小時；總注水體積 50 m³；回壓監測共 14 小時，於 2017/10/12 08:45 回拉 PT，圖 159 為注水試驗期間所獲得之壓力回降與時間變化曲線。

表 43、E303 井注水試驗紀錄

| Step 0 | 時間 | 注入時間, hr | 流率, m ³ /hr | 累積注入量, m ³ | △P, psi |
|--------|----------|----------|------------------------|-----------------------|---------|
| Step 1 | 14:45:00 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0.0 |
| Step 2 | 15:08:10 | 0.39 | 18.3 | 7.07 | 68 |
| Step 3 | 15:51:00 | 0.71 | 15.4 | 18.06 | 91 |
| Step 4 | 16:29:20 | 0.64 | 14.7 | 27.45 | 106 |
| 關閉注水 | 18:20:30 | 1.85 | 12.2 | 50.06 | 84 |

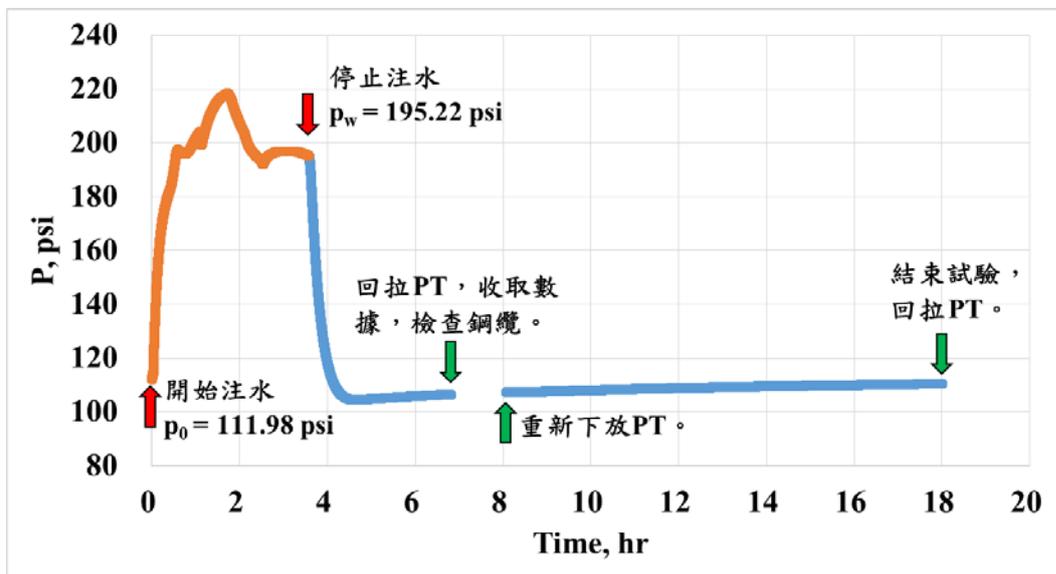


圖 159、注水試驗期間壓力與時間變化曲線

B. 注水試驗圖解法分析

取關閉注水後之回壓監測數據進行 Horner Plot 圖解法分析(Horner,

1951；Earlougher, 1977)。先進行壓降時間與壓力洩降變化之雙對數圖(圖 160)，求得未受井桶效應(wellbore storage effects)影響之數據與時間段在 4.43 小時之後；接著以壓降時間與壓力洩降變化之半對數 Horner Plot 圖譜(圖 161)進行分析，獲得 4.43 小時之後數據回歸方程及斜率 $m_{slope} = 19.97$ psi/cycle；再將獲得之 $m_{slope} = 19.97$ psi/cycle 帶入方程式 15 及方程式 16 進行儲集層導水係數 kh 值及膚表效應影響因子(skin factor) S_{skin} 分析，所需參數可參考表 44。經由注水試驗及 Horner Plot 圖解法分析，獲得 E303 井鄰近儲集層導水係數 kh 值為 3.08 darcy-meter；膚表效應影響因子(skin factor) S_{skin} 為 -1.77。

$$kh = \frac{162.6 q_j B_r \mu}{m_{slope}} \quad (15)$$

$$S_{skin} = 1.1513 \left[\frac{P_{wf}(\Delta t = 0) - P_{1hr}}{m_{slope}} - \log \left(\frac{kh}{\phi h \mu c_t r_w^2} \right) + 3.2275 \right] \quad (16)$$

其中，k 為滲透率，m-darcy；S 為膚表效應影響因子； q_j 為注水流速，STB/D； B_r 為地層體積因子，RB/STB； μ 為黏滯度，cp； m_{slope} 為 Horner Plot 斜率，psig/cycle (取正值)；h 為儲集層厚度，ft； ϕ 為孔隙率； c_t 為流體壓縮度， psi^{-1} ； P_{1hr} 為 Horner Plot 在 $\Delta t=1hr$ 之壓力，psig； P_{wf} 為擠注井關井前井底瞬時壓力，psig； r_w 為擠注井半徑，ft。

根據前人研究(Strobel et al., 1976)，可使用經驗公式方程式 17，以單井試井結果進行孔隙厚度乘積(ϕh)分析，其中 h 為地熱井之生產層厚度(開篩長度)。其中 kh 值 3.08 darcy-meter，可由方程式 15 獲得； μ 及 c_t 可參考表 44；而 t 為回注時間 4.1 小時(總回注體積 50m^3 與最後階段回注流量 $12.2\text{m}^3/\text{hr}$ 之商)；A 為注入井排掃面積(drainage area)，由於回注時間短暫，因此假設流體回注到地層之排掃行為，以井為中心同心圓往外擴散或等向方形往四周擴散至邊界，排掃面

積可參考圖 162之示意圖； t_{DA} 為透過典型曲線擬合之無因次化時間 (dimensionless time for type-curve analysis)，在此可參考前人研究結果，以井及排掃範圍圖形之比例關係進行比對獲得(圖 163) (Dietz, 1965)，例如在注入井達到偽穩態(pseudosteady state)時，同心圓或方形排掃形狀因子(drainage area shapes)之 t_{DA} 皆為 0.1。因此根據方程式 17，當排掃面積為方形時，可獲得孔隙厚度乘積(ϕh)為 27.78 ft (8.47 m)；當排掃面積為同心圓時，可獲得孔隙厚度乘積(ϕh)為 35.38 ft (10.79 m)。已知生產層厚度(開篩長度)為 113.3 m(表 44)，則當排掃面積為方形時，可獲得孔隙率(ϕ)為 0.0747；當排掃面積為同心圓時，可獲得孔隙率(ϕ)為 0.0952。此處獲得之孔隙率為雙孔隙率系統行為(Dual Porosity)，包含裂隙及基質影響，理論上總孔隙率值會大於基質孔隙率。在此我們以排掃面積為方形及同心圓兩者結果之平均值 0.0850 作為 E303 井注水試驗或得之平均有效孔隙率值。

$$\phi h = \frac{0.000264 kh t}{\mu c_t A t_{DA}} \quad (17)$$

表 44、E303 井注水試驗分析參數值

| | | |
|--------------------|-----------------------|-------------------|
| $q_j=12.2$ tons/hr | 1936.5 | BBL/D |
| μ at 41.2 °C | 0.640 | cp |
| $B_r=$ | 1 | res./surface |
| $c_t=$ | 3.172E ⁻⁰⁶ | psi ⁻¹ |
| $r_w=$ | 7 | in |
| $h=$ | =113.3 m/0.3048 | ft |
| $\phi=$ | 0.05 | 假設值 |

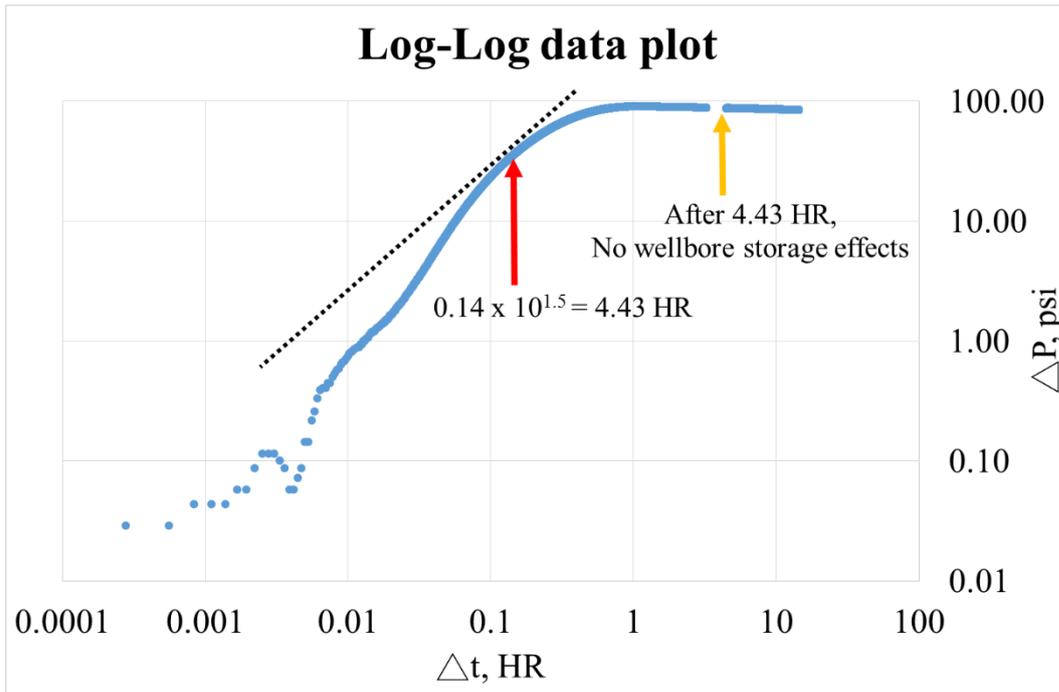


圖 160、E303 井注水試驗壓力 Horner Plot 分析

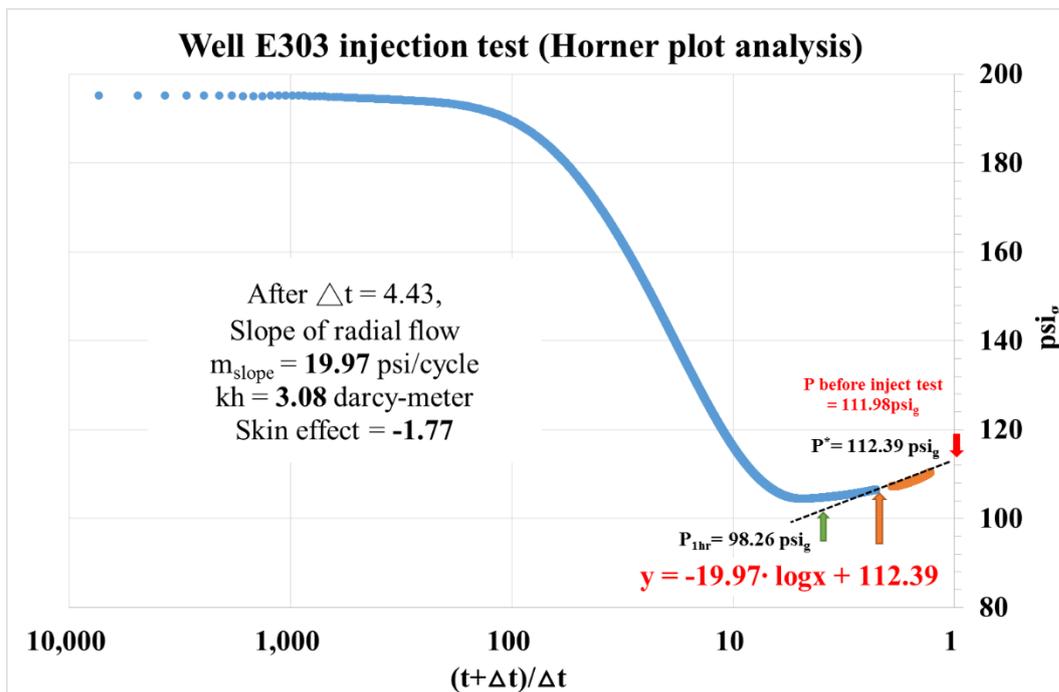


圖 161、E303 井注水試驗壓力 Horner Plot 分析

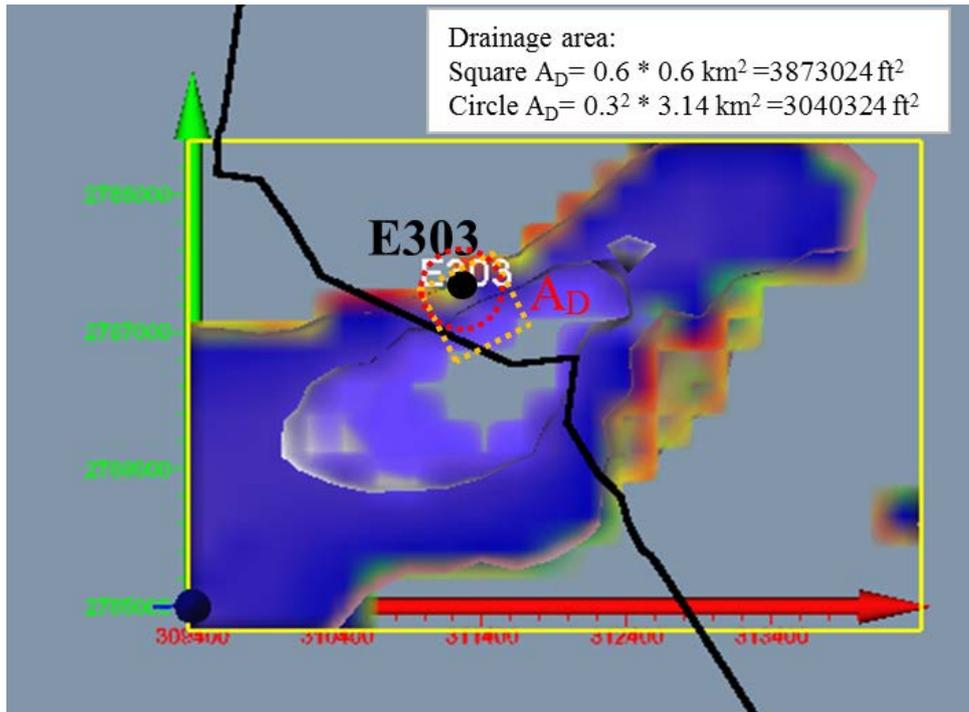


圖 162、礮嘴山區井深 1500 公尺(海拔)地熱儲集層 top view 剖面

| In bounded reservoirs | C_A | $\ln C_A$ | $\frac{1}{2} \ln \frac{(2.2458)}{C_A}$ | Exact for $t_{DA} >$ | Less than 1% error for $t_{DA} >$ | Use infinite system solution with less than 1% error for $t_{DA} <$ |
|---|---------|-----------|--|----------------------|-----------------------------------|---|
|  | 31.62 | 3.4538 | -1.3224 | 0.1 | 0.06 | 0.10 |
|  | 31.6 | 3.4532 | -1.3220 | 0.1 | 0.06 | 0.10 |
|  | 27.6 | 3.378 | -1.2544 | 0.2 | 0.07 | 0.09 |
|  | 27.1 | 3.2995 | -1.2452 | 0.2 | 0.07 | 0.09 |
|  | 21.9 | 3.0865 | -1.1387 | 0.4 | 0.12 | 0.08 |
|  | 0.098 | -2.3227 | +1.5659 | 0.9 | 0.60 | 0.015 |
|  | 30.8828 | 3.4302 | -1.3106 | 0.1 | 0.05 | 0.09 |
|  | 12.9851 | 2.5638 | -0.8774 | 0.7 | 0.25 | 0.03 |
|  | 4.5132 | 1.5070 | -0.3490 | 0.6 | 0.30 | 0.025 |
|  | 3.3351 | 1.2045 | -0.1977 | 0.7 | 0.25 | 0.01 |

圖 163、排掃面積形狀因子(drainage area shapes)
(Dietz, 1965)

C. 注水試驗數值軟體分析

使用商業軟件壓力瞬態分析軟體 kappa saphir 進行回注試驗分析，分別以 Homogeneous reservoir (圖 164)及 Fractured reservoir (one fracture) (圖 165)兩種情境進行擬合分析。其中以 Fractured reservoir (one fracture)情境結果擬合較佳，可獲得 E303 井鄰近儲集層導水係數 kh 值為 3.76 darcy-meter；膚表效應影響因子(skin factor) S_{skin} 為 +0.01，此結果與使用 Horner Plot 圖解法分析法獲得之 kh 值 3.08 darcy-meter 甚為接近。再根據 kappa saphir 分析結果，以擬合程度判斷，Fractured reservoir (one fra...cture)情境擬合較佳，可推測 E3033 井所在儲集層應為裂隙含水層。另，由 kappa saphir 分析結果，Fractured reservoir (one fracture)情境擬合結果同時可獲得 E303 井鄰近儲層平均有效孔隙率(Effective porosity)為 0.0463。

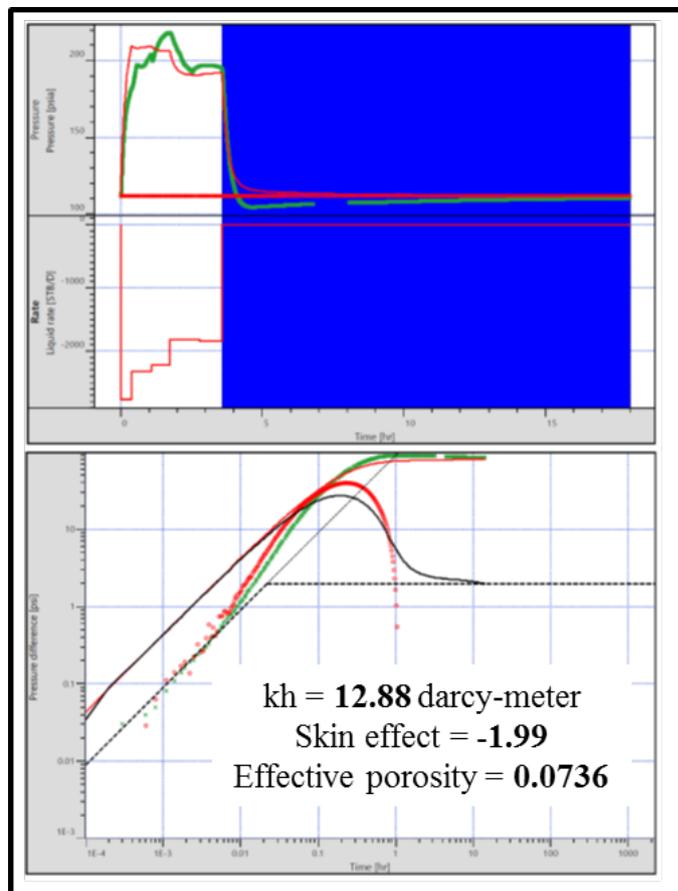


圖 164、E303 井注水 Homogeneous reservoir 分析

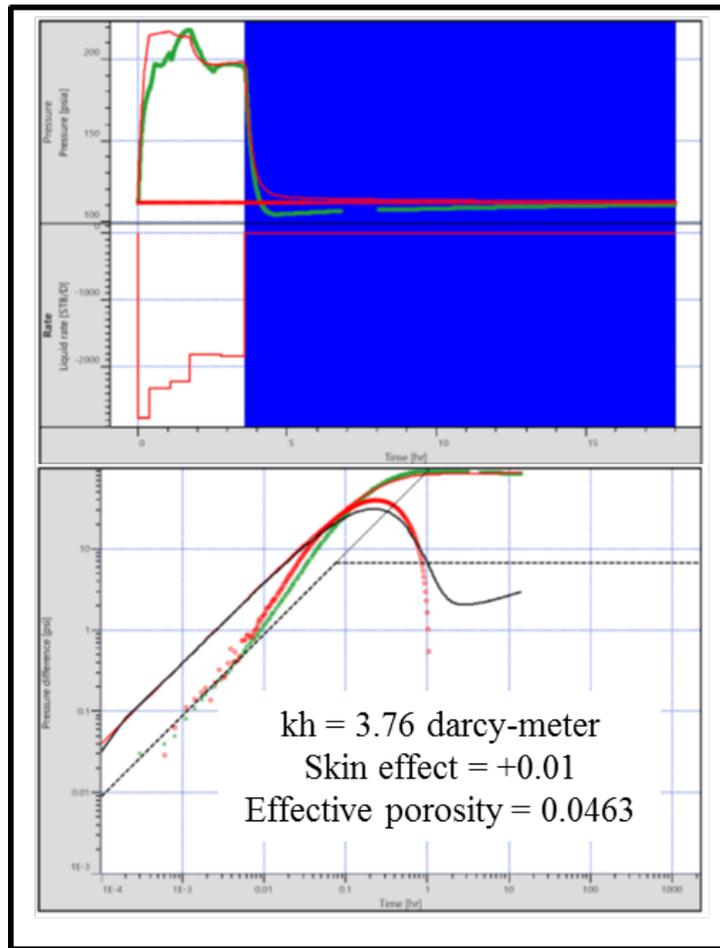


圖 165、E303 井注水 Fractured reservoir (one fracture)分析

(2)E303 岩心分析

本年度工作需進行四礮子坪熱水蘊藏量估算，將透過 E303 井回注試驗獲得孔隙率，然而此方法為單井試驗，只能獲得參考值，還是無法與使用多井干擾試驗井群間孔隙率更具代表性。因此計畫執行過程也進行岩心基質孔隙率量測(不包含裂隙)，作為 E303 井回注試驗結果獲得孔隙率之參考值，提升試驗獲得孔隙率(雙孔隙率, Dual Porosity)應用之可信度及做為未來估算蘊藏量之參考參數。

岩心量測是委託台灣中油探採研究所進行，採用氦氣(樣本須為半徑與長度各 1 吋之岩心)及核磁共振(NMR 量測) (樣本須為半徑 1.5 吋與長度小於 2 吋之岩心)兩種方式，進行 6 顆岩心孔滲分析。岩心於

E303 井儲集層位置分別列於表 45，圖 166為送樣岩心及切割照。



圖 166、六顆岩心及切割照

表 45是六顆岩心之孔隙率和滲透率量測結果。在孔隙率分析方面，編號 4 號岩心在進行岩心鑽取(由 1.5 吋岩心完成 NMR 量測，再鑽取至 1 吋半徑岩心)時已損毀，但在編號 5 及 6 之岩心孔隙率分析結果可知，氦氣與 NMR 量測結果相當接近，其孔隙率分布在 2.40~4.10 %之間。編號 1、2、3 之岩心以氦氣和 NMR 方法測得的孔隙率略有不同。編號 1 之岩心孔隙率使用氦氣及 NMR 方式進行量測結果相當接近，編號 2 及 3 之岩心孔隙率則出現較大差距，故 NMR 量測進一步將岩心進行三維立體顯影(圖 167及圖 168)，藉以觀察孔隙分布。由圖 167可知岩心 1 之孔隙分布較為平均，且觀察到存在細微連通性(紫色圖塊為岩心大孔隙被地層水填滿之訊號)，因此在使用動態量測之氦氣方法可獲得與 NMR 較為接近之結果。另外，由圖 168 可知，岩心 2 中心有一大孔隙存在，但卻無連通性之孔隙提供滲透性(推測孔隙存在的水在成岩作用時便已存在，並非本試驗進行地層水飽和之結果)，故使用動態量測之氦氣方法無法得知該孔隙之存在(無連通)。由結果可知，使用 NMR 方法可獲得真實岩心孔隙存在之分布與精確孔隙率。岩心 3 之孔隙率結果則是氦氣方法大於 NMR

量測，但由於訊雜比（signal-to-noise ratio）低，無法獲得具代表性的三維顯影，但可推測與岩心 2 具有類似情形：在完成半徑 1.5 吋岩心之 NMR 量測後，鑽取半徑 1 吋之岩心時，岩心內部有獨立存在之大孔隙且具有連通性，使得相對體積較小岩心之孔隙率反而變大。由於 NMR 量測之孔隙率包含有效孔隙率及未連通孔隙率；而氦氣方法獲得結果僅為有效孔隙率，亦即是可流動之流體真正存在孔隙率值。因此在真正應用時是以氦氣方法獲得結果為參考值，對於四礮子坪地區地熱儲集層(蓋層以下)之基質岩心有效孔隙率，認為可使用岩心編號 1 (1271.6 公尺深)、編號 2 (969.45 公尺深) 及編號 3 (862 公尺深)之基質岩心有效孔隙率平均值 5.64 %，作為四礮子坪地區地熱儲集層基質岩心有效孔隙率之參考值。主要是這幾個深度岩心為石英砂岩，皆是位於五指山層，依工研院 2016 年執行之高效能地熱發電技術研發計畫(1/3)研究結果，顯示四礮子坪地區地熱儲集層位於五指山層(工研院，2016)。

表 45、六顆岩心之孔隙率和滲透率

| Sample ID | Depth (m) | He Porosity (%) | NMR Porosity (%) | Gas Permeability (mD) | NMR Permeability (mD) |
|-----------|-----------|-----------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 1271.6 | 6.14 | 5.6 | 0.0313 | 5010 |
| 2 | 969.45 | 3.02 | 6.1 | 0.3158 | 7718 |
| 3 | 862 | 7.77 | 4.4 | 0.0048 | 3743 |
| 4 | 732 | 損毀 | 4.1 | 損毀 | 2.062 |
| 5 | 608.3 | 2.66 | 2.4 | ND | 0.915 |
| 6 | 393.11 | 3.26 | 3.9 | ND | 0.478 |

註：ND 代表結果低於方法偵測極限值 0.001 mD

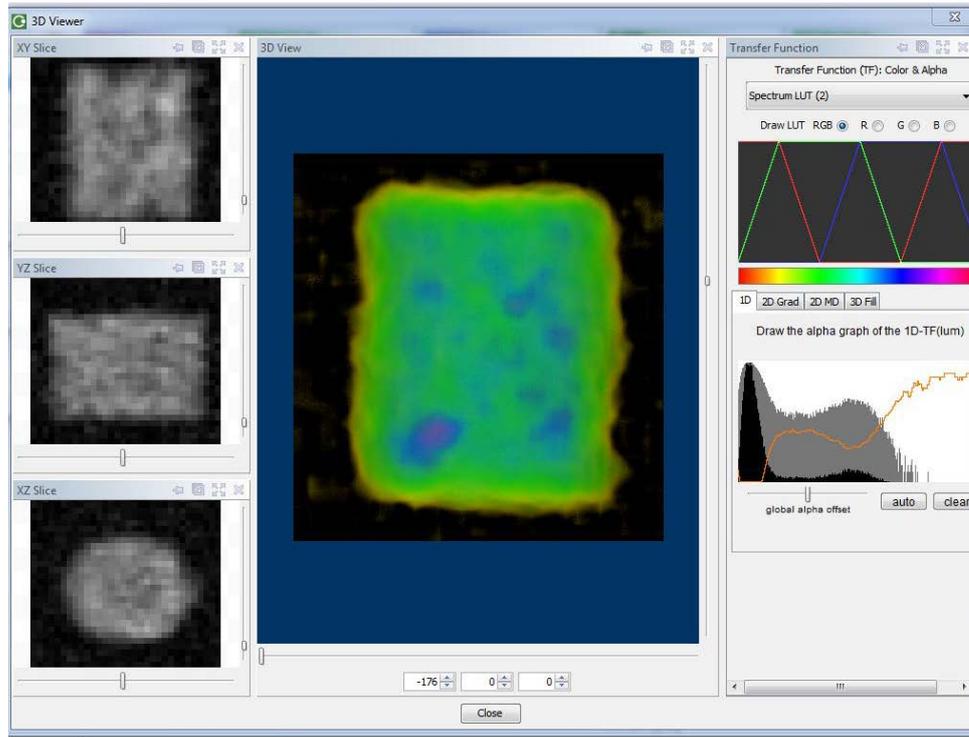


圖 167、岩心 1 之三維顯影

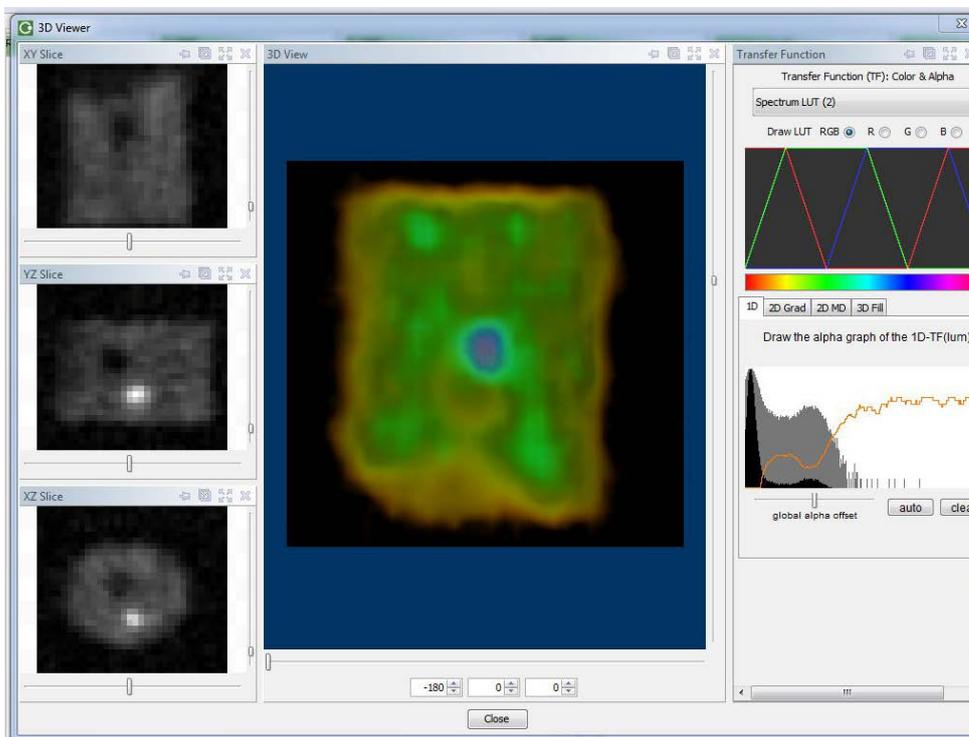


圖 168、岩心 2 之三維顯影

由於 NMR 滲透率模式須根據氬氣法量測之滲透率，來調整經驗公式參數後方具有參考性，然而台灣中油現有 NMR 滲透率模式尚未

建立針對大屯山相關岩體之經驗公式進行校正，故岩心滲透率以氦氣法量測結果為主(表 45)。滲透率模式其優點在於經由氦氣法校正經驗公式後，可由 NMR 測井直接計算井下滲透率之變化。另外，受到儀器限制，當岩心氣體滲透率過低，無法得到氣體壓縮狀態(不同測定壓差)下之滲透率迴歸，因此無法由 Klinkenberg effect 來推算液體滲透率。氣體滲透率分析結果顯示，岩心編號 1 至 3 屬於石英砂岩層(五指山層)，滲透率約在 0.3~0.005 mD 間(平均 0.1173 mD)，安山岩質岩心 5~6 則在小數點以下 3 位之方法偵測極限值(<0.001 mD)，不具有參考性。

(3) 四礮子坪區地熱儲集層特性綜合討論

根據注水試驗結果，分別以 Horner Plot 圖解法分析及 kappa saphir 軟體進行注水試驗數據分析，得到包含滲透率厚度乘積(kh)及膚表效應影響因子(S_{skin} , skin factor)及孔隙率(ϕ)等資訊，整理於表 46，並於表 46 中加入 E303 井基質岩心分析結果(表 45)進行比較。

根據圖解法分析及數值軟體分析所獲得之 kh 值分別為 3.08 及 3.76 darcy-meter，甚為相近(同數量級)，由於數值軟體分析過程僅假設 E303 井通過一條裂隙，不夠全面；岩心分析結果僅為基質滲透率，未包含主要之裂隙滲透率，故不參考；因實際上 E303 井於四礮子坪區地熱儲集層穿過之裂隙可能不只一條，故使用時將以注水試驗圖解法分析獲得之 kh 值 3.08 darcy-meter 為 E303 井試驗結果。

圖解法分析及數值軟體分析所獲得之膚表效應影響因子 S_{skin} 結果分別為 -1.77 及 +0.01，在理論上是代表 E303 井未受到破壞，甚至有受到井激勵(Well stimulation)現象(S_{skin} 若為負值)，結果甚為相近。在此使用時相同以注水試驗圖解法分析獲得之 S_{skin} 值 -1.77 為 E303 井試驗結果。

圖解法分析及數值軟體分析所獲得之孔隙率(ϕ)分別為 0.085 及 0.0463。參考岩心分析結果，岩心基質孔隙率(ϕ)均值为 0.0564，實際之儲集層孔隙率需包含裂隙孔隙率，故應該略大；再參考前人研究(李伯亨等，2016)，其整理包含四礮子坪及硫礮谷與龍鳳谷等區域資料，推算之大屯

山區五指山層及木山層等沉積岩所組成的儲集層孔隙率為 0.08。因此 E303 井注水試驗圖解法分析獲得之孔隙率(ϕ)值為 0.085，可做為四礮子坪區地熱儲集層有效孔隙率參考值。

綜合以上結果，E303 井回注試驗，可獲得 kh 值 3.08 darcy-meter、 S_{skin} 值 -1.77、 ϕ 值為 0.085。

表 46、四礮子坪區地熱儲集層特性綜合比較表

| 分析方法 | kh, darcy-meter | S_{skin} | ϕ | k, darcy |
|---------------------|-----------------|------------|--------|-------------------------|
| 注水試驗圖解法分析 | 3.08 | -1.77 | 0.085 | 0.027 |
| 注水試驗數值軟體分析 | 3.76 | +0.01 | 0.0463 | 0.033 |
| 岩心分析(基質) | -- | -- | 0.0564 | 0.1173×10^{-3} |
| 前人研究(李伯亨等， 2016) | -- | -- | 0.08 | 0.0035 |

(4) 四礮子坪區地熱儲集層埋藏量及年補注量評估

A. 地熱流體埋藏量評估

礮嘴山區儲集層埋藏量可利用體積法，估算地熱儲集層中流體體積 (fluid-in-place)，估算方法如方程式 19 所示：

$$FIP = \phi V \quad (19)$$

其中：FIP 為儲集層孔隙流體體積(Fluid-in-place)(假設為飽和含水層)， m^3 ； ϕ 為孔隙率； V 為地熱田體積， m^3 ，由 MT 資料三維逆推獲得。

根據工研院 MT 資料進行三維逆推結果顯示(圖 162)，在四礮子坪區

深度 1500 公尺之地熱儲集層面積約為 $1.8 \times 5.4 \text{ km}^2 = 9.72 \text{ km}^2$ ，假設集層厚度為 2 km 深，則四礮子坪區岩體體積為 $9.72 \times 2.0 \text{ km}^3 = 19.44 \text{ km}^3$ 。已知 E303 井注水試驗圖解法分析獲得之四礮子坪區地熱儲集層平均有效孔隙率(ϕ)值為 0.085，假設礮嘴山區地熱儲集層為飽和含水層，將孔隙率及岩體體積 19.44 km^3 共同帶入錯誤！找不到參照來源。9，可得礮嘴山區儲集層流體埋藏量為 1.65 km^3 ，亦即礮嘴山區儲集層可能存在 16.5 億立方公尺地熱流體。

B. 年補注量評估

根據地熱補注年代評估及地熱儲集層中流體體積結果，使用簡單之估算方法可獲得單位時間內之自然補注量(Natural recharge)，估算方法如方程式 20 所示：

$$R = \text{FIP}/(\Delta t) \quad (20)$$

其中：R 為地熱流體自然補注量， m^3/year ； Δt 為地熱流體滯留時間，year。

根據 1.2.1.4 小節已完成之地熱補注年代評估結果，礮嘴山地熱區儲集層補注年代約為 1968，亦即至今之最小循環時間已經過 50 年。已知礮嘴山區儲集層可能存在 16.5×10^8 立方公尺地熱流體，再結合礮嘴山地熱區儲集層流體循環所需時間大於 50 年，帶入方程式 20，可得礮嘴山區地熱流體年自然補注量小於 0.33×10^8 立方公尺。

1.2.1.5 地熱發電政策可行性評估

本年度計畫配合政府積極推動再生能源發電之政策，針對地熱發電政策

之可行性進行初步評估。

依「政府政策評估說明書作業規範」第七點規定應評估項目共包含 8 大項 34 個細項(如圖 169)，實際採用評估範疇與項目依據同點規定「...前項評估內容之界定，政策研提機關得邀集有關單位、團體及學者、專家召開評估範疇界定會議決定之」。

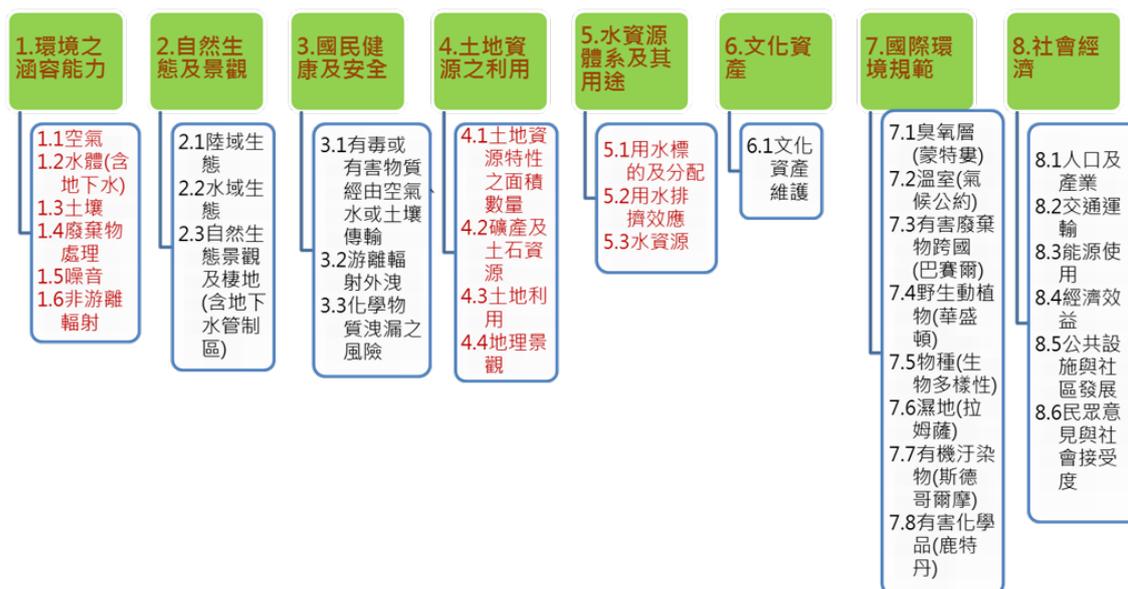


圖 169、一般政策環評內容與架構

本政策評估就地熱發電開發政策內容，於今年 7 月 6 日及 9 月 29 日舉辦兩次專家諮詢會議意見，初步篩選應評估項目包括有空氣、水體、噪音、非游離輻射、自然生態及景觀、土地資源之利用、水資源體系及其用途、國際環境規範、社會經濟及地質安全等，其評估方法主要參考聯合國 2007 年 4 月公佈的「Protocol on SEA-Resource Manual to Support Application of the UNECE Protocol on Strategic Environmental Assessment」，及經濟合作發展組織(OECD)2006 年出版的 Applying Strategic Environmental Assessment 手冊建議各項評估方法與工具。經考量政策內涵與環境面特性，初步篩選評估項目之說明如**錯誤! 找不到參照來源。**，其評估項目及內容、方法仍需滾動式檢討與調整。

表 47、地熱發電政策評估項目與內容

| 面向 | 評估項目 | 評估細項 | 評估內容 | 評估方法 |
|----|-----------|-------------|--|--|
| 環境 | 環境之涵容能力 | 空氣 | 評估懸浮微粒(TSP 及 PM ₁₀)、二氧化硫、二氧化氮、臭氧、鉛及一氧化碳等各項空氣污染物，是否符合空氣品質標準或涵容總量 | 1.使用衝擊矩陣分析法評定 2.規範個案環評階段，依其開發規模，需利用空氣品質模式進行空氣品質量化分析 |
| | | 水體 | 評估氫離子濃度、溶氧量、導電度、大腸桿菌群、生化需氧量、懸浮固體、氨氮、硝酸鹽氮、總磷、總氮及重金屬是否符合水體分類水質標準、水體涵容總量或是否致水體優養化 | 1.使用衝擊矩陣分析法評定 2.規範個案環評階段，需視當地環境條件進行水質模擬，以量化評估影響程度 |
| | | 噪音 | 評估噪音是否符合環境音量標準與噪音管制標準或致使環境音量普遍劣化 | 1.使用衝擊矩陣分析法評定 2.規範個案環評階段，需利用噪音模式進行量化分析 |
| | | 非游離輻射 | 評估輸電線電磁場對周遭環境之影響，是否符合「限制時變電場、磁場及電磁場暴露指引」參考位準值 | 1.使用衝擊矩陣分析法評定 2.規範個案環評階段，需視其設置規模與區位進行電磁場模擬分析 |
| | 自然生態及景觀 | 陸域生態 | 評估地熱開發政策對陸域生態負荷影響 | |
| | | 水域生態 | 評估地熱開發政策對水域生態負荷影響 | 1.使用圖層套疊、GIS 地理資訊系統分析及衝擊矩陣分析法，評估地熱開發對於生態與自然景觀棲地之影響 2.配合專家會議機制釐清重要生態影響 |
| | | 自然生態棲地及景觀 | 評估政策對國家公園、自然保留區、野生動物保護區、野生動物重要棲息環境、自然保護區、國家風景區、海岸保護區及其他特殊生態敏感區之影響。 | 3.規範個案環評階段，需視其設置規模與區位進行景觀美質模擬分析 |
| | 土地資源利用 | 土地資源特性之面積數量 | 評估對資源型土地（資源型土地係指農業生產地區、森林保育地區及水資源保護地區）消耗影響 | 1.使用衝擊矩陣分析法、圖層套疊及 GIS 地理資訊系統分析 2.於個案環評階段，應依「開發行為環境影響評估作業準則」規定進行敏感區位發文查詢，並依其所在區位之法律規定辦理 |
| | | 土地利用 | 評估土地利用型態改變，其與鄰近地區原土地使用情形之影響 | 1.使用衝擊矩陣分析法、圖層套疊及 GIS 地理資訊系統分析土地利用轉變之影響 2.於個案環評階段，應依「開發行為環境影響評估作業準則」進行敏感區位發文查詢，並依其所在區位之法律規定辦理 |
| | | 地理景觀 | 評估對地形、地貌或某些區域之特有景觀之影響 | 1.使用衝擊矩陣分析法、圖層套疊及 GIS 地理資訊系統分析，評估地熱開發對地形、地貌及特有景觀之影響 2.於個案環評階段，應依「開發行為環境影響評估作業準則」進行敏感區位發文查詢，並依其所在區位之法律規定辦理 |
| | | 土地資源之承載量 | 住宿量、水電需求、廢棄物處理 | 使用衝擊矩陣分析法、圖層套疊及 GIS 地理資訊系統分析，評估地熱開發對土地資源之承載量之影響 |
| | 水資源體系及其用途 | 用水標的及分配 | 用水標的之調整或用水量之改變 | 1.以量化評估為主，依總發電裝置容量估算總用水量，評估用水標的及分配之影響 2.於個案環評階段，應依「用水計畫書審查作業要點」規定辦理水權之取得 |
| | | 用水排擠效應 | 評估區域性用水(含地下水)排擠效應 | 1.以量化評估為主，依總發電裝置容量估算總用水量，評估地熱開發對附近用水之排擠效應 2.於個案環評階段，應依「用水計畫書審查作業要點」規定辦理水權之取得 |
| | | 水資源 | 評估政策對自來水水質水量保護區、飲用水水質保護區、特定水 | 1.以量化評估為主，依總發電裝置容量估算總用水量，評估水資源之影響 |

| 面向 | 評估項目 | 評估細項 | 評估內容 | 評估方法 |
|--------|------------|------|--|---|
| | | | 土保持區、水庫集水區、地下水管制區之影響衝擊 | 2.於個案環評階段，應依「用水計畫書審查作業要點」規定辦理水權之取得 |
| 國際環境規範 | 氣候變化綱要公約 | | 配合達成國家溫室氣體減碳政策，於2025年減量到2000年的水準，2050年回到2000年排放量的50% | 以量化評估為主，依總發電裝置容量估算總發電量，以量化計算減碳效益 |
| 社會經濟 | 人口及產業 | | 評估對產業人口數及產業結構狀況之影響，以及政策對溫泉業者溫泉水源之排擠效應 | 分析對國內地熱發電產業之整體產值與就業人口量化與質化之影響 |
| | 交通運輸 | | 1.施工期間衍生交通量 2.營運期間衍生交通量 | 使用衝擊矩陣分析法，後續依個案環評階段，分析交通衍生量對鄰近道路系統所造成之交通衝擊 |
| | 原民傳統文化 | | 評估原民傳統文化影響 | 圖層套疊及GIS地理資訊系統分析，評估政策對於有形、無形文化與原民傳統文化之影響 |
| | 經濟效益 | | 地熱資源產業發展經濟效益推估 | 1.量化評估地熱開發政策帶動產業發展之經濟效益 2.使用衝擊矩陣分析法、圖層套疊及GIS地理資訊系統分析，與政策協商會議評估對經濟效應之影響 |
| | 公共設施與社區發展 | | 評估對各類型公共設施之影響 | 使用衝擊矩陣分析法、圖層套疊及GIS地理資訊系統分析，與政策協商會議評估對公共設施之影響 |
| | 民眾意見與社會接受度 | | 收集正面與反面之民眾意見，並檢視民眾對政策與替代方案之接受程度 | 透過各類型的公眾參與機制納入意見徵詢(範疇界定會議、政策協商會議、專家會議) |
| 其他 | 地質安全 | | 岩層強度、邊坡穩定性 | 量化評估地質結構之風險度 |
| | | | 山崩、土石流潛勢區、河岸侵蝕、斷層錯動等敏感區位 | 於個案環評階段，應依「開發行為環境影響評估作業準則」規定進行敏感區位發文查詢，並依其所在區位之法律規定辦理 |
| | | | 誘發地震 | 圖層套疊及GIS地理資訊系統分析，評估政策對於地熱發電誘發地震之影響 |

參考資料：政府政策評估說明書作業規範，中華民國96年1月15日行政院環境保護署環署綜字第0960005043號修正。

(1) 環境涵容能力

A. 空氣

根據「政府政策評估說明書作業規範」，政策評估項目之評估內容有關空氣之涵容能力，是指懸浮微粒(TSP及PM₁₀)、二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、臭氧(O₃)、鉛(Pb)及一氧化碳(CO)等各項空氣污染物，本政策亦納入細懸浮微粒(PM_{2.5})項目，是否符合空氣品質標準(錯誤!找不到參照來源。)或涵容總量。

表 48、空氣品質標準

| 項目 | 標準值 | | 單位 |
|---|-------------|------|------------------------------------|
| 總懸浮微粒 (TSP) | 二十四小時值 | 250 | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (微克/立方公尺) |
| | 年幾何平均值 | 130 | |
| 粒徑小於等於十微米 (μm)之懸浮微粒 (PM_{10}) | 日平均值或二十四小時值 | 125 | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (微克/立方公尺) |
| | 年平均值 | 65 | |
| 粒徑小於等於二·五微米 (μm)之細懸浮微粒 ($\text{PM}_{2.5}$) | 二十四小時值 | 35 | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (微克/立方公尺) |
| | 年平均值 | 15 | |
| 二氧化硫 (SO_2) | 小時平均值 | 0.25 | ppm (體積濃度百萬分之一) |
| | 日平均值 | 0.1 | |
| | 年平均值 | 0.03 | |
| 二氧化氮 (NO_2) | 小時平均值 | 0.25 | ppm (體積濃度百萬分之一) |
| | 年平均值 | 0.05 | |
| 一氧化碳 (CO) | 小時平均值 | 35 | ppm (體積濃度百萬分之一) |
| | 八小時平均值 | 9 | |
| 臭氧 (O_3) | 小時平均值 | 0.12 | ppm (體積濃度百萬分之一) |
| | 八小時平均值 | 0.06 | |
| 鉛 (Pb) | 月平均值 | 1.0 | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (微克/立方公尺) |

資料來源：中華民國 101 年 5 月 14 日行政院環境保護署環署空字第 1010038913 號令修正發布。

地熱發電開發涉及空氣品質涵容能力的影響主要在於施工階段鑽井作業、電廠設置、材料運輸車輛以及施工機具排放煙氣所產生的粒狀物、硫氧化物與氮氧化物濃度增量，影響時間短暫且隨施工完成後結束；營運期間由於增加再生能源供電比例，減少化石能源發電，對於空氣品質改善將有長期正面的影響。

由於施工階段所產生之懸浮固體濃度增量及擴散情形，與當地地形、氣候條件、開發規模、使用機具的種類及數量等都有密切的關係，需視當地環境條件進行擴散模擬後量化評估影響程度。仍應在個案環評階段針對其設置規模與區位，進行施工階段空氣品質模擬分析，評估空氣污染物增量與背景濃度合成後是否超出當地空氣品

質標準。

除國家公園或自然保護(育)區為一級空氣污染防制區之外，其餘為二、三級空氣污染防制區；依據行政院環保署 105 年 8 月 3 日環署空字第 1050061014 號函公告之修正「直轄市、縣(市)各級空氣污染防制區」，自民國 106 年 1 月 1 日起，除台東縣之細懸浮微粒(PM_{2.5})劃定為二級空氣污染防制區之外，其餘各縣市之 PM_{2.5}均劃定為三級空氣污染防制區。此外，亦可藉由函詢當地縣市環境保護局得知其屬空氣污染防制區。

B. 水體

根據水污染防治法定義，涵容能力是「指在不妨害水體正常用途情況下，水體所能涵容污染物之量」。地熱發電開發施工過程中可能影響陸域水質之營建工程主要分為鑽井工程、電廠及其附屬設施設置等兩大部分，因鑽井工程或營建工程等所逸出之砂泥擴散可能對周遭陸域環境水質產生影響，主要影響項目為懸浮固體濃度，其中以鑽井工程的影響較大。

根據「政府政策評估說明書作業規範」，政策評估項目之評估內容有關河川、湖泊、地下水之涵容能力，是指氫離子濃度指數(pH)、溶氧量(DO)、生化需氧量(BOD)、懸浮固體(SS)、大腸桿菌群、氨氮(NH₃-N)、總磷(TP)、總氮(TN)、硝酸鹽氮(NO₃-N)、導電度(EC)、氰化物(CN)、酚類、陰離子界面活性劑(ABS)、重金屬及農藥等各水質項目，是否符合水體分類水質標準(錯誤! 找不到參照來源。)、水體涵容總量或是否致水體優養化。

由於營運階段所產生之溫排水(或回注水)排放增量及擴散情形，與當地氣象條件、開發規模、河川(含地下水)水文、水理以及地層條件等都有密切的關係，需視當地環境條件進行擴散模擬後量化評估影響程度。仍應在個案環評階段針對其設置規模與區位，進行營運階段

河川水質(含地下水質)模擬分析,評估河川污染物增量與背景濃度合成後是否超出當地水體水質品質標準(表 50),且符合放流水標準(表 51)。

表 49、陸域地面水體分類及水質標準(河川、湖泊、地下水)

| 分級 | 基準值 | | | | | | |
|----|--------------|----------|-------------|-----------|------------|-------------------------|---------|
| | 氫離子濃度指數 (pH) | 溶氧量 (DO) | 生化需氧量 (BOD) | 懸浮固體 (SS) | 大腸桿菌群 | 氨氮 (NH ₃ -N) | 總磷 (TP) |
| 甲 | 6.5-8.5 | 6.5 以上 | 1 以下 | 25 以下 | 50 個以下 | 0.1 以下 | 0.02 以下 |
| 乙 | 6.5-9.0 | 5.5 以上 | 2 以下 | 25 以下 | 5,000 個以下 | 0.3 以下 | 0.05 以下 |
| 丙 | 6.5-9.0 | 4.5 以上 | 4 以下 | 40 以下 | 10,000 個以下 | 0.3 以下 | — |
| 丁 | 6.0-9.0 | 3.0 以上 | 8 以下 | 100 以下 | — | — | — |
| 戊 | 6.0-9.0 | 2.0 以上 | 10 以下 | 無漂浮物且無油污 | — | — | — |

資料來源：中華民國 106 年 9 月 13 日行政院環境保護署環署水字第 1060071140 號令修正發布。

註：保護生活環境相關環境基準，各項基準值單位如下：

1. 氫離子濃度指數：無單位。
2. 大腸桿菌群：每 100 毫升水樣在濾膜上所產生之菌落數(CFU/100ml)。
3. 其餘：毫克/公升。

表 50、陸域地面水體分類及水質標準(河川、湖泊、地下水)(續 1)

| 水質項目 | | 基準值 (單位:毫克/公升) |
|---------|------------|-------------------|
| 重金 屬 | 鎘 | 0.005 |
| | 鉛 | 0.01 |
| | 六價鉻 | 0.05 |
| | 砷 | 0.05 |
| | 總汞 | 0.001 |
| | 硒 | 0.01 |
| | 銅 | 0.03 |
| | 鋅 | 0.5 |
| | 錳 | 0.05 |
| | 銀 | 0.05 |
| 無機鹽 | 鎳 | 0.1 |
| | 氰化物 | 0.05 |
| 揮發性有機物 | 四氯化碳 | 0.005 |
| | 1,2-二氯乙烷 | 0.01 |
| | 二氯甲烷 | 0.02 |
| | 甲苯 | 0.7 |
| | 1,1,1-三氯乙烷 | 1.0 |
| | 三氯乙烯 | 0.01 |
| | 苯 | 0.01 |

資料來源：中華民國 106 年 9 月 13 日行政院環境保護署環署水字第 1060071140 號令修正發布。

- 註：1. 保護人體健康相關環境基準係以對人體具有危害之物質，具體標示其基準值。
2. 基準值以最大容許量表示。
3. 全部公共水域一律適用。

4. 其他有害水質之農藥，其容許量由中央主管機關增訂公告之。

表 50、陸域地面水體分類及水質標準(河川、湖泊、地下水)(續 2)

| 水質項目 | | 基準值 (單位:毫克/公升) |
|------|---|-------------------|
| 農 | 有機磷劑(巴拉松、大利松、達馬松、亞素靈、一品松、陶斯松)及氨基甲酸鹽(滅必蟲、加保扶、納乃得)之總量 | 0.1 |
| | 安特靈 | 0.0002 |
| | 靈丹 | 0.004 |
| | 毒殺芬 | 0.005 |
| | 安殺番 | 0.003 |
| 藥 | 飛佈達及其衍生物 (Heptachlor, Heptachlor epoxide) | 0.001 |
| | 滴滴涕及其衍生物(DDT,DDD,DDE) | 0.001 |
| | 阿特靈、地特靈 | 0.003 |
| | 五氯酚及其鹽類 | 0.005 |
| | 除草劑(丁基拉草、巴拉刈、2、4-地) | 0.1 |
| 其他物質 | 酚 | 0.005 |

資料來源：中華民國 106 年 9 月 13 日行政院環境保護署環署水字第 1060071140 號令修正發布。

註：1. 保護人體健康相關環境基準係以對人體具有危害之物質，具體標示其基準值。

2. 基準值以最大容許量表示。
3. 全部公共水域一律適用。
4. 其他有害水質之農藥，其容許量由中央主管機關增訂公告之。

表 51、放流水標準

| 適用範圍 | 項目 | 基準值 |
|--------------------------------------|-------------|--|
| 自水體取水作為冷卻或循環用途之未接觸冷卻水，如排放於原取水區位之地面水體 | 水溫 | 一、放流水排放至非海洋之地面水體者： 1.攝氏 38 度以下(適用於五月至九月)。 2.攝氏 35 度以下(適用於十月至翌年四月)。 二、放流水直接排放於海洋者，其放流口水溫不得超過攝氏四十二度，且距排放口五百公尺處之表面水溫差不得超過攝氏四度。 |
| | 氫離子濃度指數(pH) | 6.0-9.0 |
| 發電廠 | 生化需氧量 | 30 毫克/公升 |
| | 化學需氧量 | 100 毫克/公升 |
| | 懸浮固體 | 30 毫克/公升 |
| | 總餘氯 | 0.5 毫克/公升 |

資料來源：中華民國 105 年 1 月 6 日行政院環境保護署環署水字第 1040110356 號令修正發布。

C. 噪音

因施工作業產生之噪音增量情形，與當地環境、地形、工區範圍、衰退距離及施工機具數量、種類及噪音量等各因素有密切相關，因

此需視當地環境條件進行模擬後量化評估影響程度。仍應在個案環評階段針對其設置規模與區位，利用噪音模式進行量化分析，且施工噪音與營運後發電機組噪音應符合營建工程噪音管制標準與工廠(場)噪音管制標準，詳請見如表 52及表 53。

表 52、營建工程噪音管制標準

| 時段 音量 管制區 | | 頻率 | 20Hz 至 200Hz | | | 20Hz 至 20kHz | | |
|---------------------------|-------|----|--------------|----|-----|--------------|----|--|
| | | 日間 | 晚間 | 夜間 | 日間 | 晚間 | 夜間 | |
| 均能 音量 (L_{eq}) | 第一類 | 44 | 44 | 39 | 67 | 47 | 47 | |
| | 第二類 | 44 | 44 | 39 | 67 | 57 | 47 | |
| | 第三類 | 46 | 46 | 41 | 72 | 67 | 62 | |
| | 第四類 | 49 | 49 | 44 | 80 | 70 | 65 | |
| 最大 音量 (L_{max}) | 第一、二類 | - | | | 100 | 80 | 70 | |
| | 第三、四類 | | | | 100 | 85 | 75 | |

資料來源：「噪音管制標準」，中華民國 102 年 8 月 5 日行政院環境保護署環署空字第 1020065143 號令修正發布。

註：1. 日間：指各類管制區上午七時至晚上七時；

2. 晚間：第一、二類管制區指晚上七時至晚上十時；第三、四類管制區指晚上七時至晚上十一時；

3. 夜間：第一、二類管制區指晚上十時至翌日上午七時；第三、四類管制區指晚上十一時至翌日上午七時

表 53、工廠(場)噪音管制標準

| 時段 音量 管制區 | | 頻率 | 20Hz 至 200Hz | | | 20Hz 至 20kHz | | |
|-----------------|--|----|--------------|----|----|--------------|----|--|
| | | 日間 | 晚間 | 夜間 | 日間 | 晚間 | 夜間 | |
| 第一類 | | 39 | 39 | 36 | 50 | 45 | 40 | |
| 第二類 | | 39 | 39 | 36 | 57 | 52 | 47 | |
| 第三類 | | 44 | 44 | 41 | 67 | 57 | 52 | |
| 第四類 | | 47 | 47 | 44 | 80 | 70 | 65 | |

資料來源：「噪音管制標準」，中華民國 102 年 8 月 5 日行政院環境保護署環署空字第 1020065143 號令修正發布。

D. 游離輻射

非游離輻射影響來自於輸電線電磁波對於附近敏感點之影響。本政策應於個案環評階段，依其設置規模與區位進行電磁場模擬分析，其模擬合成值須符合環保署公告之「限制時變電場、磁場及電磁場暴露指引」參考位準值。

(2) 自然生態及景觀

A. 陸域生態

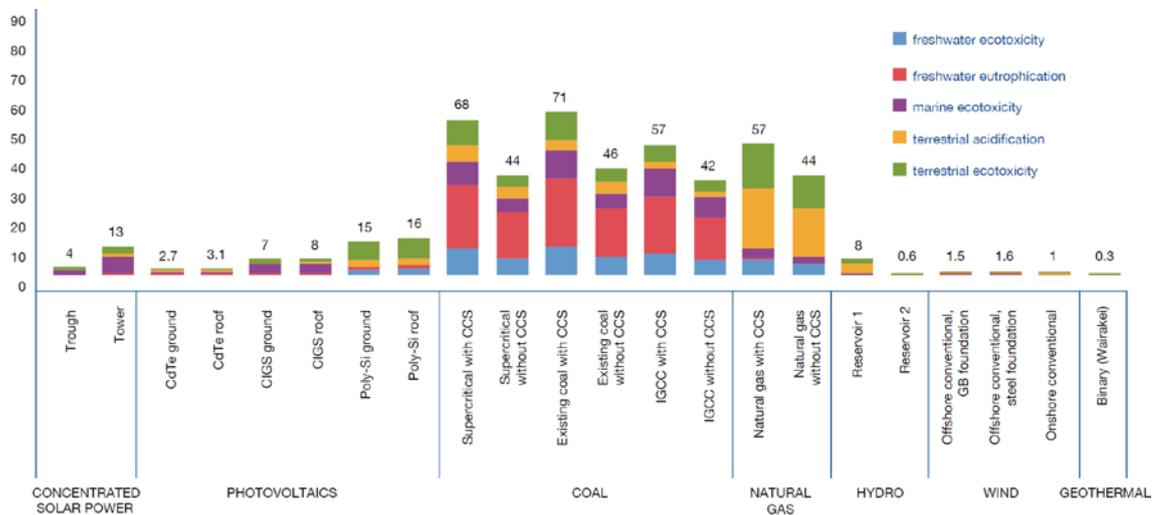
根據「政府政策評估說明書作業規範」，政策評估項目之評估內容有關陸域生態項目，是指動、植物種類及數量之改變程度、對稀有種之影響程度、森林被利用比率之狀況、種歧異度之變化或優勢群落之改變、並以其改變程度是否因應未來改變之調適為主要考量。本政策與陸域生態之相關性在於地熱井鑽探、電廠及其附屬設施(如氣液分離設備、輸送管線及冷卻設備等)與道路闢建、電力設備等基礎建設，所經區域對於動植物物種之影響，由於地熱開發政策透過迴避策略與因應對策採用，將事先避開陸域生態資源豐富或敏感區位，以保護陸域生態資源為原則。

本政策規劃地熱開發個案環評，應就開發所在位置，依「開發行為環境影響作業準則」、「動物生態評估技術規範」及「植物生態評估技術規範」進行生態調查，並依其開發內容及規模，評估分析對陸域動植物生態的影響並擬定減輕對策。

B. 水域生態

根據「政府政策評估說明書作業規範」，政策評估項目之評估內容有關水域生態項目，是指動、植物種類及數量之改變程度、對稀有種之影響程度、種歧異度之變化或優勢群落之改變，並以其改變程度是否因應未來改變之調適為主要考量。本政策與水域生態之相關

性在於規劃之場域位置對於鄰近水域生態環境是否產生上述之影響。對於潛在的生態影響其實不易量化其衝擊程度，可能存在獨有、脆弱敏感、地域性的生態系統。然依據聯合國環境規劃署(UNEP)在2015年出版的《GREEN ENERGY CHOICES》中指出，以淡水生態毒性、淡水優養化、海洋生態毒性、陸域土壤酸化及陸域生態毒性等五種參數評定不同發電方式對環境生態影響，結果顯示地熱發電對於生態環境衝擊是在所有能源中最低的，且對人體健康影響亦最小，如**錯誤! 找不到參照來源。**及**錯誤! 找不到參照來源。**。

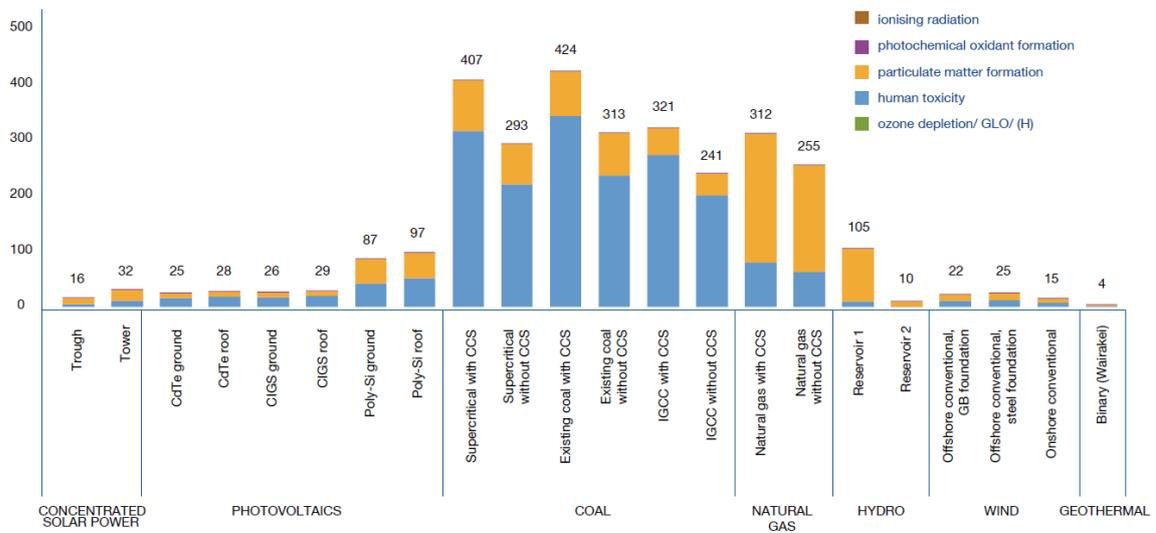


資料來源：UNEP, 2015。

註：地熱發電位於最右欄，為所有發電技術中最低，評定參數為淡水生態毒性、淡水優養化、海洋生態毒性、陸域土壤酸化及陸域生態毒性共五種。

圖 170、各種發電方式對環境生態影響比較圖

本政策亦將規範地熱開發個案環評，應就開發所在位置，依「開發行為環境影響作業準則」、「動物生態評估技術規範」、「海洋生態評估技術規範」及「植物生態評估技術規範」進行生態調查，並依其開發內容及規模，評估分析對水域動植物生態的影響並擬定減輕對策。



資料來源：UNEP, 2015。

註：地熱發電位於最右欄，為所有發電技術中最低，評定參數為電離輻射、光化學物質、懸浮微粒、對人體毒性及臭氧消耗共五種。

圖 171、各種發電方式對人體健康影響比較圖

C. 自然生態景觀及棲地

根據「政府政策評估說明書作業規範」，本項評估是指涉及環境敏感地區(包括自來水水質水量保護區、飲用水水源水質保護區、特定水土保持區、水庫集水區、地下水管制區、國家公園、自然保留區、野生動物保護區、野生動物重要棲息環境、自然保護區、海岸保護區及其他特殊之生態敏感區等)之生態景觀影響或其生態棲地面積之增減情形。

未來在個案場址選定時，仍應依據「開發行為環境影響評估作業準則」規定之環境敏感區位及特地定目的區位限制調查表，進行敏感區位發文查詢，其區位包括自來水水質水量保護區、飲用水水源水質保護區、特定水土保持區、水庫集水區及地下水管制區等，並依所在區位法律之規定辦理。另規範地熱開發之個案環評，應依各開發所在地理位置、設置規模及系統配置，進行景觀美質模擬評估。

(3) 土地資源之利用

A. 土地資源特性之面積數量

評估對資源型土地(資源型土地係指農業生產地區、森林保育地區及水資源保護地區)消耗影響。本政策透過迴避策略預先避開資源型土地，由於地熱資源主要分布於國家公園、自然保留區、森林保育區等土地，與上述資源土地重疊性大，需與政府各部門協調與土地資源整合。另可參考日本環境省於 2012 年公布「國立、國定公園內地熱開發處理規則」，在最低限度影響自然環境等附加條件下，允許在保護的國立或國定公園開發地熱資源，其中「最低限度影響」可依政策協商提出具體規範。

未來在個案場址選定時，仍應依據「開發行為環境影響評估作業準則」規定之環境敏感區位及特地定目的區位限制調查表，進行敏感區位發文查詢，其區位包括農業生產地區、森林保育地區及水資源保護地區等，並依所在區位法律之規定辦理。

B. 土地利用

由於本政策地熱潛能區主要位於大屯山區涉及陽明山國家公園，或是森林保育區等土地管制區，將涉及土地利用型態改變，其與鄰近地區原土地使用情形之影響。除透過迴避策略、與政府各部門協調外，亦需參考日本環境省於 2012 年公布「國立、國定公園內地熱開發處理規則」之作法，在最低限度影響自然環境等前提下有條件開發地熱資源，其中「最低限度影響」可依政策協商提出具體規範。但相較其他發電方式，地熱電廠可透過機組小模組化，其使可應用在空間有限的條件，是具有極高土地使用效益的基載能源，如表 54。

此外，個案環評階段應依「開發行為環境影響評估作業準則」規定進行敏感區位發文查詢，並依所在區位法律之規定辦理。

表 54、各種發電方式用地需求比較表

| Technology | Land use m ² /MW | Land use m ² /GWh |
|--|--------------------------------|---------------------------------|
| 110 MW geothermal flash plant (excluding wells) | 1,260 | 160 |
| 20 MW geothermal binary plant (excluding wells) | 1,415 | 170 |
| 49 MW geothermal FC-RC plant ⁽¹⁾ (excluding wells) | 2,290 | 290 |
| 56 MW geothermal flash plant (including wells, ⁽²⁾ pipes, etc.) | 7,460 | 900 |
| 2,258 MW coal plant (including strip mining) | 40,000 | 5,700 |
| 670 MW nuclear plant (plant site only) | 10,000 | 1,200 |
| 47 MW (avg) solar thermal plant (Mojave Desert, CA) | 28,000 | 3,200 |
| 10 MW (avg) solar PV plant ⁽³⁾ (Southwestern US) | 66,000 | 7,500 |

(1) Typical Flash-Crystallizer/Reactor-Clarifier plant at Salton Sea, Calif.

(2) Wells are directionally drilled from a few well pads.

(3) New land would not be needed if, for example, rooftop panels were deployed in an urban setting.

C. 地理景觀

除透過迴避策略之外，可參考日本地熱發電政策對國立或國定公園的環境影響之減輕對策。電廠建築融合自然景觀之色彩和構造的景觀考量，或附屬設施採半地下化或地下化，以及植栽綠化設置緩衝區等方式，減緩對地形、地貌或某些區域特有景觀之影響。

此外，規範個案於個案環評階段，應依「開發行為環境影響評估作業準則」規定進行敏感區位發文查詢，並依所在區位法律之規定辦理。

D. 土地資源之承載量

地熱除發電外，也可採多目標利用方式開發，如溫室農業栽培、暖氣空調、溫泉沐浴等使用，亦同時兼具觀光、病理治療等經濟價值。因此，地熱開發對土地資源之承載量之影響，如觀光產業發展衍生之交通量、土地使用、用水用電、廢棄物處理等，均需進一步評估與分析。

(4) 水資源體系及其用途

A. 用水標的及分配

地熱開發及發電過程，特別在鑽井作業、冷卻系統及蒸汽製造的輔助設備等有用水量之需求。應以量化評估為主，依總發電裝置容量推估總用水量，評估用水標的之調整、或用水分配數量之改變，其與調整或改變後對鄰近地區使用情形之影響。

未來在個案場址選定時，仍應依據「水利法」及「溫泉法」之開發與水權規定，辦理水權之取得。

B. 用水排擠效應

本政策範圍有許多土地與溫泉開發區域互相重疊，而地熱發電鑽井深度遠大於溫泉井，且用水量大，較大型地熱電廠用水量可能達到每小時 100 公噸以上。基於保護產業發產之故，地熱發電廠仍與溫泉觀光產業之間存在水資源取得之競合問題。未來需透過詳細之地熱水體抽用補注對地下水影響之數值模擬進行評估。

C. 水資源(含地面水、地下水、海水淡化等)

地熱開發及發電過程，特別在鑽井作業、冷卻系統及蒸汽製造的輔助設備等有用水量之需求。應以量化評估為主，依總發電裝置容量推估總用水量，評估各種水資源使用數量及取得來源，以及水資源涵容量。

未來在個案場址選定時，仍應依據「水利法」及「溫泉法」之開發與水權規定，辦理水權之取得。

(5) 國際環境規範

氣候變化綱要公約於 1992 年 6 月由 150 餘國領袖簽署通過，其對「人

為溫室氣體」排放做出全球性管制目標協議，對溫室效應所形成的全球氣候暖化問題加以規範，並於 1994 年 3 月 21 日正式生效。透過執行公約內容，所有簽署國即可共同管制全球溫室氣體的排放量，也就是減少石化燃料的使用，並降低溫室效應。我國國家溫室氣體減碳政策目標為 2025 年減量到 2000 年的水準，2050 年回到 2000 年排放量的 50%，而大屯山地熱發電政策為達成我國溫室氣體減碳政策之一環。

A. 地熱發電溫室氣體(CO₂)排放係數

在分析各項電力的實際碳排放量時，常以整體生命週期(Life Cycle Assessment, LCA)溫室氣體排放量做為參考，其包含燃料開採、精煉、運輸、電廠興建、運轉、後端處理與除役等階段的能源消耗與 CO₂ 排放。美國 LCA Harmonization 資料庫整理全球文獻中傳統閃發式地熱發電(Flash Steam, FL)與 EGS 發電排放係數如表 55、所示，若同以 2010 年文獻進行比較，FL 地熱電廠 CO₂排放係數平均約為 40 kg/MWh，而 EGS 平均則為 55 kg/MWh，約低於我國目前公告電力係數之 10% 以下。

表 55、地熱發電溫室氣體排放係數表

| 地熱發電廠類別 | CO ₂ 排放係數 (kg/MWh) | 參考來源 |
|-------------|----------------------------------|-------------------|
| Flash Steam | 15 | Hondo, 2005 |
| Flash Steam | 35 | Karlsdottir, 2010 |
| Flash Steam | 45 | Karlsdottir, 2010 |
| Flash Steam | 5.6 | Rule, 2009 |
| EGS | 57.5 | Frick, 2010 |
| EGS | 54.9 | Frick, 2010 |
| EGS | 79 | Rogge, 2003 |
| EGS | 23.08 | Uchiyama, 1997 |

資料來源：環境工程會刊，2016。

由於 EGS 廠相較於 FL 廠，鑽井深度較深，所需耗用之鋼鐵及水泥物料亦較多，以至排放係數較高。以本政策預計至 2025 年總發電裝置容量達 200MW 為例，採用生命週期評估法計算溫室氣體年排放量介於 5.6~7.7 萬公噸之間(以 7,000 小時計算)。依據經濟部能源局公告民國 105 年電力排放係數 0.529kgCO₂e/度，推估 2025 因地熱發電而減少之石化燃料發電二氧化碳排放量約為 68.77 萬公噸，如表 56、所示，扣除地熱發電自身之二氧化碳排放，年淨減排量約介於 61.0~63.1 萬公噸之間[68.77-(5.6~7.7)]。

表 56、地熱發電減碳量估算表

| 年度 | 2015 | 2016 | 2020 | 2025 |
|-----------|------|------|-------|-------|
| 裝置容量(MW) | 0 | 0 | 150 | 200 |
| 發電量(億度) | 0 | 0 | 10 | 13 |
| 年減碳量(萬公噸) | 0 | 0 | 52.90 | 68.77 |

註：年減碳量=年發電量×105 年電力排放係數

B. 地熱發電溫室氣體(CO₂)排放係數與其他發電方式比較

IPCC 再生能源與減緩氣候變化特別報告(SRREN)中將各種能源生命週期之溫室氣體排放數值比較；地熱發電之平均排放係數約為燃氣發電的 9.5%，燃煤發電的 4.4%。美國 LCA Harmonization 資料庫整理全球文獻中地熱發電排放係數與其他發電方式(核能、天然氣、燃煤)生命週期之溫室氣體排放比較如表 57、所示。

表 57、不同發電方式生命週期之溫室氣體排放比較表

| 發電廠類別 | CO ₂ 排放係數 (kg/MWh) | 參考來源 |
|-------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Geothermal(Flash Steam) | 35 | Karlsdottir, 2010 |
| Geothermal(Flash Steam) | 45 | Karlsdottir, 2010 |
| Geothermal(EGS) | 57.5 | Frick, 2010 |

| | | |
|----------------------|---------|-----------------------|
| Geothermal(EGS) | 54.9 | Frick, 2010 |
| Nuclear(HWR) | 19 | Badea, 2010 |
| Natural Gas(LNGCC) | 523.7 | Skone and James, 2010 |
| Natural Gas(NGCC) | 466.6 | Skone and James, 2010 |
| Coal(IGCC) | 931 | NETL, 2010b |
| Coal (Pulverized) | 1,108.9 | NETL, 2010a |
| Coal (Supercritical) | 943.5 | NETL, 2010c |

資料來源：LCA Harmonization, <http://en.openei.org/apps/LCA/>

(6) 社會經濟

A. 人口及產業

臺灣位處於環太平洋火山地震帶，擁有豐富的地熱資源，其中以東北部及花東地區蘊含較豐富之地熱資源，且地熱發電供應穩定，可視為基載能源選項。政府過去大量開發溫泉資源以促進旅遊和經濟發展，對於具發電潛能的地熱資源著墨甚少。

除可用來發電外，地熱尾水還可適用於許多產業，例如工業用途的產品乾燥、冷凍冷藏；農業用途的溫室栽培、食品加工；商業用途的觀光、溫水游泳池、理療等，都是很有潛力的地熱利用途徑。

發展地熱發電應具多目標利用之思維，結合電廠周邊之資源，搭配地方特色及完善的配套措施(如交通運輸、政策宣導等)，預期將帶動周邊產業產值及綠能就業機會。此外，本政策規範地熱開發之個案環評，應就各開發資訊及區位，進行社會經濟調查，且針對施工及營運階段，對當地活動人口及產業進行評估。

B. 交通運輸

由於地熱資源主要分布於國家自然保護區、溫泉區且涵蓋原住民族傳統領域等，本政策對於交通運輸影響評估內容主要為管控地域運輸總量，保護自然景觀及維持遊憩品質，避免大量車輛進出發電區

及其附屬設施，規劃與周邊區域等提供轉運或接駁機能相互結合。

此外，地熱開發之個案環評應依各開發資訊及區位，針對施工及營運期間之載具類型及數量等進行交通運輸評估，並考量大型機具之作業安全。

C. 原民傳統文化

從土地管理制度來看原住民族傳統領域，與現有各種資源保育地區（如國家公園、國家自然公園、自然保留區、野生動物保護區及野生動物重要棲息環境、自然保護區等）高度重疊。因此傳統領域(部落所在地、農耕地、獵場、漁場、聖地、海域與河流等)的發展受到現行相關土地管理制度的限制。

本政策規範個案環境影響評估階段，應於區域開發所在地理位置，依「原住民族基本法」之規定進行開發，並透過說明會與部落會議機制，將地熱發電之利益與原住民共享。

D. 經濟效益(地熱發電產業)

地熱開發計畫，短期而言可吸引國際級專業團隊與國內企業合作發展地熱發電產業，活絡外商投資及能源產業發展，以降低環境風險較高的進口能源使用比例；長期而言可促進臺灣社會資本投入「低碳經濟」的友善環境建設，以地熱多目標利用的「循環經濟」方式降低氣候變遷調適的社會成本。

地熱發電涵蓋探勘、鑽鑿、材料、ORC 發電機、地熱田監控等相關技術，因此地熱發電政策可為這些技術相關產業挹注經濟能量。以 2025 目標量 200MW；躉購費率每度 5 元；年發電量 7,000 小時(容量因數約 80%)計算，屆時地熱發電之產值將可達每年 70 億元之規模。

E. 公共設施與社區發展

地熱開發對於公共設施之影響可藉由選址規劃時事先以用 GIS 圖層套疊方式，排除本政策對相關公共設施之影響，同時也是本政策與替代方案之間的最大差異，避免開發商與相關公共設施在選址後發生衝突。後續仍將經政策研商會議邀集各公共設施主管機關，建立後續連繫管道與平台，未來如有資料更新，將持續滾動式檢討，避免本政策與公共設施間相互影響。

F. 民眾意見與社會接受度

民眾意見與社會接受度的評估可透過各類型的公眾參與機制納入意見徵詢(錯誤! 找不到參照來源。)，由於位於陽明山國家公園之開發區位涉及公部門單位主管事項與各專業領域之考量，因此本年度先以舉辦專家諮詢會議徵求專業意見納入政策內容後進行政策評估。

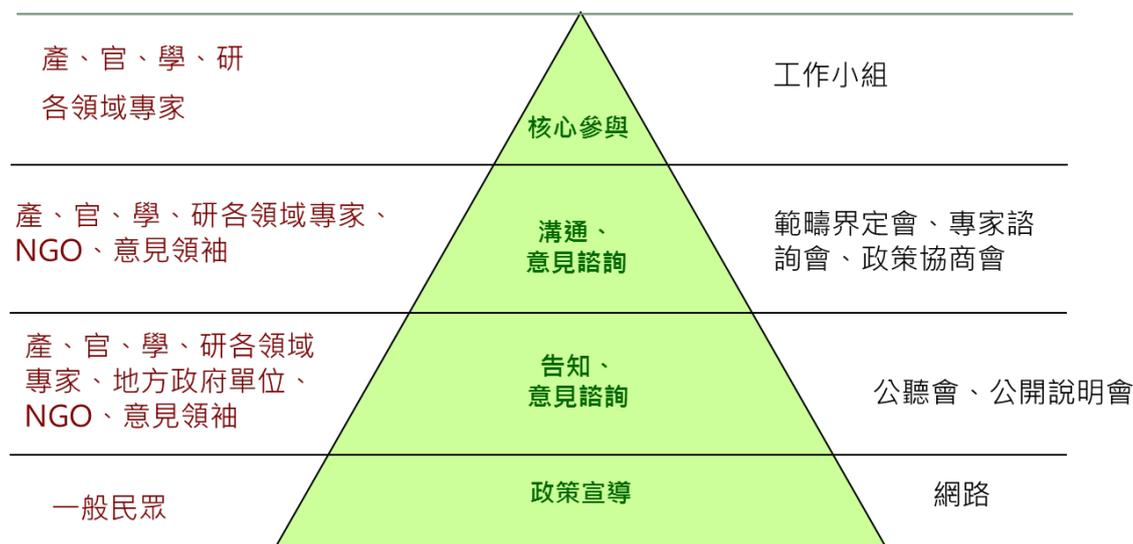


圖 172、政策評估公眾參與架構與方法

※ 專家諮詢會議

第一次專家諮詢會議

本計畫於 106 年 7 月 6 日邀集國立中央大學應用地質研究所李錫堤教授、國立中央大學地球科學學系王乾盈教授、國立臺灣大學地質科學系宋聖榮教授、國立臺灣師範大學地理學系李素馨教授、經濟部中央地質調查所李錦發組長、國立臺灣大學生態學與演化生物學研究所李培芬教授及國立中山大學環境工程研究所高志明教授等各界專家學者，針對台灣地熱資源之地質結構、地熱潛能、環境生態及安全評估等議題進行諮詢意見，作為後續擬定政策環評編擬及評估項目內容之參考，彙整並摘要各方重要意見如表 58、所示。

表 58、第一次專家諮詢會議意見摘要

| 專長領域 | 單位 | 專家學者 | 重要意見 |
|-----------|---------------|-------|--|
| 大地應力與工程地質 | 國立中央大學應用地質研究所 | 李錫堤教授 | 1.建議開發區位遠離大型斷層為優先。 2.建議開發區位遠離山崩潛勢區為優先。 |
| 地震與地熱資源 | 國立中央大學地球科學學系 | 王乾盈教授 | 1.可優先發展小型地熱開發，將溫泉、地熱尾水聯合再利用。 2.設立地熱專區(同科學園區規劃方式)，由政府統一規劃專區共同實施環評，以增加廠商投資意願。 3.參考日本地熱發展近程，以及目前遇到之法規競合問題。 |
| 火山與地熱 | 國立臺灣大學地質科學系 | 宋聖榮教授 | 1.需先釐清政策環評與個案環評之區別，是否擬定政策環評後，個案環評就不須這麼嚴格？ 2.環保署公聽會，實施環評認定標準以正面表列認定，其裝置容量達 10MW 以上須進行地熱開發環評(預計年底會過)。若該認定標準通過後，須考量未來分散式每個設置 10MW 以下免環評對環境之影響。 3.可依離岸風電區塊開發經驗，提出開發優先順序及其依據為何？建議如下： (1)提供精確的地熱潛能數據，以最新技術雙循環發電系統評估台灣地熱潛能，作為未來融資時，具有高可信度的佐證資料。 (2)須有高解析度的地質探勘工具，對該區做精確的熱能前在評估，以對外提供較說服力的依據。 (3)以電網服務範圍為優先順序、在地化電力供應為優先考量。 |
| 景觀 | 國立臺灣師範大學地理學系 | 李素馨教授 | 1.需考量累積加成對環境的影響。 2.地熱區大屯山屬國家公園用地，其他區域亦於風景區、 |

| 專長領域 | 單位 | 專家學者 | 重要意見 |
|------|------------|-------|---|
| | | | 遊憩區，需先跨部會協商，商討適法性及土地使用分區等議題。 3.有明確的開發配置設施以及使用量體後，再一起評估對環境的影響有多大。 4.以環境教育方式，讓民眾瞭解地熱資源對能源環境友善性，產生額外效益。 5.安全性問題(如誘發地震)、生態衝擊問題(如硫磺泉產生硫化物氣體及微熱氣)。 6.小區域供電併網問題。 |
| 環境地質 | 經濟部中央地質調查所 | 李錦發組長 | 1.地熱不受天候影響，以台灣地形地質條件來看，適合發展地熱資源。 2.須解決地震(台灣地震頻繁不是主要問題)及用水需求問題。 3.須有 3~5 年地質調查，以建立地下水文/地質模式等預測評估工具。 4.須持續收集井下資料(如溫度)及建立全台灣空中實測資料。 |

第二次專家諮詢會議

由於大屯火山區為我國地熱資源最豐富之區域，評估其發電潛能高達 514MW，故政府未來擬採集中式開發策略推動大屯火山區之地熱發電。因此第二次專家諮詢會議主要針對大屯山地熱開發進行討論。

本次會議於 106 年 9 月 29 日舉行，邀請國立中央大學應用地質研究所李錫堤教授、國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系徐啟明教授、國立臺灣師範大學生命科學系李佩珍副教授、萬能科技大學營建科技系楊紹洋教授、國立臺灣大學森林環境暨資源學系丁宗蘇教授、輔仁大學景觀設計系所王秀娟教授及國立成功大學環境工程學系吳義林教授等專家學者對大屯山地熱推動提出諮詢意見，意見摘要詳見表 59。

表 59、第二次專家諮詢會議意見摘要

| 專長領域 | 單位 | 專家學者 | 重要意見 |
|-----------|---------------|-------|--|
| 大地應力與工程地質 | 國立中央大學應用地質研究所 | 李錫堤教授 | 1. 就以長遠發電規模來看，傳統地熱與深層地熱應併行推動；就以區域位置來看，除考量大屯山國家公園外，亦須針對國家公園外之四磺子坪、馬槽等地熱徵兆區，一併推動地熱開發。 2. 建議整理過去在大屯山系地質探測、鑽探等資料。 |

| 專長領域 | 單位 | 專家學者 | 重要意見 |
|--------|--------------------|-----------------|---|
| | | | <ol style="list-style-type: none"> 3. 簡報(p.16)地熱徵兆區(紅色框標註),其地質構造分段點與地熱徵兆範圍界定,可參考過去研究報告(葉保安 碩士論文),以強化該地區具地熱徵兆範圍之佐證。 4. 國家公園內之土地類別、土地使用分區等管制,須以政策協商進行土地變更申請。 5. 地熱徵兆範圍應考量更大的範圍,其包含其他具有地熱徵兆地區(深層地熱),使具有政策的上位精神。 6. 納入用水水源、量體需求等考量,可利用流域蓄水方式,以滿足用水需求,避免與民搶水。(水資源利用與管理) 7. 建置地質應變觀測系統,持續監測地質應變特性,預防因應誘發地震之發生。(地質災害) 8. 選址應避免如山崩、土石流、邊坡穩定性地質敏感地區。 9. 台北地區地質相關研究,參考 鄧屬予 淡水河研究(收錄於師大地質)。 |
| 自然環境 | 國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系 | 徐啟明教授 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 蒐集國外有關地熱電廠緊急應變防災及工安事故案例(如硫化氫中毒)。 2. 須提供完整地熱區位、發電潛能等基本資料。 3. 可結合環境教育、觀光遊憩等熱點。 4. 考量地熱開發與溫泉業者溫泉水排擠效應。 5. 先排除和大屯山無關的議題(如文化資產、土地利用等)。 |
| 生態 | 國立臺灣師範大學生命科學系 | 李佩珍副教授 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 調查評估的社會成本、時間成本均須考量,並量化無形成本。 2. 以動物本體的角度來看生態問題,相應以動物行為提出正確的數據去強化論述點。 3. 以攔腰截斷的落點問題,須整體考量生態整體性,非僅限制於一處的影響。 4. 以生態保護的角度來看,最好的方案就是零方案,亦須納入政策環境評估書中,且敘說地熱發電占能源占比 1% 的開發必要性。 5. 有案例在國家公園或自然保護區,他國如何執行地熱發展? |
| 土壤與地下水 | 萬能科技大學營建科技系 | 楊紹洋教授 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 先期調查的完整性攸關地熱發電效率及地質安全性;此外,地下水流向的詳細調查,可瞭解對於現有溫泉的影響。 2. 可藉由地質、地下水導到正確的方向,避開環境敏感地區。(選址重要性) 3. 建議考量深層地熱開發,在開發規模、用水量、地質安全等影響對環境衝擊最小。 4. 開發的重點在於水資源利用,地面地表水、溫泉水如何聯合利用,以地熱尾水、溫泉水循環互補再利用,降低溫泉業者的溫泉水排擠效應。 |
| 生態 | 國立臺灣大學森林環境暨資源學系 | 丁宗蘇教授 (書面意見) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 如果台灣政府目前逐步停止核能發電並以綠色電力取代的政策不變,地熱發電是是台灣必須要積極開發的新興能源形式。 2. 相較於目前台灣政府正在運行或積極推動的綠色電力(水力發電、陸域風機、離岸風機、太陽能光電),對動植物生態及自然環境而言,地熱發電很可能是衝擊最小的一種綠色電力來源。地熱發電較不會影響生物,所需土地範圍也較小,適合地狹人稠的台灣。且地熱發電可提供基載電 |

| 專長領域 | 單位 | 專家學者 | 重要意見 |
|------|--------------|-----------------|--|
| | | | <p>力，彌補風電及光電不穩定的缺點。</p> <p>3. 台灣目前正積極推動的離岸風電及鹽灘地太陽能光電，很大的一個問題是<躁進>，在基本資料及評估未完備之前，即已拍板決策推動。很多可能的生態衝擊都不易評估，只能先推動再看實際衝擊。希望地熱發電的開發，可以避免這問題。</p> <p>4. 目前地熱發電潛能區的評估，似乎是停留在二十多年前的資料。是否有更新的盤點資料呢?如果沒有，應該盡速進行調查及盤點。</p> <p>5. 地熱發電的一般開發面積及開發量體，應該再進一步說明，以利初步評估在各方面的可能衝擊。</p> <p>6. 目前已列出的地熱發電潛能區，大多就是知名的溫泉區。地熱發電是否會影響到當地溫泉的泉量及泉質，是當地民眾最想知道的問題。請將強說明地熱開發技術對鄰近溫泉的可能衝擊，因為溫泉是這些鄰近社區所賴以生存的資源。</p> <p>7. 目前已列出的地熱發電潛能區，大多也是風景觀光區。地熱發電的電力傳輸應優先考慮以地下輸電線路傳輸，而非架空輸電線路。</p> <p>8. 大屯山雖然是目前初步評估地熱發電潛能最大的地區，但是開發位置很可能位於陽明山國家公園範圍內，且地質地熱景觀是陽明山國家公園的設置理由與保育目標之一，會有與國家公園法衝突的問題。即使避開陽明山國家公園範圍(如亞洲水泥廠與太魯閣國家公園)，可以預期會有很大的民眾反感與抗爭。的確是不適合列出優先推動的場址。</p> <p>9. 初步開發應秉持(1)驗證技術及產能的可行性、(2)有較完備的先期調查資料、(3)遠離社區聚落並避開風景區的小規模開發原則。同時也應推動其他可能場址的基本資料收集。待初步成功後，再逐步推動其他廠址。不要操之過急。</p> |
| 景觀 | 輔仁大學景觀設計系所 | 王秀娟教授 (書面意見) | <p>1. 地熱發電是否有最小經濟規模與廠區空間規模。</p> <p>2. 對環境可能的衝擊有哪些。</p> <p>3. 其發電量在所有再生能源中倒數第二，與其他相距甚遠，開發之必要性需再說明。</p> |
| 自然環境 | 國立成功大學環境工程學系 | 吳義林教授 (書面意見) | <p>1. 因為地下水之抽引而造成之地質影響。</p> <p>2. 發電後排水對環境之可能影響，尤其是重金屬、放射性物種、非地表菌種與物質。</p> <p>3. 地震等意外時之可能影響。</p> |

(7) 地質安全

地熱開發對於地質安全之影響可藉由選址規劃時事先以 GIS 圖層套疊方式，排除本政策對地熱開發可能引起地質災害之風險。地熱電廠的選址主要環境風險在於地質脆弱區域的山崩、土石流潛勢區、河岸侵蝕、斷

層錯動等地質敏感區；另外，地熱發電由於長期抽取區域性之深部地質流體至地表進行循環，可能誘發地震等地質災害。應以量化評估為主，依地熱開發之不同階段(施工營運維護等階段)對環境地質之風險度評估，並提出減輕對策後之風險度比較。

未來在個案場址選定時，仍應依據「開發行為環境影響評估作業準則」規定之環境敏感區位及特地定目的區位限制調查表，進行敏感區位發文查詢，其區位包括地質構造不穩定區(活動斷層、地質災害區)或河岸、海岸侵蝕地帶、地質法公告之地質敏感區及開發基地面積百分之五十位於百分之四十坡度以上等，並依所在區位法律之規定辦理。

(8) 減輕或避免環境影響之因應對策

政策評估需針對大屯山地熱開發可能造成不利影響之環境因子提出因應對策，其餘環境因子由於影響程度輕微，並不因為地熱開發政策造成不利影響，可於個案層級針對區域特性提出。

A. 環境涵容能力

(A) 空氣

- a. 於個案環評階段，依其所設置規模與區位，進行施工階段空氣品質模擬分析，包括 PM_{2.5} 細懸浮微粒之評估項目，評估空氣污染物增量與背景濃度合成後是否超出當地空氣品質標準。
- b. 鑽井作業或地熱發電過程，應於井口設置氣體監測儀器(CO₂、H₂S 及 CH₄ 等不凝結氣體)監測其物質濃度，並加裝壓井閥、控制閥或防噴器等措施，防止地層氣體發生逸散之情事發生。
- c. 為避免粉塵逸散性物質(如工程材料、砂石、土方或廢棄物)、裸露地表、行車路徑等可能發生揚塵之媒介，所採行有效抑制粉塵之預防措施：
 - (a) 覆蓋防塵布(網)或其他不透氣覆蓋物緊密覆蓋，阻絕逸散途徑、抑制揚塵發生。
 - (b) 運送車輛進出大門口時，利用灑水淨胎或設置洗車台方

式，以減少揚塵或土石污損外部聯絡道路。

- (c) 定期檢查運送車輛之排氣，是否符合排放標準；若未符合，於車輛機具加裝濾煙器或活性碳過濾或其他施工時已商業化之最佳可行控制技術。
- d. 選用狀況良好之施工機具及運輸車輛，作好定期、不定期保養維護工作，並留存保養記錄，以減少排放廢氣之污染物濃度。
- e. 施工期間使用符合最新一期車輛排放標準的施工車輛，且應定期實施保養，以減低污染物之排放。
- f. 運維中心之公務車輛於營運年採購時優先購買使用市售已商業化電動車或油電混合車，並於運維中心停車場預留電動機、汽車充電座。

(B) 水體

- a. 於個案環評階段，依其設置規模與區位並視當地環境條件進行水質模擬，以量化評估施工過程所逸出之砂泥擴散干擾河川水質之影響程度。此外，評估發電期間所產生之溫排水(或熱尾回注水)排放增量及擴散情形對河川水(含地下水)水溫水質之影響程度。
- b. 裝設防噴器，減緩井噴現象所帶來之環境衝擊(如蒸氣、溢流、火災等)。
- c. 調整水泥漿性質及配比(如添加無毒害之泥漿添加劑)，有利於穩定井壁、降低井崩，降低水層間交互污染及減少地層氣體發生逸散。
- d. 鑽井作業實施防止泥沙洩漏的措施，其廢水應妥善處理。
- e. 鑽井及洗井過程，需設置泥漿循環處理系統，分離泥漿水使之泥漿儲存或再使用，剩餘雜質、岩屑經脫水、固化後，妥善封裝後棄運至合格土質場處置。

- f. 觀測與監測地下水位：防止污染擴散、土壤流失及地層變形等。必要時，採取截水、補注地下水位或改良土壤性質等防護措施，避免流場、水量改變而造成鄰地塌陷或污染水體水質。
- g. 下雨時所採行有效抑制逕流廢水污染之預防措施：
- (a) 裝設防溢座、沉砂池等設施，且須符合設置標準；以避免污染物藉由逕流而污染地面水體。
 - (b) 施工機具之維修廢(油)水及運送車輛之洗滌水等廢污水，須經妥善處理後，儘以回收水循環再使用，或經合格處理業者處理，符合排放標準後始排放。
 - (c) 設置臨時污水處理設施、滯洪池、沉砂池等並加強水土保持維護與管理，避免因土壤流失而引起附近水域濁度之增加。
 - (d) 適逢雨季來臨時，應視需要鋪設防水布，避免逕流水攜出大量泥沙而影響附近承受水體水質。
- h. 冷卻水系統因攜熱而造成溫升，故溫排水放流須符合「放流水標準」中溫度之排放標準。
- i. 處理一般生活污水及維修廢水等處理量，須經妥善處理達排放標準後，部分放流水提供廠內綠化澆灌使用，其餘可做廠內用水，或放流至承受水體當中。
- j. 地表逕流及基礎施工所產生之廢水須設置臨時沉澱及沉砂設備回收污水，或符合營建放流水標準後放流，實際尺寸及位置將依據現場實際之需求來進行設置。
- k. 施工前檢具「逕流廢水污染削減計畫」，報經主管機關完成核備並據以實施。

(C) 噪音

- a. 規範地熱開發之個案環評，依其設置規模與區位，針對營建噪音及營運期間之發電機組噪音進行量化分析，且施工噪音應符合營建工程噪音管制標準；另，營運後地熱發電機組噪音則應

符合工廠(場)噪音管制標準。

- b. 鑽井時，若操作過程有超過噪音標準之情事，加裝隔音牆阻擋傳音途徑、選用低噪音抗振材料之施工機具或避免施工機具集中使用。
- c. 操作人員執行儀控操作、機組維護時，需有隔離室及耳罩、耳塞等隔音設備。

(D) 非游離輻射

- a. 輸電線路路徑避開生態環境敏感區位及人口密集區域。
- b. 於個案環評階段，應依其設置規模與區位進行電磁場模擬分析，其模擬合成值須符合環保署公告之「限制時變電場、磁場及電磁場暴露指引」參考位準值。

B. 陸域生態

(A) 規劃階段

規範地熱開發之個案環評，應就開發所在位置，依「開發行為環境影響作業準則」、「動物生態評估技術規範」及「植物生態評估技術規範」進行生態調查，並依其開發內容及規模，評估分析對陸域動植物生態的影響(如棲息、繁殖及覓食等)並擬定減輕對策。

(B) 施工階段

不做大規模整地，順應原地形地貌、採分期分區施工方式，減輕地表裸露對動物棲息地之影響。

(C) 營運階段

- a. 定期維護綠帶，不使用除草劑及噴灑殺蟲劑等，以避免危害生物多樣性。

- b. 計畫周界之圍籬顏色可配合鄰近環境色彩，或利用網罩防止鳥類的碰撞。

C. 水域生態

(A) 規劃階段

規範地熱開發之個案環評，應就開發所在位置，依「開發行為環境影響作業準則」、「動物生態評估技術規範」、「海洋生態評估技術規範」及「植物生態評估技術規範」進行生態調查，並依其開發內容及規模，評估分析對水域動植物生態的影響並擬定減輕對策。

(B) 施工期間

鑽井廢水應妥善處理，不排放到地表。

(C) 營運階段

擬定適當的植栽復原計畫，避免雨水土壤沖蝕而間接影響地表逕流導致水土保持不當。

D. 景觀美質

(A) 於個案環評階段，依各開發所在地理位置與設置規模進行景觀美質模擬評估。

(B) 若對鄰近環境有不相容之部分則應用生態工法打造自然環境：

- a. 設置綠帶緩衝區，以減緩視覺衝擊。
- b. 植栽以外之設施工法應符合自然環境元素，保持土地透水性，減少鋪面鋪設。
- c. 計畫周界之圍籬顏色可配合鄰近環境色彩，或利用綠圍籬等植栽，減輕環境不相容性。
- d. 以綠建築為指標打造生態循環電廠(以全回收、零排放為目標)。

E. 社會經濟

- (A) 於個案環評階段，應就各開發資訊及區位，進行社會經濟調查，且針對施工及營運階段，對當地活動人口及產業進行評估。
- (B) 隨著綠色能源的需求度增加，可吸引國際級專業團隊與國內企業合作發展地熱發電產業，活絡外商投資及能源產業發展，以降低環境風險較高的進口能源使用比例；同時可促進臺灣社會資本投入「低碳經濟」的友善環境建設，以地熱多目標利用的「循環經濟」方式降低氣候變遷調適的社會成本。

F. 交通運輸

- (A) 針對施工及營運期間之載具類型及數量等進行交通運輸評估，並考量大型機具作業安全之風險評估及對策擬定。
- (B) 需規劃運送動線、車次、行駛時間及其他因素，以減輕交通運輸對環境之衝擊：
 - a. 機動調整行駛時間，避開尖峰交通流量。
 - b. 嚴格管制運送行駛路線，並避免於非施工區之停車，而影響車流之順暢。
 - c. 施工期間將隨時注意各項交通設施(標線、標誌、號誌)之維護，以保持清晰完整及有效性。
 - d. 設置工程告示牌，提醒車輛改道。
 - e. 定期保養運送車輛。
- (C) 營運期間規劃與周邊區域等提供轉運或接駁機能相互結合，有效管控地域運輸總量，以保護自然景觀及維持遊憩品質。

G. 地形地質

- (A) 建置微震監測網絡：監測開挖井之地層潛變、錯位、擠壓等結構變化，藉由地球物理調查係使用震測、導電性、溫度或放射性等方式回傳之資料，來預測、評析、研判其防護措施之安全性，以

控制井體與地層間應力之平衡，避免造成井噴及誘發地震等現象。

- (B) 依現行之工程技術降低誘發地震之規模。
- (C) 發電機組與地板間有隔震防護，以降低其影響。
- (D) 營運期間納入地質安全監測計畫，建置微震監測網絡，長期監測地層潛變、錯位、擠壓等結構變化，防止地層下陷造成地質災害並擬定減輕對策。

H. 基礎建設規劃

- (A) 輸電線路併網規劃
- (B) 道路新闢規劃

I. 除役規劃

- (A) 規範開發商於申請地熱開發階段提出除役計畫，包括檢測井口基礎強度，檢核有無繼續發電使用，或保留供新機組使用之可能。
- (B) 評估除役後，轉型環境教育館、經濟產品等多目標用途之可能，及提出環境影響說明。

J. 環境監測計畫

- (A) 規劃設計階段，於審查通過至實際動工前，應調查或蒐集地質、氣象、水文等資料，並就空氣品質、噪音振動、河川(含地下水)水質、及陸域生態及鳥類生態先行進行調查，以能蒐集足夠之環境背景資料，供後續進入施工期間分析比對。
- (B) 施工階段監測計畫，應調查或蒐集地質、氣象、水文等資料，並進行空氣品質、噪音振動、河川(含地下水)水質及陸域生態及鳥類生態等監測作業。
- (C) 營運階段監測計畫，應調查或蒐集地質、氣象、水文等資料，並

針對低頻噪音、鳥類生態、陸域生態、電磁場調查及陸域地形及地質調查作業。

應就歷次監測結果進行統計及趨勢分析、與預測影響結果進行比對，並將調查結果提送環保署。

(9) 政策評估矩陣表

依據「政府政策評估說明書作業規範」第六條規定政策評估作業應附矩陣表(如表 60、)，由矩陣逐項評估對各環境受體之影響，其評估之範圍分地域性、全國性及全球性，茲說明如下：

地域性：指僅涉及我國局部範圍者。

全國性：指影響涉及全國普遍之環境負荷。

全球性：指涉及國際性環境保護公約、影響擴及我國以外或越境處理、跨國輸送及相關輸出、輸入者。

政策評估矩陣表中所應評估之項目與內容經範疇界定會議確認後，根據各因子影響程度予以評定，並表列因應對策說明，對策得視政策性質含括總量管制策略、資源分配、資源復育、開發區位規劃、環境管理、環境監測、追蹤考核等，以作為未來開發之個案地熱發電環評上位指導方針，最後依分項評估之結果，作出結論及建議。

表 60、政策評估矩陣表

| | 政策評估項目、內容 | 地域性 | 全國性 | 全球性 | 因應對策說明 | 評定 | 備註 |
|-----------|--|-----|-----|-----|--|----|----|
| | | 評定 | | | | | |
| 一、環境之涵容能力 | (一)空氣 <input type="checkbox"/> 懸浮微粒(TSP 及 PM ₁₀) <input type="checkbox"/> 二氧化硫(SO ₂) <input type="checkbox"/> 二氧化氮(NO ₂) <input type="checkbox"/> 臭氧(O ₃) <input type="checkbox"/> 鉛(Pb) <input type="checkbox"/> 一氧化碳(CO) | — | ○ | ○ | 1. 覆蓋防塵布(網)或其他不透氣覆蓋物緊密覆蓋，阻絕逸散途徑、抑制揚塵發生。 2. 運送車輛進出大門口時，利用灑水淨胎或設置洗車台方式，以減少揚塵或土石污損外部聯絡道路。 3. 定期檢查運送車輛之排氣，是否符合排放標準；若未符合，於車輛機具加裝濾煙器或活性炭過濾或其他施工時已商業化之最佳可行控制技術。 | ○ | |
| | (二)水體(地下水)水質 <input type="checkbox"/> 氫離子濃度指數(pH) <input type="checkbox"/> 溶氧量(DO) <input type="checkbox"/> 生化需氧量(BOD) <input type="checkbox"/> 懸浮固體(SS) <input type="checkbox"/> 大腸桿菌群 <input type="checkbox"/> 氨氣(NH ₃ -N) <input type="checkbox"/> 總磷(TP) | — | ○ | ○ | 1. 裝設防溢座、沉砂池等設施，且須符合設置標準；以避免污染物藉由逕流而污染地面水體。 2. 施工機具之維修廢(油)水及運送車輛之洗滌水等廢污水，須經沉砂池處理後，儘以回收水循環再使用，或經合格處理業者處理，符合排放標準後始排放。 3. 設置臨時污水處理設施、滯洪池、沉砂 | ○ | |

| 政策評估項目、內容 | 地域性 | 全國性 | 全球性 | 因應對策說明 | 評定 | 備註 |
|---|-----|-----|-----|--|----|----|
| | 評定 | | | | | |
| <input type="checkbox"/> 總氮(TN) <input type="checkbox"/> 硝酸鹽氮(NO3--N) <input type="checkbox"/> 導電度(EC) <input type="checkbox"/> 氰化物(CN-) <input type="checkbox"/> 酚類 <input type="checkbox"/> 陰離子界面活性劑(ABS) <input type="checkbox"/> 重金屬 <input type="checkbox"/> 農藥 | | | | 池並加強水土保持維護與管理，避免因土壤流失而引起附近水域濁度之增加。 4.適逢雨季來臨時，應視需要鋪設防水布，避免逕流水攜出大量泥沙而影響附近承受水體水質。 | | |
| (三)土壤 <input type="checkbox"/> 重金屬 <input type="checkbox"/> 有毒化學物質 <input type="checkbox"/> 農藥 <input type="checkbox"/> 化學肥料 | ○ | ○ | ○ | 經評估後，本政策未影響土壤之環境涵容能力。 | ○ | |
| (四)廢棄物處理 <input type="checkbox"/> 一般廢棄物 <input type="checkbox"/> 事業廢棄物 | — | ○ | ○ | 1.依「廢棄物處理法」相關規定辦理廢土棄運時，須經合格業者檢驗重金屬成分，符合檢驗標準後，方能棄運至指定合法土質場傾倒；另廢建材則委託當地代清除處理機構定期清除處理，屬資源性之廢棄物則予以回收。 2.配合環保署之事業廢棄物申報系統網路資訊，建立廢棄物清運管理紀錄，供隨時查核，包括廢棄物項目及數量、成分、清運日期及上網申報遞送聯單紀錄等。 | ○ | |
| (五)噪音 | — | ○ | ○ | 1.鑽井時，若操作過程有超過噪音標準之情事，加裝隔音牆阻擋傳音途徑、選用低噪音抗振材料之施工機具或避免施工機具集中使用。 2.操作人員執行儀控操作、機組維護時，需有隔離室及耳罩、耳塞等隔音設備。 | ○ | |
| (六)非游離輻射 | — | ○ | ○ | 輸電線路路徑避開生態環境敏感區位及人口密集區域。 | ○ | |
| 二、自然生態及景觀 (一)陸域生態 <input type="checkbox"/> 動物 <input type="checkbox"/> 植物 | — | ○ | ○ | 1.規劃階段 應依其開發內容及規模，評估分析對陸域動植物生態的影響(如棲息、繁殖及覓食等)並擬定減輕對策。 2.施工階段 不做大規模整地，順應原地形地貌、採分期分區施工方式，減輕地表裸露對動物棲息地之影響。 3.營運階段 (1)定期維護綠帶，不使用除草劑及噴灑殺蟲劑等，以避免危害生物多樣性。 (2)計畫周界之圍籬顏色可配合鄰近環境色彩，或利用網罩防止鳥類的碰撞。 | ○ | |
| (二)水域生態 <input type="checkbox"/> 動物 <input type="checkbox"/> 植物 <input type="checkbox"/> 底棲生物 | — | ○ | ○ | 1.規劃階段 應依其開發內容及規模，評估分析對水域動植物生態的影響並擬定減輕對策。 2.施工期間 鑽井廢水應妥善處理，不排放到地表。 3.營運階段 擬定適當的植栽復原計畫，避免兩水土壤沖蝕而間接影響地表逕流導致水土保持不當。 | ○ | |
| (三)自然生態景觀及棲地 包括自來水水質水量保護區、飲用水水源水質保護區、特定水土保持區、水庫集水區、地下水管制區、國家公園、自然 | — | ○ | ○ | 本政策範圍主要位於大屯山區涉及陽明山國家公園範圍，經評定後，將涉及生態景觀或其生態棲地面積之影響。 | ○ | |

| | 政策評估項目、內容 | 地域性 | 全國性 | 全球性 | 因應對策說明 | 評定 | 備註 |
|-----------|--|-----|-----|-----|---|----|----|
| | | 評定 | | | | | |
| | 保留區、野生動物保護區、野生動物重要棲息環境、自然保護區、國家風景區、海岸保護區及其他特殊之生態敏感區等 | | | | | | |
| 三、國民健康及安全 | (一)有毒或有害物質之傳輸 <input type="checkbox"/> 毒化物 <input type="checkbox"/> 有害事業廢棄物 <input type="checkbox"/> 有害健康物質(水體) <input type="checkbox"/> 燃燒易生特殊有害健康物質(空氣) | — | ○ | ○ | 微量有毒或有害物質藉由取熱過程，排放到大氣或水體中，經評估後，將有毒或有害物質逸散之虞。 | ○ | |
| | (二)游離輻射外洩風險 | — | ○ | ○ | 微量游離輻射物種藉由取熱過程，排放到大氣或水體中，經評估後，將有游離輻射外洩風險之虞。 | ○ | |
| | (三)化學物質洩漏風險 | ○ | ○ | ○ | 本政策未使用化學物質，故無化學物質洩漏之風險。 | ○ | |
| 四、土地資源之利用 | (一) 土地資源特性之面積數量 <input type="checkbox"/> 農業生產地區 <input type="checkbox"/> 森林保育地區 <input type="checkbox"/> 水資源保護地區 | — | ○ | ○ | 本政策範圍主要位於大屯山區涉及陽明山國家公園範圍，經評定後，將涉及消耗影響資源型土地。 | ○ | |
| | (二)礦產及土石資源 | ○ | ○ | ○ | 經評估後，本政策對礦產蘊藏量及土石資源採量，並無直接或間接利用增加之影響。 | ○ | |
| | (三)土地利用(方式與活動) | — | ○ | ○ | 本政策範圍主要位於大屯山區涉及陽明山國家公園範圍，經評定後，將涉及土地利用改變。 | ○ | |
| | (四)地理景觀 <input type="checkbox"/> 國家風景區 <input type="checkbox"/> 國家公園區 <input type="checkbox"/> 台灣沿海地區自然環境保護區 | — | ○ | ○ | 本政策範圍主要位於大屯山區涉及陽明山國家公園範圍，經評定後，將涉及地形、地貌或某些區域之特有景觀改變。 | ○ | |
| 五、水資源體系及用 | (一) 用水標的及分配 | — | ○ | ○ | 地熱發電會廣泛使用水，經評估後，將影響用水標的及分配。 | ○ | |
| | (二) 用水排擠效應 | — | ○ | ○ | 地熱發電會廣泛使用水，經評估後，將對用水產生排擠效應。 | ○ | |
| | (三) 水資源 <input type="checkbox"/> 抽用地面水 <input type="checkbox"/> 抽用地下水 <input type="checkbox"/> 海水淡化 | — | ○ | ○ | 地熱發電會廣泛使用水，經評估後，將涉及水資源使用方式。 | ○ | |
| 六、文化資產 | 文化資產 | ○ | ○ | ○ | 惟仍規範於個案環評階段，依開發所在地理位置、最新公告之「文化資產保存法」之規定進行文化資產調查評估，包括傳統領域(部落所在地、農耕地、獵場、漁場、聖地、海域與河流等)，並擬定減輕對策。若發現有形、無形文化資產(含疑似文化資產)，諸如古蹟、考古遺址、古物、自然地景者，應依文化資產保存法相關規定辦理。 | ○ | |
| 七、國際環境規範 | (一) 蒙特婁議定書 <input type="checkbox"/> 氟氯碳化物(CFCs) <input type="checkbox"/> 氟氯烴(HCFCs) <input type="checkbox"/> 海龍(Halons) <input type="checkbox"/> 溴化甲烷 <input type="checkbox"/> 四氯化碳(CCl4) | ○ | ○ | ○ | 本政策無氟氯碳化物(CFCs)、氟氯烴(HCFCs)、海龍(Halons)、溴化甲烷、四氯化碳(CCl4)等破壞臭氧層物質之生產及輸出。 | ○ | |
| | (二) 氣候變化綱要公約 <input type="checkbox"/> 二氧化碳(CO ₂) <input type="checkbox"/> 甲烷(CH ₄) <input type="checkbox"/> 氧化亞氮(N ₂ O) <input type="checkbox"/> 氫氟碳化物(HFCs) <input type="checkbox"/> 全氟碳化物(PFCs) <input type="checkbox"/> 六氟化硫(SF ₆) | + | + | + | 地熱發電政策對本項目有正面效益。 | + | |

| 政策評估項目、內容 | 地域性 | 全國性 | 全球性 | 因應對策說明 | 評定 | 備註 | |
|------------------------------------|---------------|-----|-----|--|---|----|--|
| | 評定 | | | | | | |
| (三)巴塞爾公約 | ○ | ○ | ○ | 本政策無有害事業廢棄物之輸出、輸入。 | ○ | | |
| (四)華盛頓公約 □ 物種保育 □ 物種及產製品輸出輸入 | ○ | ○ | ○ | 本政策並無保育生物之貿易行為。 | ○ | | |
| (五)生物多樣性公約 | ○ | ○ | ○ | 經評估後，本政策已考量本公約第八條所訂定之第 13 項就地保護原則，會避開重要棲息環境範圍。 | ○ | | |
| (六)世界濕地公約 | ○ | ○ | ○ | 世界濕地公約未登錄國內濕地，本政策評估已將國內濕地納入。 | ○ | | |
| (七)斯得哥爾摩公約 | ○ | ○ | ○ | 本政策無持久性有機污染物。 | ○ | | |
| (八)鹿特丹公約 | ○ | ○ | ○ | 本政策無化學品及農藥進出口。 | ○ | | |
| 八、 社會 經濟 | (一)人口及產業 | + | + | ○ | 地熱發電政策對本項目有正面效益。 | + | |
| | (二)交通運輸 | - | ○ | ○ | 1.針對施工及營運期間之載具類型及數量等進行交通運輸評估，並考量大型機具作業安全之風險評估及對策擬定。 2.營運期間規劃與周邊區域等提供轉運或接駁機能相互結合，有效管控地域運輸總量，以保護自然景觀及維持遊憩品質。 | ○ | |
| | (三)能源使用 | + | + | ○ | 地熱發電政策對本項目有正面效益。 | + | |
| | (四)經濟效益 | + | + | ○ | 地熱發電政策對本項目有正面效益。 | + | |
| | (五)公共設施與社區發展 | + | + | ○ | 地熱發電政策對本項目有正面效益。 | + | |
| | (六)民眾意見與社會接受度 | ○ | ○ | ○ | 本政策將納入社會各界意見。 | ○ | |

評定方式：

對環境有正面影響者，其符號為+。有顯著正面影響者，其符號為++

對環境有負面影響者，其符號為-。有顯著負面影響者，其符號為--

對環境無影響者，其符號為○

(10) 結論

- A. 地熱發電政策對於加速我國再生能源發展、培植綠能產業自主技術、提升經濟與就業機會成長均有正面助益。
- B. 透過本政策區位劃設的排除原則，可事先迴避環境敏感或影響重大之區位，減少個案環評與環境保護之衝突，也能降低地熱發電之投資風險。
- C. 本政策評估結果，對於氣候變化綱要公約有地域性乃至全球性的正面影響，對人口及產業、能源使用、經濟效益及公共設施與社區發展有地域性至全國性的正面影響；相對而言，對於地域性的空氣品質、水體(地下水)水質、廢棄物處理、噪音、非游離輻射、陸域生

態、水域生態、自然生態景觀及棲地、國民健康及安全、土地資源之利用、水資源體系及用途與交通運輸則有負面影響，但透過迴避策略與因應對策的採用，將不致影響環境之涵容能力。

- D. 本政策評估擬定之環境影響因應對策，可作為後續地熱發電個案環評之指導方針，有助於提升個案環評之作業速度與品質。
- E. 未來應持續收集國外地熱發電產業所引發之地質災害，建立防災配套措施，並同時考量整體地熱發電整體生命週期，研擬地熱發電設置安全規範、緊急應變措施、除役規劃、營運期間控管等課題等，作為地熱發電個案環評之依據。
- F. 根據本政策評估結果，專區開發方式進行地熱開發有利於政府各部門協調與資源整合，且預先迴避敏感及保護區位，以符合國家環境保護政策及國土空間整體利用規劃，更有助於地熱發電規模經濟之發展，為具有永續性考量之產業開發政策。

1.2.2 地熱場址監測

1.2.2.1 微震觀測網監測與分析

(1) 大屯火山微震網即時監測系統擴增建置

即時監測系統可分為無線通訊系統建置及自動資料處理系統程式發展兩部分，即是將地震網端地震儀所蒐集之地震訊號，經由無線通訊系統，即時回傳至自動資料處理端，程式內包含即時震波波形監看及地震事件即時定位系統，資料回傳後便能進行震波資料備份、自動地震定位與規模估算等地震事件自動化分析。

本項工作延續前案，已於 FY105 年度計畫進行大屯火山微震網 3G/4G 網路測速及電力設備可行性確認，並考量通訊品質、用地許可及具有玻璃纖維強化塑膠(Fiber Reinforced Plastics, FRP)站房之站點以妥善保障設備運作狀態，選擇 DT01、DT06、DT07 及 DT08 四站進行無線傳輸系統之建置，而本年度因測站 DT05 原地主用地規劃，須進行遷

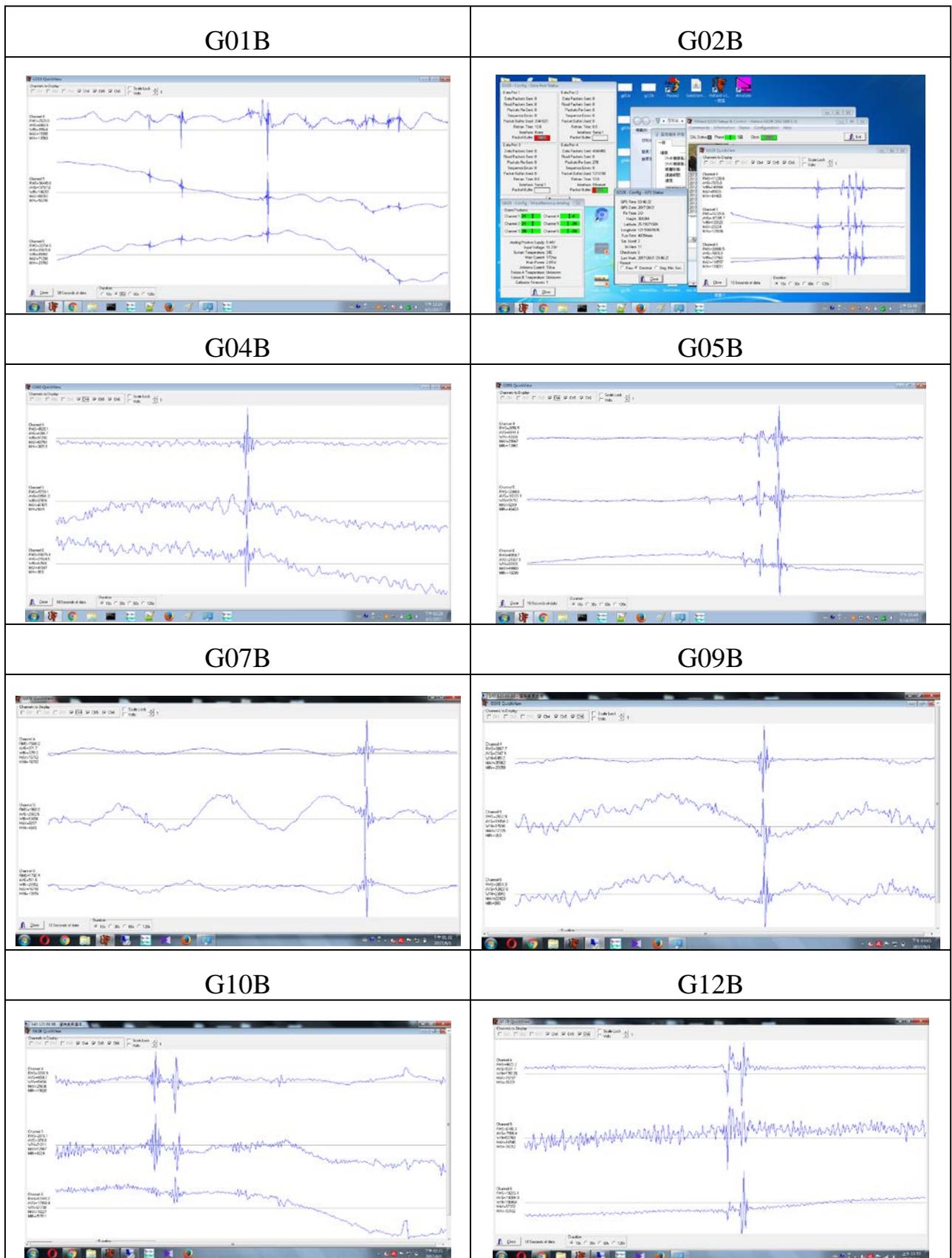
站工程，考量 DT06 無 FRP 站房保護，可能造成無線通訊設備損壞，因此於新站址(DT09)進行新建工程時，新增 FRP 站房並遷移原存放於 DT06 之無線傳輸設備至新站址，完成後更新大屯火山微震網測站狀態列表如表 61。

本工作項目於今年度另與國內合作單位進行微震網設備訪查與無線傳輸系統採購，增加無線傳輸設備之數量，已於 2017 年 8 月 1 日完成 8 組無線傳輸模組擴增建置，測試回傳各站波形如表 62。另已在 Linux 作業系統環境下，完成 Earthworm 地震資料處理平台與即時波形展示系統(Seismic Wave Analysis and Real-time Monitoring, SWARM)的建立，前者可作為資料接收、交換與傳輸的媒介，並能透過無線通訊系統傳輸而進行即時地震監測，其處理流程如圖 173；後者則可將 Earthworm 內所產生的波形資訊以封包形式匯入並即時展示波形(圖 174)。

表 61、大屯火山微震觀測網測站資訊列表

| 測站名稱 | 經度(°E) | 緯度(°N) | 高程(m) | FRP站房與3G/4G設備 | 備註 |
|------|-----------|----------|-------|---------------|-----------------|
| DT01 | 121.64191 | 25.17035 | 318 | O | |
| DT02 | 121.60984 | 25.21258 | 85 | X | |
| DT03 | 121.62327 | 25.15879 | 318 | X | |
| DT04 | 121.62815 | 25.23953 | 51 | X | 已遷站至DT08 |
| DT05 | 121.6161 | 25.23326 | 120 | X | 已遷站至DT09 |
| DT06 | 121.62752 | 25.21846 | 15 | X | 原3G/4G設備已遷至DT09 |
| DT07 | 121.6584 | 25.17404 | 177 | O | |
| DT08 | 121.62787 | 25.23943 | 53 | O | 原DT04地震儀 |
| DT09 | 121.61707 | 25.22639 | 20 | O | 原DT05地震儀 |

表 62、擴增之無線傳輸模組實際訊號回傳狀態



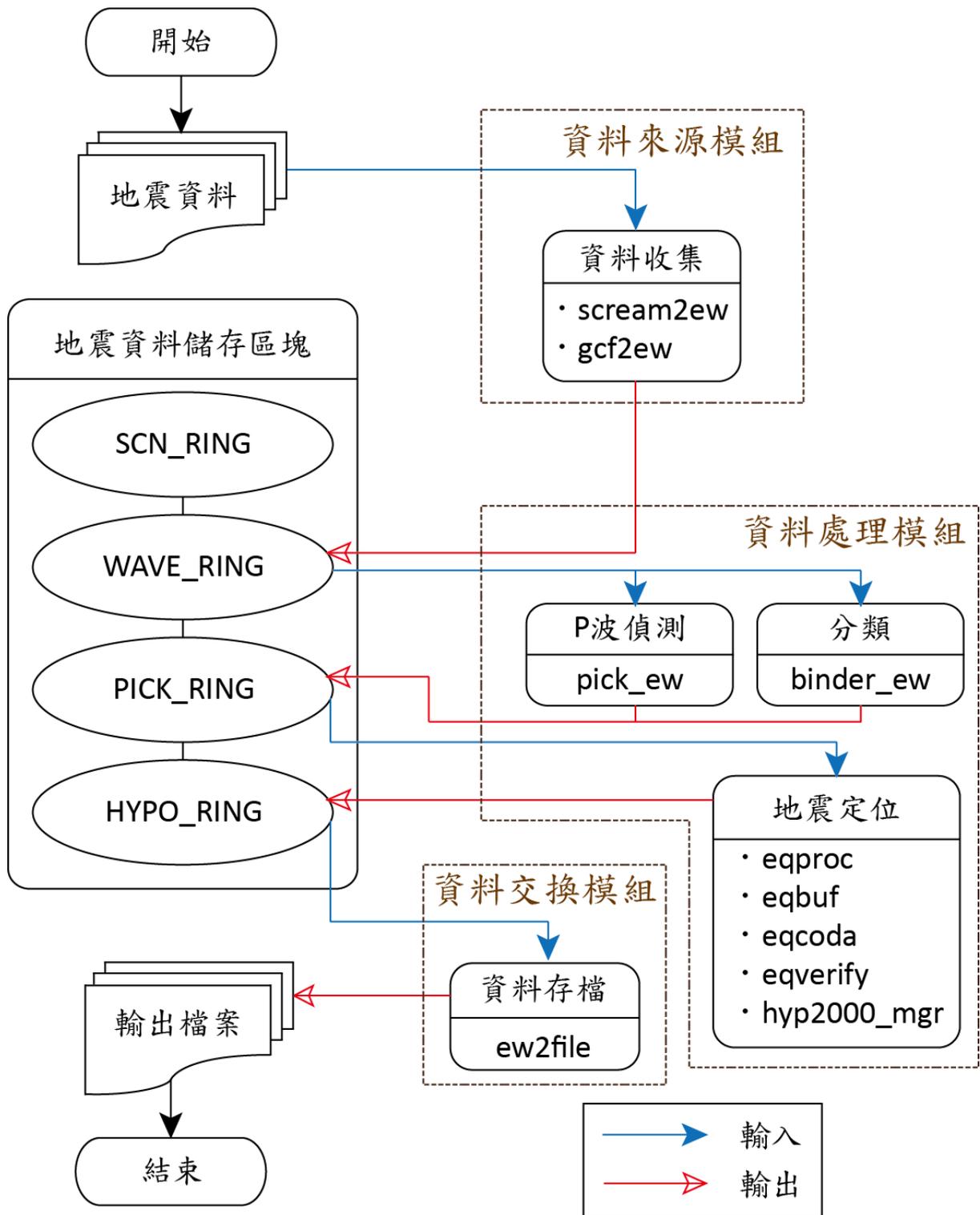


圖 173、Earthworm 系統模組流程圖

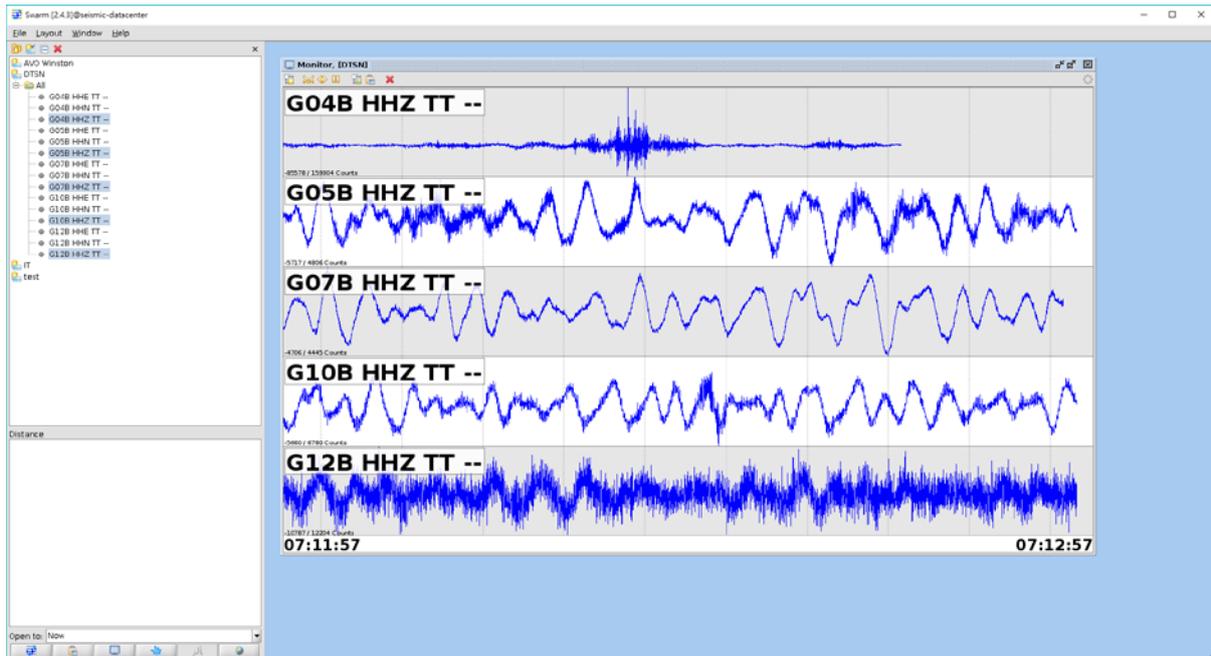


圖 174、SWARM 即時波形展示

說明：圖中波形為今年擴充之測站回傳訊號以 SWARM 程式即時傳輸演示狀態。

A. 微震監測網維護及資料處理

為完整研究大屯山火山系統之構造特性及鄰近微震活動行為，本項目整合大屯火山觀測中心(Taiwan Volcano Observatory–Tatun, TVO)及工業技術研究院(ITRI)微震網之微震資料(圖 175)，透過兩個微震網的資料整併，始能針對研究區域進行共同解析，建立區域微震背景基線資料庫。期藉由微震監測系統資料庫的共享，了解大屯山岩漿活動後期的微震及熱液氣活動分布情況及可能的發生機制，並提供速度成像、岩體物理特性之資訊。

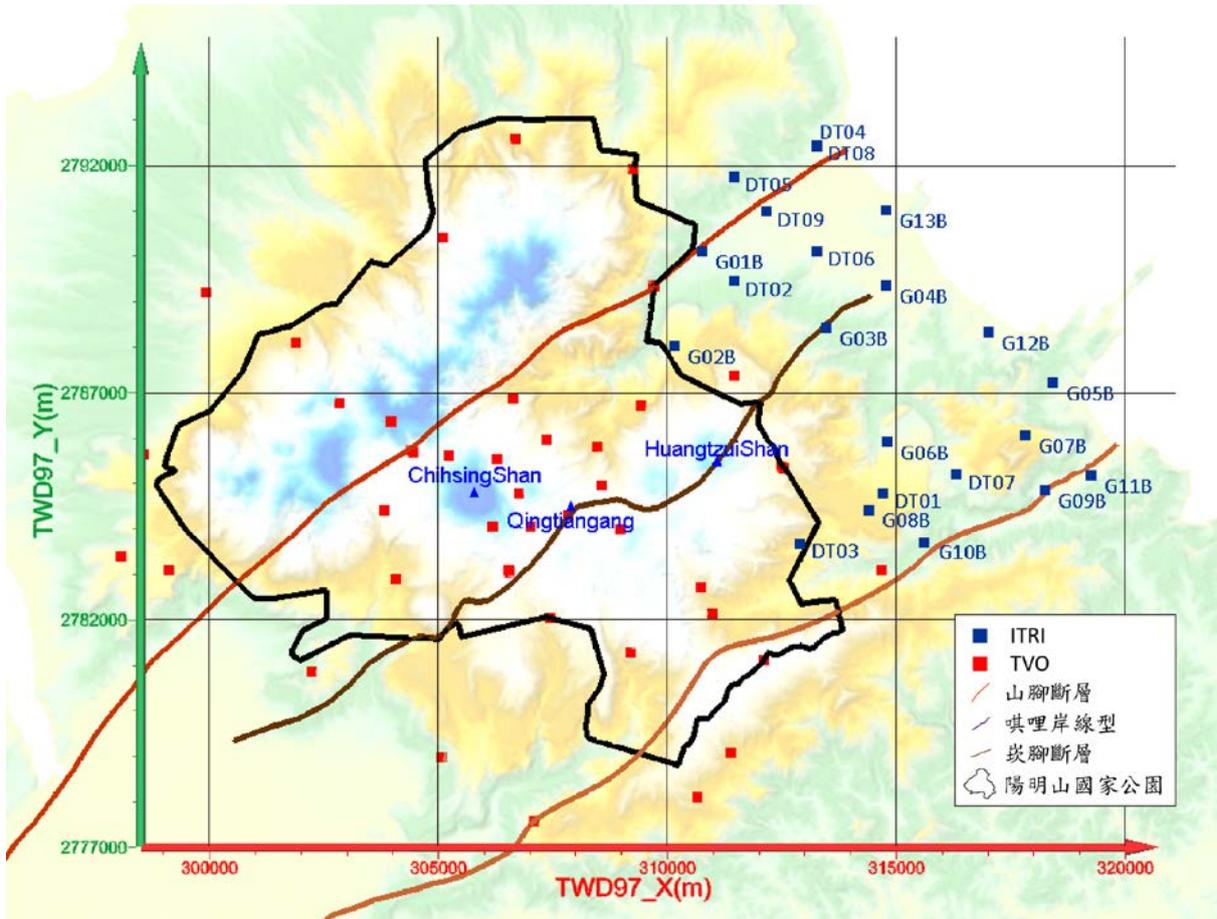


圖 175、大屯火山寬頻微震網之測站分布

說明：所使用之寬頻微震站包含大屯火山觀測中心觀測網(紅色實心方塊)及工研院觀測網(藍色實心方塊)。

(A) 微震監測網維護

本項工作為兩個月一次的定期測站例行維護，並於維護同時於現地進行微震資料下載，除因山區天候因素影響外，均依規劃定期執行，其中，測站 DT05 因原站址地主使用需求收回用地，於 2016 年 6 月 6 日起取回儀器暫停觀測，並於 2017 年 4 月 6 日完成新站址之建站工程(圖 176)，更改測站名稱為 DT09。本年度資料下載工作已完成至 2017 年 11 月，測站維護情形良好，地震訊號皆持續 24 小時正常紀錄中，實際運行觀測紀錄如圖 177 所示。



圖 176、新站址(DT09)現地狀態

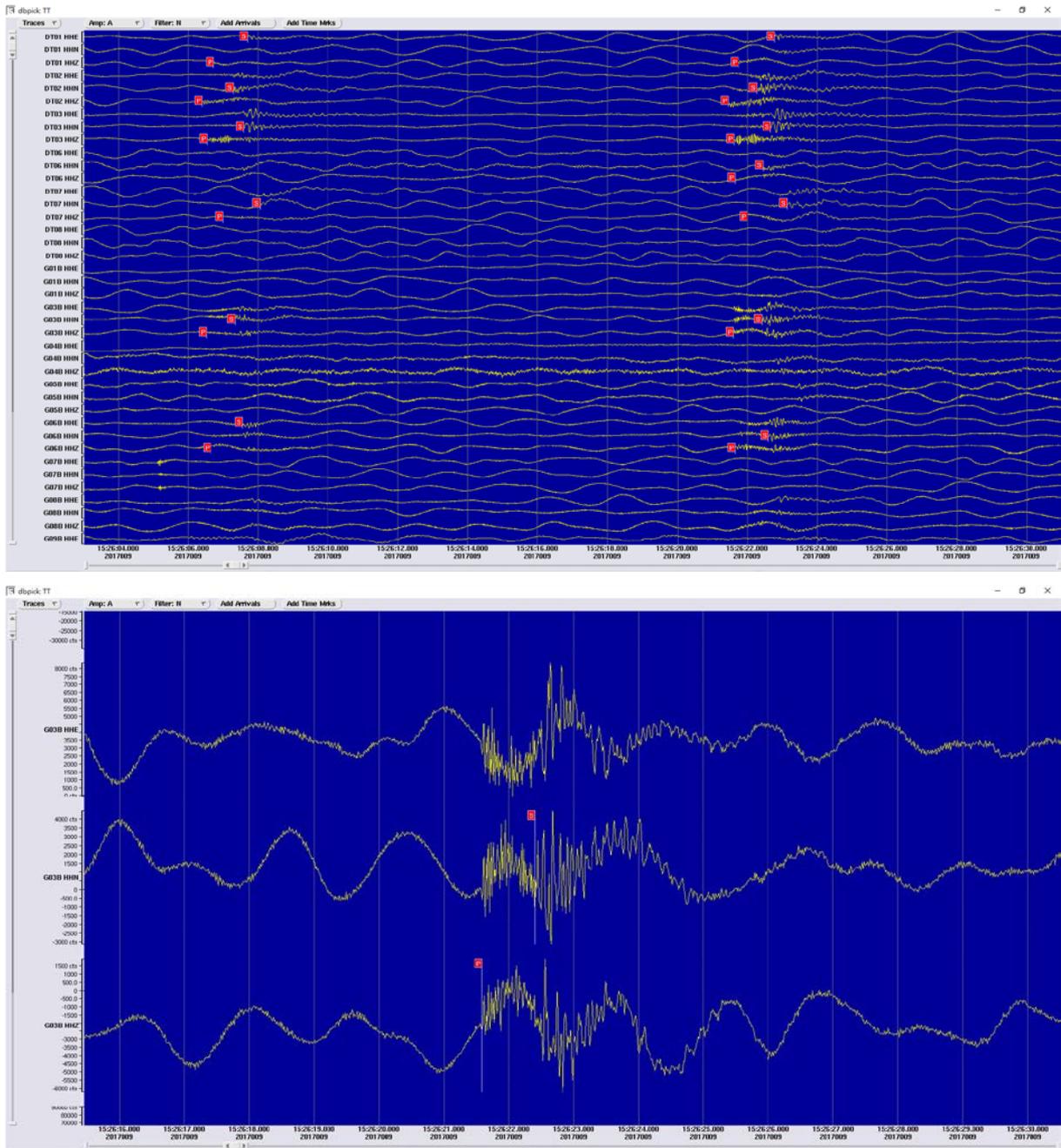


圖 177、微震網實際觀測紀錄

說明：微震網各測站在 Antelope 系統中於同一時間段的垂直與水平方向地動波形。以 2017-009-UTC 時間 15:26:04 之記錄為例，可觀測到明顯的 P 波及 S 波的訊號，為網內之微震活動訊號。

(B) 微震資料處理

微震資料處理包含地震資料庫建置、初達波相判釋、震源初始定位等工作，初始定位完成後另進行高精度微震重定位及速度成像構造模型更新等分析工作。本項目將取回之所有微震資料匯入中研院協助維護的 Antelope 地震資料處理系統中(圖 177)，此系統可建置完整的觀測資料庫，除可進行波形資料的接收、交換及儲存外，亦包含其它有關儀器型式、頻率響應、測站資訊等基本資料。因此，在處理觀測所得之資料時，可依據軟體所需之檔案關聯資料庫架構，進行資料庫建置，並進行自動及人工波形判釋、地震規模估算，以及相關 QC 檢測流程，且能完整記錄及備份。除資料庫建置流程外，系統亦提供包括地震事件波形資料剪輯、濾波、P 波及 S 波到時挑選、震源初始定位、計算地震規模等功能，其中，進行震源初始定位時，至少需使用測站數四站以上的可辨識初達 P 波到時，始得以採用該事件進行定位及後續分析。

本工作項目延續前案執行成果，持續監測大屯火山地熱區(含陽明山國家公園及金山、萬里地區)所發生之地震事件，資料處理進度完成至 2017 年 7 月。依地震發生的空間與時間特性進行探討，於空間分布上，其定位結果與前案成果相符，顯示地震叢集大致可分為四群，分別位於七星山、擎天崗附近及磺嘴山西側，震源深度均淺於 3-4 公里，主要分布於山腳斷層與唶哩岸線型之間，而另一群地震叢集則位於北投地區附近，深度約 4-5 公里處(圖 178)，為 2014 年 2 月 12 日士林地震之餘震序列；於時間分布上，統計 2014 年至 2017 年 7 月各月份之微震事件數量，可見每月地震活動度分布如圖 179 所示，可見僅有 2014 年 2 月份因規模 4.2 之士林地震及其餘震序列，造成單月地震數量超過 300 個，觀察當月地震活動度(圖 180)可見士林地震前後之地震數量具明顯差異；另可觀察到 2015 年 4 月及 5 月微震活動在陽明山國家公園內有明顯增加的現象，規模約落在 0.9-1.5 之間，雖數量較多但無明顯有感地震產生。

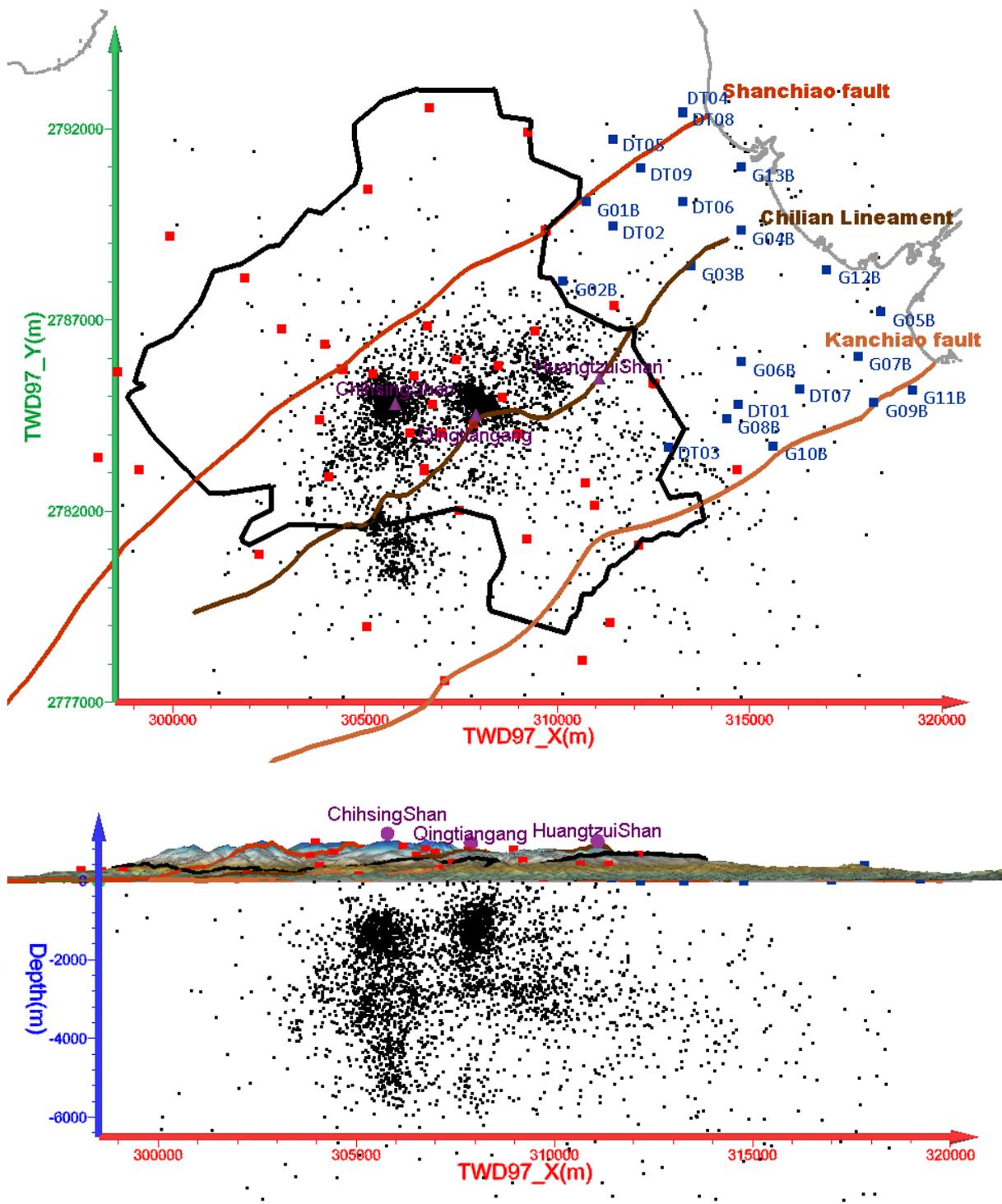


圖 178、大屯火山區微震分布圖

說明：上圖為大屯火山區震央分布圖，圖中標示山腳斷層、唶哩岸線型與崁腳斷層地表分布位置，藍色方塊為工研院微震網，紅色方塊為大屯火山觀測中心微震網；下圖則為 TWD97 二度分帶 X 軸(東-西向)剖面側向投影圖。

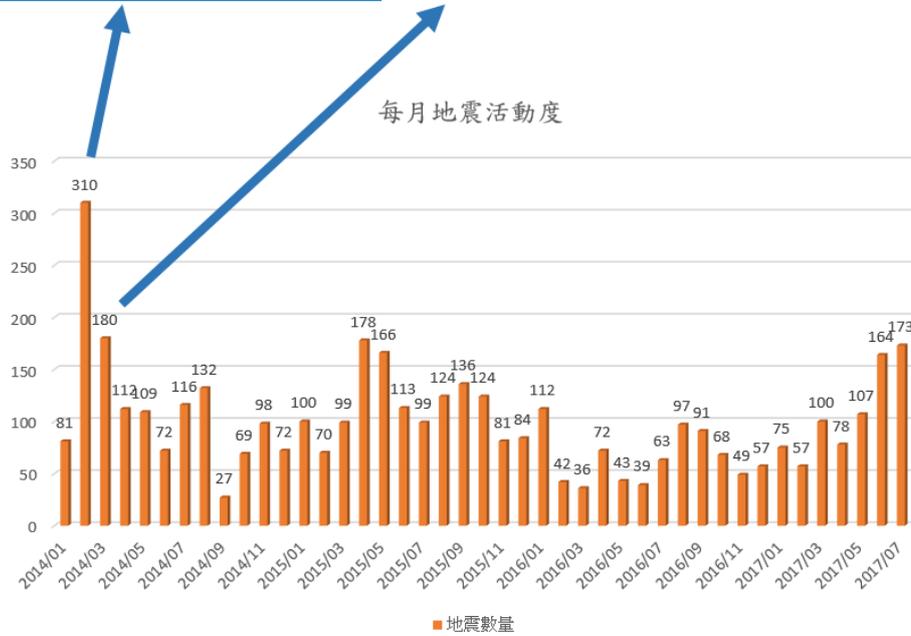
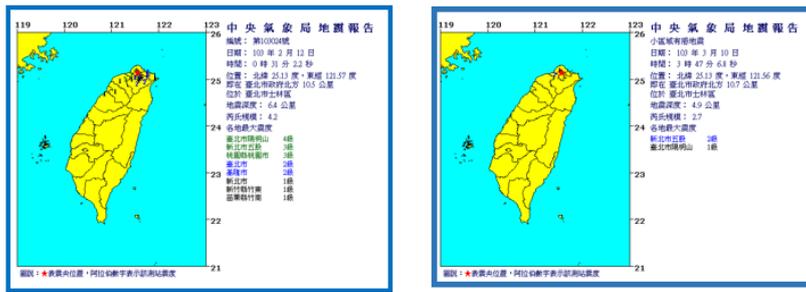


圖 179、大屯火山區每月地震活動度

說明：資料時間起迄：2014/01-2017/07。

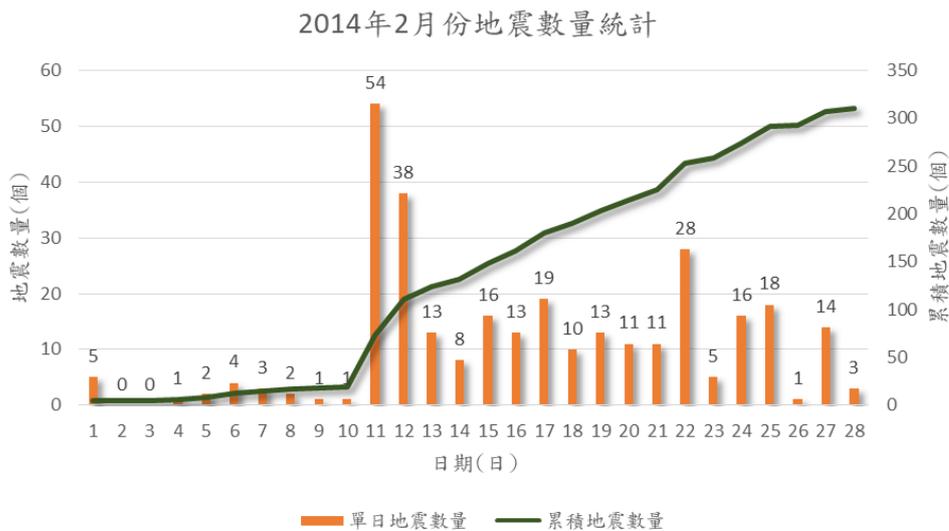


圖 180、大屯火山區 2014 年 2 月份地震活動度

說明：2014 年 12 月 12 日士林地震發震前後地震數量有明顯差異，橘色長條圖為單日地震數量，綠色折線為當月累積地震數量。

除微震定位外，本工作項目另將所收錄之地震資料亦依據地震分布位置，訂定逆推網格中心於七星山、馬槽一帶，進行高精度微震定位速度成像，成果如圖 181所示，可觀察到主要特徵為兩個東北-西南向高速條狀分布，同時平行於主要構造線。其一位於山腳斷層與唶哩岸線型之間，於七星山西側約高程水平面下 1 至 3 公里處(圖 181；藍色區塊)，遇馬槽、大油坑地區波速明顯降低，過後再往東北方向延伸；其二則位於唶哩岸線型與崁腳斷層之間且連續性較佳。由於速度構造變化與岩體裂隙、化學換質作用、溫度梯度、孔隙水壓以及孔隙率均相關，若遇地熱高溫、岩體裂隙或熱液換質作用，均可能降低波速，考量低速構造位置，與現生地熱中心和地表熱液換質帶分布相近，推測應與近地表之地熱活動有關。本工作項目將持續蒐集微震事件及更新微震資料庫，以提高微震定位速度成像解析度，了解區域微震長期活動行為及地下岩體構造分布，作為後續大屯山全區地熱開發參考廠址之依據。

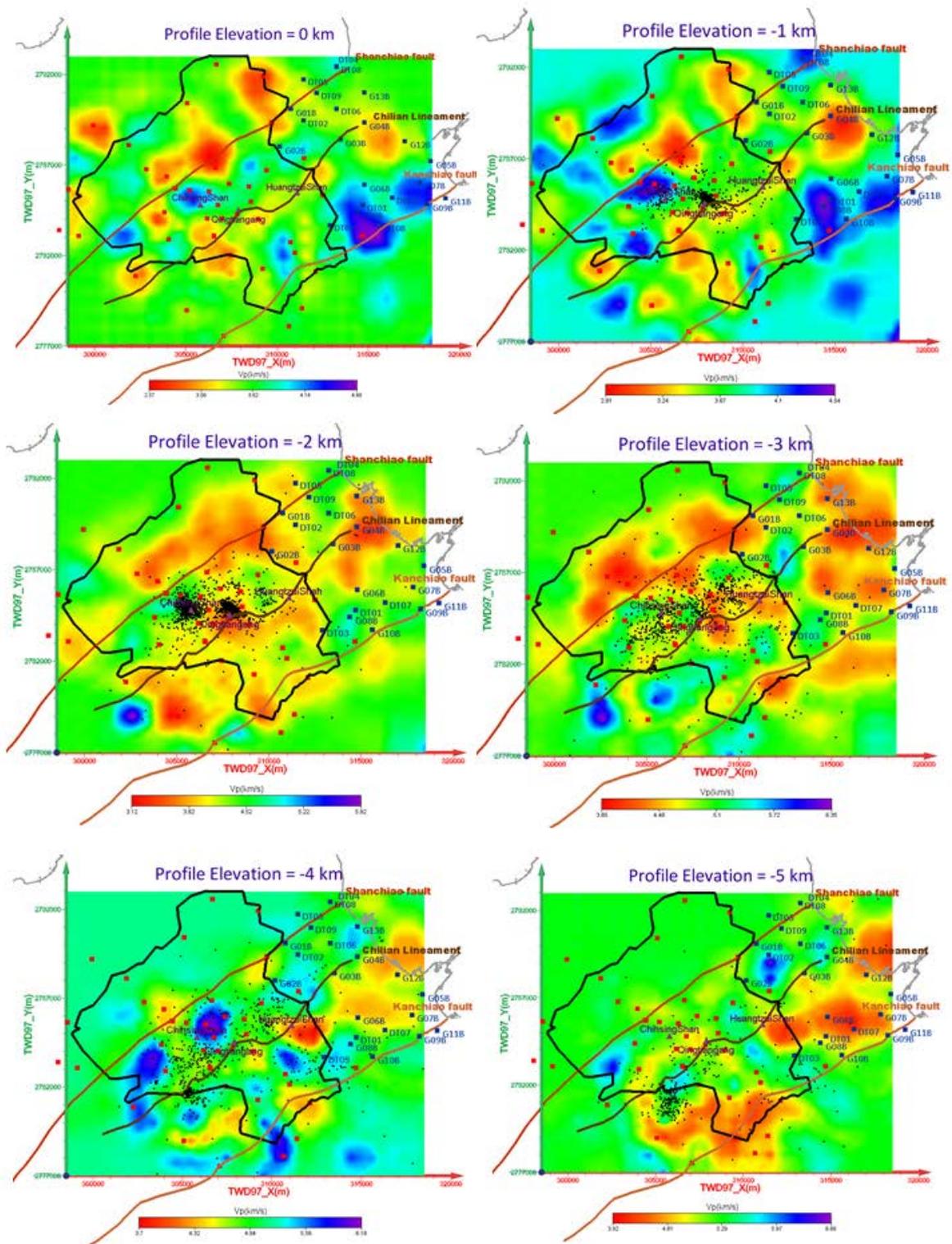


圖 181、高精度微震定位速度成像

說明：為高程橫切面圖，自地表 0 公里至高程-5 公里，每 1 公里由一張橫切面展示；紅色與藍色方塊為微震網測站分布位置；黑色線段為陽明山國家公園範圍；三條線型構造由北至南分別標示出山腳斷層、唶哩岸線型以及崁腳斷層。

1.3 產業推廣與國際合作

1.3.1 地熱電廠推廣

為加速我國地熱開發的腳步，研發本土關鍵及引進先進技術支援國內地熱商轉電廠建置，並帶動產業鏈發展；期於 2025 年完成 200MW 傳統地熱發電，2030 年完成 50MW 深層地熱發電，使地熱成為國家重要基載電力來源，有效促進減碳及減核目標，提升國家能源安全。

1.3.1.1 分散式電廠推廣

(1) 地熱發電系統測試平台建置

國外之電廠之建置主要包含生產井、回注井、管線、分離器、電力站、冷卻系統、發電機、洗滌塔等。彼此扮演著重要的角色，使地熱電廠可運轉發電。在能源局的支持下，我國已投入地熱發電相關技術研究數年，並在清水地熱區建置小型雙循環發電示範系統，因此我國傳統地熱開發技術已漸趨成熟。

為提供後續地熱發電用機組測試，本計畫於清水地熱園區建構地熱 300kW 級發電機組測試平台，硬體主要包含：土建鋼構工程(鋼棚)、1000 RT 冷卻水塔、IC-21 管線銜接工程、控制電力盤體、控制室及軟水系統等。並向台電完成 450kVA 受電設備之申請及建置，以提供發電機組運轉測試使用。

同時，本計畫執行並配合宜蘭縣府執行清水地熱公園二期及三期水保工程，進行試驗場址之圍籬及引水系統變更(參考圖 182)。



圖 182、清水地熱園區空拍照

本計畫並採用工研院所研發之 200kW 發電機組進行運轉測試，利用 IC-21 之熱源及冷卻水塔與冷凝器銜接，以進行發電運轉測試。機組之組裝及吊掛作業可參考圖 183 所示。本 200kW 地熱發電機組，4/20~5/8 於清水現地實驗場以 IC-21 井供熱，進行長期運轉測試(參考圖 184)。測試期間最高發電量(Gross power)可達 275.5kWe[Net Power 257kWe]，現場總運轉時數：374.3 Hr，平均發電量(Gross power)為 105.6kWe，平均淨發電量(Net power)為 100.0 kWe，IC-21 井供熱條件：[A.Enthalpy：800~870kJ/kg、B.溫度：148~168℃、C.壓力：300~625kPaG、D.震盪週期(L)：100~215min、E.震盪週期(S)：30~45sec、F.Quality：6.7~9.9%](參考圖 185)。



圖 183、清水地熱 200kW 發電機組定位



圖 184、200kW 發電機組連續運轉測試

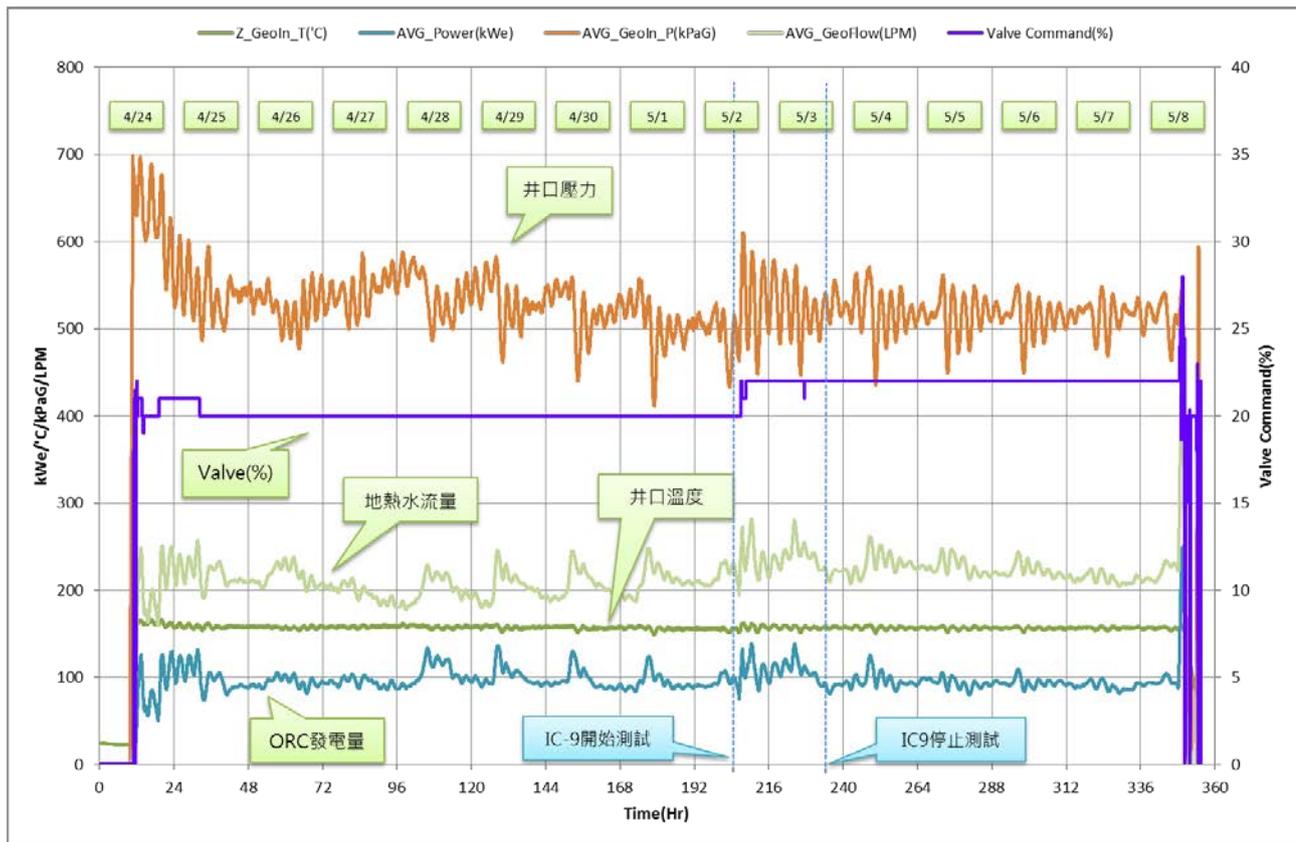


圖 185、200kW 發電機組連續運轉測試數據

(2) 傳統地熱商業運轉電廠推動

我國傳統地熱商業運轉電廠除了以具備地熱發電潛能較高之大屯火山區、宜蘭清水-土場地區為對象進行 BOT 招商規劃之外，其他地區如花東地區與綠島等地熱徵兆區則採分散式電廠推廣之對象，期透過小型發電廠商業運轉，增加國內外投資者的信心，加速達成政策目標。

A. 台東縣地熱推廣：

(A)金崙地熱:協助全陽地熱進行「金崙地熱自用發電案」開發，並透過能專技術服務協助全陽地熱開發，內容包括:井位選取、鑽井規格擬定、鑽探技術顧問、產能測試與發電潛能評估等工作。

(B)紅葉地熱:協助威聯公司籌備處辦理臺東紅葉溫泉場址「地熱能發電系統示範獎勵」申請設置文書報告，之後向臺東縣政府申請興辦紅葉溫泉發電乙案的部落說明會；協

助威聯公司籌備處召開原住民部落會議說明會並進行技術說明、陪同赴縣政府溝通地熱開發相關法規與行政程序釐清，本案已於 12/26 日取得紅葉部落村民投票同意。

(C)綠島地熱:協助台電公司進行「綠島地熱發電機組試驗性計畫」；2015 年 5 月向經濟部能源局提出「綠島地熱發電機組試驗性計畫」，並與工業技術研究院簽定「推動綠島地熱發電合作意向書」及「綠島地熱發電機組試驗性計畫合作協議書」。本計畫由工研院負責本服務工作之廠址細部探勘、鑽探試驗監造及電廠設計，本年度協助台電發包二口探勘井已決標，將進行探勘井及產能測試。

B. 花蓮縣地熱推廣:

(A)瑞穗地熱:協助台泥和平電力公司進行「地熱發電整體推動」三階段計畫第一階段：潛能場址評估與分析計畫，配合的發展需求展開重要潛力場址地區進行現場勘查採樣、土地、法規等先期評估與分析，並會同公司高層進行中部及東部潛力場址現場踏勘。目前就土地取得難易度考量，以瑞穗之紅葉內溫泉場址地熱資源豐富、土地條件佳等列優先選擇目標。

C. 新北市地熱推廣:

(A)萬金地熱:協助萬里仙境會館進行自地自建溫泉地熱發電開發，並提供專業意見及協助檢視施工計畫書撰寫，未來將研商業界合作計畫，推動首座商轉電廠。

1.3.1.2 新北市商業電廠BOT推廣

為推廣國內地熱電廠的開發，本計畫在 103 年即針對大屯山區圈選出 4 處地熱開發潛能區，其中，新北市金山區四礮子坪預定地熱發電場址(以下簡稱四礮子坪場址)位於國家公園東北邊界外(圖 186)，為新北市政府

管轄地，離人口稠密之金山區中心約 6 公里，位置適中。考量開發土地取得之可行性，四礮子坪場址以公有土地為標的，篩選後之預定開發場址面積約 50 公頃(圖 187)，場址之發電潛能約為 10 MWe。場址之聯外道路可由陽金公路之三重橋北側，經天籟飯店後，沿產業道路約 2km，抵達場址之西邊入口，進出交通尚稱便捷。



圖 186、四礮子坪場址區位圖

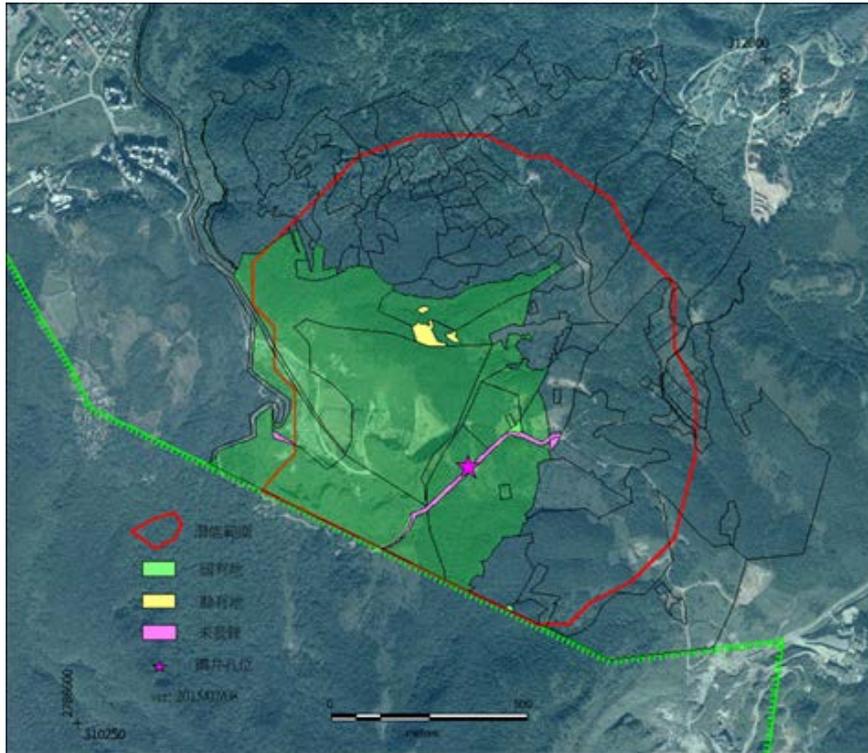


圖 187、四礮子坪場址規劃開發範圍圖

新北市政府對四礮子坪地熱開發表達正面與積極之態度，並與工研院於 104 年 5 月 14 日簽署「新北市金山區地熱發電開發計畫合作協議」，並同意協助本計畫鑽探井用地之取得，以及主辦該場址之地熱發電 BOT。計畫在 104 年開始進行四礮子坪地熱潛能區探勘井的鑽鑿，FY105 年完成 1,300 公尺之目標深度。藉由鑽鑿探勘井及產能試驗，包括噴流試驗與井下溫度、壓力量測，獲得地下地熱流體各項特性，初步了解潛能區地熱資源概況。在 BOT 促參作業方面，104 年即著手進行地熱電廠開發之可行性評估與先期規劃報告撰寫。105 年再依據新井產能測試結果修正可行性評估報告及先期規劃作業報告，並協助新北市辦理取得土地作業、研擬招商文件，供新北市辦理 BOT 招商作業參考，BOT 前置作業及招商階段作業流程詳見圖 188

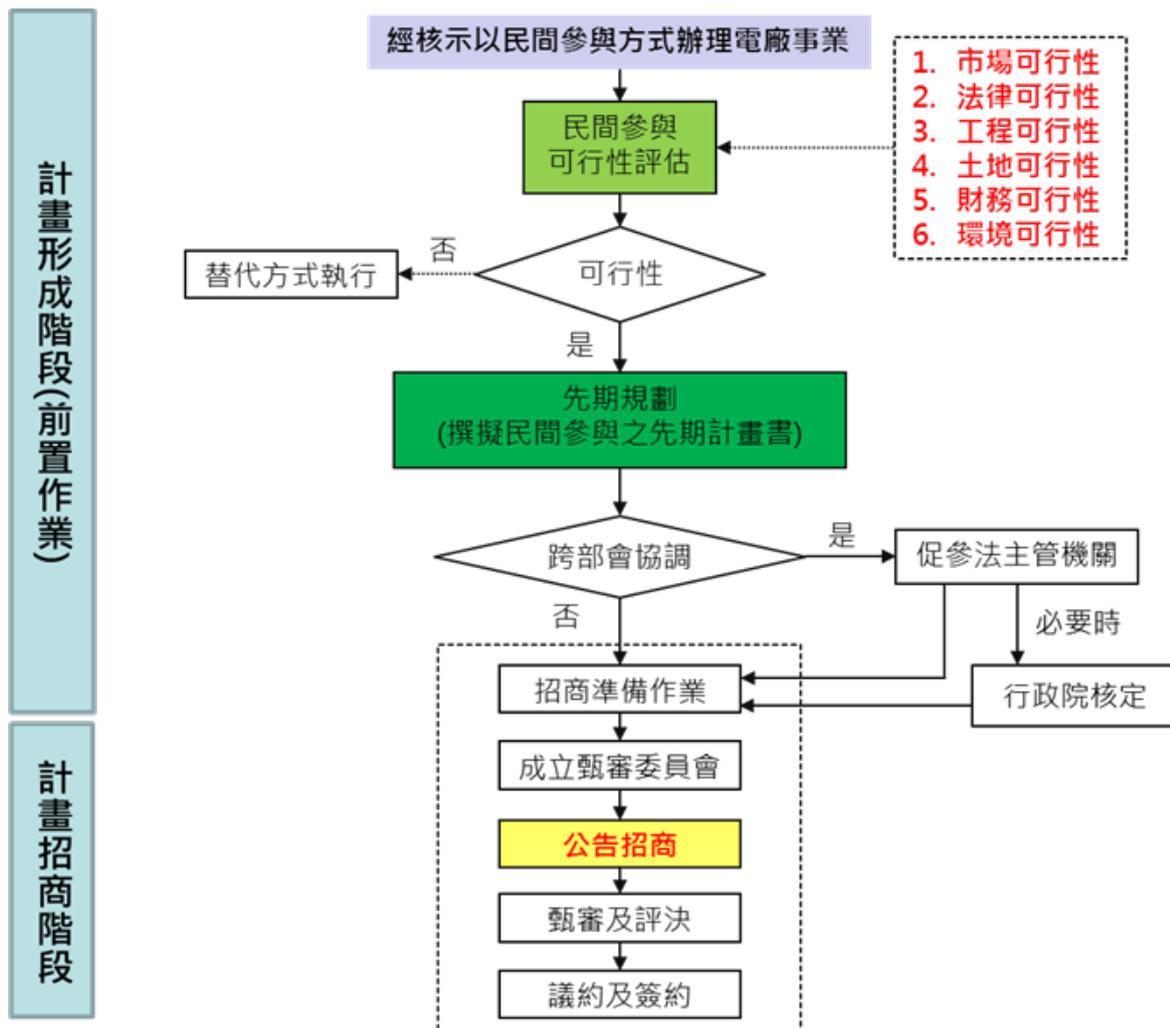


圖 188、BOT 前置作業及招商階段作業流程

本年度(FY106)協助新北市發布投資資訊與辦理招商說明會，以利新北市政府進行後續 BOT 招商作業；協助內容包括：申請人資料條件設定、投資計畫書內容、招商甄審及評決作業標準，以利新北市政府辦理 BOT 招商、議約及簽約作業。詳細作業項目見圖 189。

根據工作規劃之進度，本計畫協助新北市 106 年 3 月 29 日於新北市政府 401 會議室辦理「大屯山四礮子坪地熱發電推動交流座談會」參與產官學代表紛紛提供許多意見，經會議主席葉副市長裁示三點：

- (1) 請工研院評估釐清目前大屯山四礮子坪之地理區位是否合用；另外目前大屯山四礮子坪探勘井產能資料是否足以進行電廠開發，請研究後提供給經濟部能源局以及新北市政府，以利後續地熱電

廠之開發。

- (2) 請工研院評估建立完整地熱探勘井產能資料申請流程、細部付費項目之價格及可公開之免費項目。
- (3) 依業者意見，目前地熱電能躉購費率不足以誘使業者投入開發，請經濟部能源局協助處理。

| 工作階段 | | 工作內容 | 年份 |
|------|---------|--|-------|
| 第一期 | 招商準備作業 | 1.研擬招商策略 2.協助成立甄審委員會及甄審工作小組 3.研擬招商文件草案(含申請須知草案、投資契約草案、評審辦法草案) | FY105 |
| 第二期 | 公告招商作業 | 1.協助發布投資資訊與辦理招商說明會 2.協助正式公告招商文件 3.協助備具參考資料供民間申請人索閱 4.招商文件之澄清及釋疑 | FY106 |
| 第三期 | 甄審及評決作業 | 由新北市政府依公告之 BOT 招商作業辦法辦理。 | |
| 第四期 | 議約及簽約作業 | 由新北市政府依公告之 BOT 招商作業辦法辦理。 | |

圖 189、BOT 招商作業各階段之工作內容

根據本(1060329)會議結論，本所就建立完整地熱探勘井產能資料之申請流程、細部付費項目之價格及可公開之免費項目進行分析及評估，並依據與新北市政府歷次會議討論結果；(1)修正可開發用地面積；(2)調整先期規劃與申設行政作業費；(3)地熱井管材全部改為鈦合金計價，重新估算發電潛能以及地熱電廠興建成本，依據估算結果修正可行性評估報告及先期規劃作業報告。

106年8月3日於新北市政府305會議室辦理「大屯山四礮子坪地熱發電開發後續推展研商會議」會議前進行相關課題之簡報，結論時經會議主席黃副市長認為「地熱能發電系統示範獎勵辦法」建議經濟部能源局持

續參考離岸風電示範獎勵辦法(參考圖 197)，依地熱特性研訂合適之規定等。此外，相關法規面有競合問題尚待主管機關供同修訂，對於地熱發電躉購費率修訂以增加廠商投資意願，建請經濟部持續研議追蹤，原訂八月份辦理招商作業暫停，故 BOT 案招商文件活動企畫書委託案因主辦機關未進行招商程序而暫停。相關工作因此延後辦理，並於第三季季報時辦理變更工作時程。

106 年 12 月 18 日新北市召開「淺層地熱開發說明會」，表示業者可透過電業開發模式或申請地熱發電機組試驗性計畫方式進行地熱開發，對此，新北市府特別與國有財產署合作，框選該地區 20 公頃國有地，並規劃最合適地熱發展的運作方式協助業者申請開發，以打造全國最大地熱潛勢區開發區，開拓全國能源新版圖。會後並決定不再辦理本項商業電廠 BOT 案。

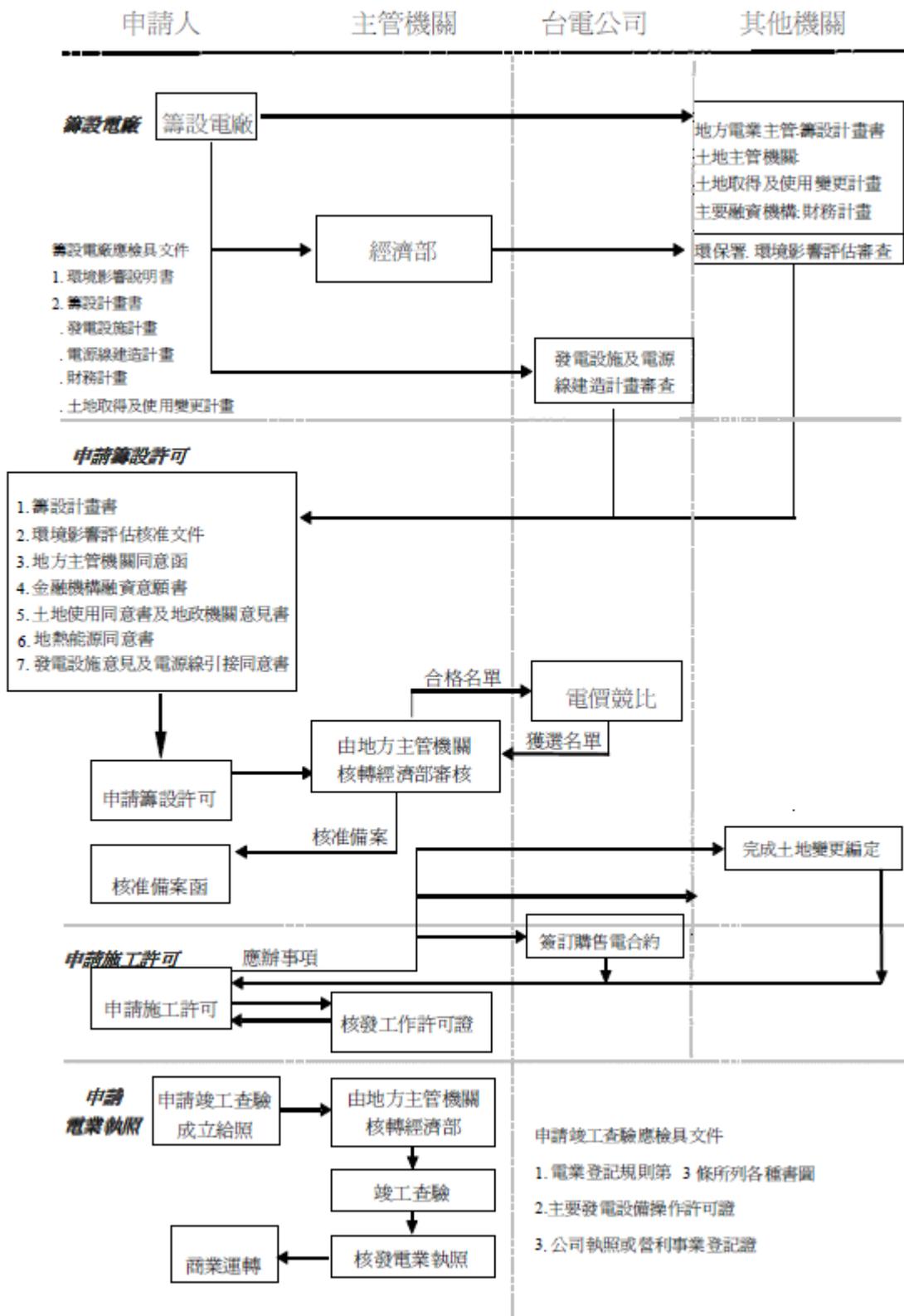


圖 190、研擬之地熱發電規劃相關申請籌設作業流程

1.3.1.3 清水地熱發電系統長期示範運轉

因應清水地熱園區之長期全面使用地熱能源，本年度已規劃、建構 50kW 發電示範系統進行長期發電運轉，以達到園區全自動無人化自動控管與發電，將產生之電力直接提供至園區使用。藉由長期示範運轉，以建置及提升發電系統可靠度及耐候性，並進一步規劃本示範發電系統成為全臺首座教學與再生能源推廣之園區。

本 50kW 發電機組運轉測試同時，配合宜蘭縣政府工商旅遊處之營運規劃，將展示看板轉向及圍籬海報進行更新(參考圖 191及圖 192)，以提供民眾遊憩、煮蛋之餘，能由即時展示數據看板瞭解目前發電機組之發電數量、地熱井溫度及壓力等，由展示海報可瞭解臺灣地熱資源之分佈、清水地熱開發沿革、發電機組型式及本 50kW 發電示範系統之原理等。可作為地熱發技術之推廣與綠色再生能源利用之最佳示範場址。



圖 191、清水地熱 50kW 發電示範系統



圖 194、連續運轉資料監控

本計畫持續進行 50kW 發電示範系統運轉，以確認相關元件之耐候性及運轉效能，連續運轉測試因配合宜蘭縣政府休園、停電及颱風影響，故進行階段性運轉測試，本年度主要由 6 月份開始進行無人化遠端監控之連續運轉測試(參考圖 195)，本系統由 101 年至本年度總共累積運轉發電量達 106MWh，而今年度累積發電量為 29167.2kWh，二氧化碳減排量達 18171.7 公斤。

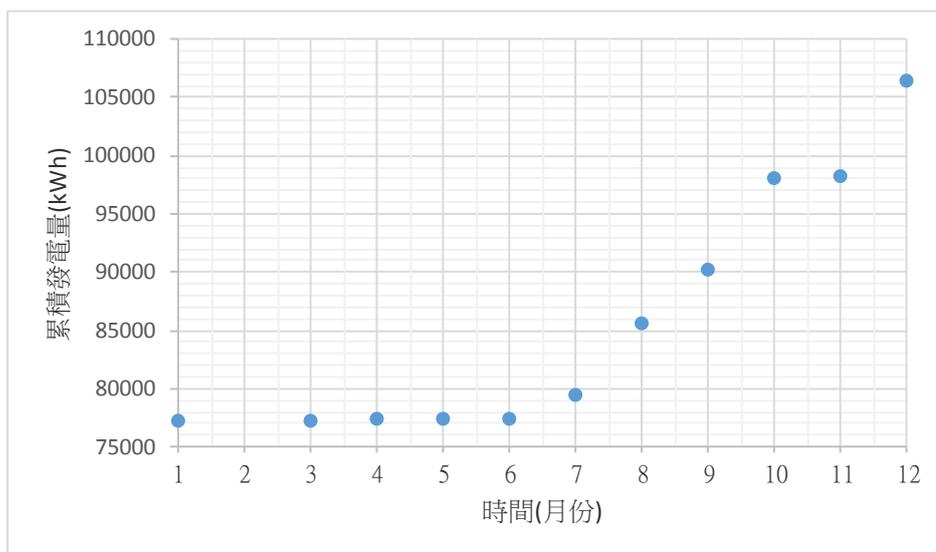


圖 195、清水地熱 50kW 發電系統月累積發電量

1.3.2 國際合作

1.3.2.1 火山型地熱國際研討會

為加速我國大屯火山之地熱開發，本年度與紐西蘭 GNS Science 合作於 5 月 15~17 日假台大集思會議中心舉辦「2017 火山型地熱國際研討會」(圖 196)，邀請來自日本、菲律賓、印尼及紐西蘭等國的地熱專家學者，討論的主題包括:(1)地熱發電與酸性地熱系統;(2)大屯火山地熱系統;(3)西太平洋地熱開發經驗分享等三項，針對各國火山型地熱開發面臨之各項挑戰進行技術交流與經驗分享，參加的學員除國內地熱專家學者外，亦有來自日本、菲律賓、印尼、法國及英國等專家與會。

A THREE DAY GEOTHERMAL WORKSHOP

PROPOSED PROGRAMME

- CONCEPTUAL MODELS of acid volcanic geothermal systems
- STRATEGIES for drilling geothermal wells into acid reservoirs
- MATERIALS SELECTION technologies for acid reservoirs
- CONCEPTUAL MODEL of Tatum geothermal system, Tatum Volcano, Taiwan
- CASE STUDIES from acid volcanic geothermal systems: Philippines, Japan, Indonesia

TAIWAN START TO STEAM

ACID VOLCANIC GEOTHERMAL SYSTEMS AND THE CHALLENGES FOR POWER DEVELOPMENT

LOCATION
TAIPEI, TAIWAN
GIS NTU CONVENTION CENTER

DATE
15-17 MAY, 2017

REGISTRATION FEES
2 DAY SEMINAR NTD\$6000
1 DAY FIELD TRIP NTD\$1500

REGISTRATION OPENS **APRIL 1ST 2017**

MORE INFORMATION
www.gns.cri.nz/start2steam;
geothermalworkshop@gns.cri.nz

DAY 1

- Introduction to geothermal energy and benefits
- What's required for a successful geothermal development
- Acid volcanic geothermal systems: introduction and conceptual models
- Geology of Tatum volcano and Tatum geothermal system
- Results of recent geothermal drilling at Tatum

DAY 2

- Geothermal well drilling in aggressive reservoirs
- Materials selection technologies for acid reservoirs
- Indonesia acid volcanic geothermal systems
- Acid fluids in Otake and Hatchobaru geothermal systems, Japan
- Acid geothermal systems of Philippines
- Key messages for Taiwan and geothermal development of Tatum system

DAY 3

- Field trip to Tatum Volcano

Contact Persons /
GNS, Dr. Andrew Rae | a.rae@gns.cri.nz | +64-7-376 0129
ITRI, Dr. Yen-Che Liao | yencheliao@itri.org.tw | +886-3-5916664

REGISTRATION
for more information...

Invited Speakers
Agenda
Accommodation

經濟部能源局
Ministry of Economic Affairs

工業技術研究院
Industrial Technology Research Institute

GNS Science

圖 196、火山型地熱系統國際研討會議程海報

本次研討會除針對火山型地熱開發進行技術交流外，亦建立我國與日本、菲律賓、印尼及紐西蘭地熱技術溝通與交流管道。紐西蘭駐臺代表處並邀請我方籌組地熱參訪團，赴紐西蘭與地熱發電產、官、學、研進行地熱發電技術與開發經驗交流，議題包含地熱法規、環評、原住民公

民電廠、地熱田運轉維護等，透過實質拜訪討論與人員訓練等互動，促進我國地熱發電產業發展。

1.3.2.2 增強型地熱發電技術國際合作

增強型地熱發電為未來地熱發電之趨勢，然而此發電技術仍有鑽井、人工儲集層製造、管理等關鍵技術待解決。因此，本計畫持續與國外增強型地熱發電技術發展之先進國家如美國、日本、冰島、德國等國家，進行技術交流與訪問，以獲取國際先進增強型地熱發電技術之訊息，加速我國地熱開發。本年度進行之增強型地熱發電技術國際合作成果如下：

- (1) 於 9 月 30 日由能源局指導、工研院與金屬中心主辦，在高雄蓮潭國際會館 402 會議室舉行國際地熱管材技術交流會(圖 197與圖 198)，以地熱能源管件之低成本化、高耐久化、低熱能損耗為目標，進行管件材質、複合、設計、制作、鍍膜...等地熱能源應用需求之技術交流，期望後續引進中心自有或國際相關能量投入產業，作為強化輔導國內相關產業能量之基礎。本交流會有產學研各方單位共計 60 人出席，在問答過程當中，有業者對自有溫泉長期使用除垢、溫泉計費與發電應用的問題，亦有綠能協會對國家能源開發、國內技術能力層次與未來發展的問題，以及研究單位對國內外技術能力的諮詢，顯示國內對於地熱能源的逐漸重視，雖仍存在技術與法規落後先進國家的問題，但許多企業於會前會後的回饋皆希望後續仍能辦理類似交流會，讓產業轉型尋找契機。

2017 
INTERNATIONAL
CONFERENCE OF
Geothermal Energy Pipe Application

國際地熱能源管材應用技術交流會

指導單位：  經濟部能源局
 主辦單位：  財團法人工業技術研究院
 承辦單位：  財團法人金屬工業研究發展中心

| 時間 | 題目 | 主講人 |
|-------------|-----------------|-------------------|
| 9:30-10:00 | 報到 | |
| 10:00-10:10 | 金屬中心致詞 | 陳進明副執行長 |
| 10:10-10:50 | 台灣地質與地熱特性 | 中央地質調查所李錦發組長 |
| 10:50-11:30 | 國內外地熱能源之開發與應用概況 | 工研院柳志錫副組長 |
| 11:30-12:00 | Q & A | |
| 12:00-13:20 | 午餐 | |
| 13:20-14:50 | ERW製管技術與應用介紹 | 中鋼公司徐正恩博士 |
| 14:50-15:10 | 休息 | |
| 15:10-15:50 | 套管概論及應用實例 | 台灣中油公司鑽探處鑽井隊隊長王崇興 |
| 15:50-16:30 | 台灣溫泉鑽探經驗分享 | 井帝工程許旭昌董事長 |
| 16:30-17:00 | Q & A | |

圖 197、9 月 30 日國際地熱能源管材應用技術交流會海報



金屬中心陳進明副執行長致詞



講者合影



地調所李錦發組長演講



工研院柳志錫副組長演講



現場出席狀況



中鋼徐正恩博士演講



中油王崇興隊長演講



井帝許旭昌董事長演講

圖 198、9月30日國際地熱能源管材應用技術交流會會場照片

- (2) 於 11 月 15 日與法商 Schlumberger 公司於工業技術研究院共同舉辦地熱井測與人工提取技術研討會，內容包含「Electrical Submersible Pump Application for Geothermal Wells」、「Wireline Logging in Geothermal」及「Geothermal well testing solution」，了解 Schlumberger 公司在歐洲深層地熱使用人工提取技術，增加地熱產能(圖 199)。



圖 199、法商 Schlumberger 公司介紹深層地熱井人工提取技術

- (3) 柳志錫博士於 11 月 13 日至 17 日赴美國參加地熱同儕審查會議，根據美國長期之地熱開發經驗，歸納出地熱開發成功關鍵是技術的演進，而非技術的革命，地熱開發有一定的技術發展歷程，無法一蹴即成；建議國內地熱開發應從淺入深，由小到大逐步發展，當技術及產業發展均達到一定規模時，地熱發電產業就會有顯著的成長。
- (4) 李奕亨博士於 11 月 20 日至 24 日赴紐西蘭參加 39 屆紐西蘭地熱研討會，獲取紐西蘭地熱探勘與儲集層工程技術最新發展狀態，主辦國展現區域合作之海洋國家決心和胸懷，值得台灣借鏡，建議台灣在地熱發展上應加入太平洋火環之地熱國際合作組織，以加速密集進行技術之交流、專業人員訓練及開發場址技術參與。

2. 計畫研發技術之實際應用情形

2.1 研發技術實際應用情形

- (1) 運用本計畫所開發專家輔助決策系統之異質維度資料連動展示功能，透過平面地圖控制三維虛擬井柱的操作方式，可協助地熱探勘井位選址及潛能區域評估，並實際應用於本年度試驗井鑽鑿選址評估，有效達成本系統階段性開發目的。
- (2) 本年度評估針對市售管閥商品選用 SUS316 材質的蝶閥與球閥閥心套組拆解元件施作表面改質處理。閥組球心經過本實驗室奈米級鉻基陶瓷物理鍍膜處理之後，外觀無明顯變化，刮痕都未被覆蓋，可以確保該表面製程處理之後，可以組回原來閥體中承接流動模組使用測試驗證。奧氏田體系不銹鋼經常用於產業界，本次測試顯示經過地熱泉水樣本 1 日的浸泡之後，無抗蝕處理之不鏽鋼腐蝕電流明顯增加，代表奧氏田體系不銹鋼的鈍化膜已經耗損無法防蝕，而本次測試組即使經過地熱泉水樣本 6 日的浸泡，靜態的腐蝕電流測試並無明顯變化，顯示 SUS304 鍍 CrN 陶瓷膜具有一定程度的防蝕作用，可以進一步做測試。
- (3) 提供本計畫研發之抗高溫酸蝕材料及相關評估技術，協助永煜公司進行功能性鍍層及表面處理技術評估，協助該公司進行地熱資源應用材料開發之評估與諮詢。

2.2 地熱業界合作洽談之情形

- (1) **耐高溫抗酸腐蝕材料先期授權:**本計畫研發之抗高溫酸蝕材料及相關評估技術，協助大地資源公司進行功能性鍍層及表面處理技術評估，協助該公司進行地熱資源應用材料開發之評估與諮詢，簽約地熱儲集層工程技術-耐高溫抗酸腐蝕材料先期授權，簽約金額 50 萬。
- (2) **超級雙相不鏽鋼熔鑄技術提升:**雙相不鏽鋼的熔煉與鑄造過程皆對最終產品的機械性質影響甚大，是時間與溫度的控制，本計畫為熔鑄技術提升，包括依據光谷公司既有之熔煉步驟、離心鑄造步驟和冷作加工步驟…等製程進行觀察、測試與改善建言，簽約金額 142 萬 8571。

2.3 地熱產業推廣

- (1) FY105 台電與工研院簽訂「綠島地熱發電機組試驗性計畫」合作意向書，依其內容由台電負責 2 口地熱試驗井鑽鑿及地熱井產能測試工作，工研院依產能測試結果設計及建製地熱發電機組，進行長期運轉測試。今年度工研院以 990 萬標下台電「綠島地熱發電機組試驗性計畫」委託技術服務工作，今年度將整合地質、地球化學、地球物理等調查結果，透過「地熱專家輔助決策系統」模擬，進行 2 口試驗井鑽鑿孔位的選定與評估。
- (2) 協助玖臻建設有限公司(威聯有限公司籌備處)申請臺東紅葉溫泉場址「地熱能發電系統示範獎勵」設置服務，規劃在調查區內進行自有地開發 1MW 地熱發電廠，以發展其地熱發電事業。
- (3) 協助宮園顧問有限公司申請臺東金崙溫泉場址「地熱能發電系統示範獎勵」設置服務，規劃在調查區內進行自有地開發 1MW 地熱發電廠，以發展其地熱發電事業。
- (4) 協助大地資源工程有限公司之 10kW 耐酸蝕地熱溫差發電系統技術，以地熱及溫泉為熱源，提供北投溫泉區之電力自主，並作為耐酸蝕地熱電廠建置之示範，解決酸腐蝕熱源無法有效利用之困境。
- (5) 協助全利能源實業股份有限公司競標宜蘭清水地熱發電 BOT 案，提供宜蘭清水地熱發電潛能與儲集層工程技術評估技術資料，簽約金額 180 萬。
- (6) 協助全陽地熱公司(FY106 成立)進行金崙地區地熱資源探勘井產能測試與發電潛能評估，並擔任該公司之技術顧問，初期以開發 500kW 地熱發電機組為目標，目前該公司已進行向台電公司申請電源引接同意、向台東縣政府申請容許使用許可(待辦理部落會議)，未來視產能測試結果進行發電裝置容量設計與建廠。

3. 分包研究計畫執行說明

本年度業界分包研究計畫有二項：(1)委託財團法人金屬工業研究發展中心「耐酸蝕管材製造技術」、(2)委託中華民國地球物理學會執行「4D 地熱流體成像技術」，預定時程為期三年，第一年(104 年)旨在建立理論與數值模擬工具，第三年(本年度)為量測儀器系統之建置，開發相關的介面軟體。研究成果分別摘述如下：

(1)委託財團法人金屬工業研究發展中心「耐酸蝕管材製造技術」

本年度計畫(第二年)透過地熱環境適用性分析，挑選耐酸性腐蝕合金作為內層/外層之金屬材料，經材料之高溫腐蝕測試(200 °C，pH=1-2)，外層選用雙相不鏽鋼 2507，而內層材料選用之 Hognas 1560 鎳基合金，進行 7 英吋 2 公尺長耐蝕雙層金屬管材之開發。製作完成之雙層管件經真直度量測、水壓試驗、及高溫動態、靜態腐蝕測試後，其整體完整度及性質部分均接近各規範及本計畫要求之耐腐蝕標準，靜態腐蝕以大屯火山地熱水體作為模擬溶液，進行 200°C 高溫腐蝕試驗，2507 之 1 日耐腐蝕速率為 0.1976 mm/a，50 天降至 0.0148 mm/a(皆<0.2 mm/a 之目標)。

根據 SEM 和 EDS 分析結果顯示雙相不銹鋼表層形成一層結構疏鬆的氧化鉻保護層，導致反應時間拉長時會有腐蝕速率減緩的情況發生。然而高溫靜態腐蝕試驗之結果明顯低於實地動態腐蝕試驗之結果有所差距，腐蝕為環境與基材複雜交互作用而產生的行為，其中牽扯到的因子不計其數，因此如何改善腐蝕試驗參數及方法，使其更能與實地測試之結果趨於平衡，為本計畫之後續重點。本分包研究計畫之相關說明文件如「附件四、分包研究期末報告-耐酸蝕複合管材先期研發期末報告」所示。

(2)委託國立中央大學地球科學系執行「4D 地熱流體成像技術發展」

本計畫旨在研發一套符合地熱田場址流體成像監測所需，並可同時量測自然電位與人工電位之儀器系統，以提升國內地熱資源開發能力，相關物理條件下之理論推導與電腦程式模擬，也於本計畫執行過程中陸續研究並建立。在 2015 年本計畫第一年度，完成了適應出現於多數金屬套管鑽井場

址的長線型電流源條件下的電場數值模擬，模擬結果最大不同於點電流源條件處，乃在於源場的衰減相對緩慢，因此長線型電流源提供了強大的場源能量，將有助於後續地層電性變異過程的偵測。第二年度（2016年）執行階段完成雙工監測系統主動源與被動源訊號分離演算法、雙工監測系統主動源電流電極迴路控制開發，並組裝完成雙工監測硬體系統。在2017年第三年執行年度中，透過了大型實驗槽體，測試雙工監測系統之電極陣列研發工作，同時也已將雙工系統安裝於清水地熱試驗區，完成了硬體系統的實驗槽體與野外現地之測試工作，確認系統運作良好。

透過本研究計畫三年的執行成果，我們建立了流體進出裂隙引發之流動電位異常的理論模型，藉由分析背景自然電位法的理論基礎與開發的雙工多波道地電量測系統，可以有效地觀測、解析地熱流體生產時所產生的流動電位與其移棲樣貌。此新型的測量系統，經本第三執行年度清水地熱區的現地試驗，證實已提升野外量測效率、降低成本，後續如能再結合 *mise-a-la-masse* 法與自然電位法，逆推處理即時分析地熱流體深度及流向資訊，期可達到地熱流體傳輸 4D 成像技術（Fluid Flow Tomography, FFT）的解析能力，準確地剖析地下熱流的位置與流動情形。

| | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----|------|----|----|----|-----|--|----|--|----|----|
| | | 實際進度 | | | | 24 | | 25 | | 26 | |
| 4.2期中報告及執行報告 | 3 | 預定進度 | | | | | | | | | |
| | | 實際進度 | | | | | | 27 | | | 28 |
| 合計 | 100 | 累計 | 25 | 50 | 75 | 100 | | | | | |

(三) 查核點說明

| 查核點 | 預定時間 | 查核點概述 | 實際時間 | 差異說明 |
|-----|-----------|--|-----------|------|
| 1 | 106.11.30 | 以宜蘭清水為例，所開發之模組功能，將可依不同抽注水井搭配組合，並設定最終溫度條件執行最佳化運算。其評估結果將提供模擬總時間、抽水井位置、注水井位置、注水溫度(攝氏)，以及最佳化操作建議，如抽水規模(噸/小時)、注水規模(噸/小時)、總發電量及 20 年後熱流狀態(攝氏)等資訊，可供宜蘭清水地熱電廠抽注操作參考。 | 106.11.29 | 無 |
| 2 | 106.05.31 | 耐酸蝕合金材料製作，200°C 下腐蝕電流 $<10^{-5}A/cm^2$ ，鹽霧試驗 >48 小時，面積 10cm*10cm | 106.05.25 | 無 |
| 3 | 106.11.30 | 耐酸蝕披覆材料製作評估，透過 Tafel 曲線分析，腐蝕電流 $<10^{-6}A/cm^2$ ，鹽霧試驗，使用 5% NaCl 之鹽水，試片面積 10cm*10cm，超過 196 小時的測試，未產生斑點。 | 106.11.29 | 無 |
| 4 | 106.03.31 | 完成雙層管材之內層材料之熱性質及成分分析 | 106.03.31 | 無 |
| 5 | 106.06.30 | 完成雙層管材結合健全度測試 | 106.06.28 | 無 |
| 6 | 106.09.30 | 完成雙層管材耐溫與真直度測試。 | 106.09.28 | 無 |

| 查核點 | 預定時間 | 查核點概述 | 實際時間 | 差異說明 |
|-----|-----------|--|-----------|------|
| 7 | 106.11.30 | 進行 200°C 高溫腐蝕試驗，雙相鋼 2507 之 1 日耐腐蝕速率為 0.1976 mm/a，50 天降至 0.0148 mm/a(皆<0.2 mm/a 之目標)。 | 106.11.30 | 無 |
| 8 | 106.06.30 | 完成模擬地熱場址之砂箱實驗 | 106.06.27 | 無 |
| 9 | 106.11.30 | 完成雙工監測系統現地測試與評估 | 106.11.30 | 無 |
| 10 | 106.06.30 | 完成清水-土場地區總計 45 個大地電磁測點，建立三維電阻模型，據以研判地熱儲集構造。 | 106.06.27 | 無 |
| 11 | 106.11.30 | 完成清水-土場地區地熱潛能區塊分布，根據調查結果研判地下熱水的可能蘊藏位置，主要分布於調查區北側，延伸至清水地區，以及土場至仁澤一帶區域，呈條帶狀分布。 | 106.11.30 | 無 |
| 12 | 106.05.31 | 完成磺嘴山區野外補充調查工作 | 106.05.31 | 無 |
| 13 | 106.11.30 | 完成磺嘴山區地熱潛能區塊分布： (1) 根據 ¹⁴ C結果可推論整體大屯山地熱區地熱儲集層具有裂隙通道與地表補注流體來源連通。根據CFCs結果，評估出磺嘴山地熱區儲集層流體循環所需時間大於50年。 | 106.11.30 | 無 |
| 14 | 106.06.30 | 完成大屯火山(磺嘴山區)及清水土場地熱潛能區水文觀測站設置工作，包含清水溪、萬里磺溪及磺溪水文觀測站等 3 處。 | 106.06.29 | 無 |

| 查核點 | 預定時間 | 查核點概述 | 實際時間 | 差異說明 |
|-----|-----------|--|-----------|------|
| 15 | 106.11.30 | <p>完成清水-土場及磺嘴山區水文地質圖繪製：</p> <p>(1) 完成台灣地熱潛能區大尺度與中尺度水文地質環境及熱水上升分區，並針對東北部清水土場地熱潛能區進行小尺度水文地質單元分類與分析。</p> <p>(2) 推測地熱流體來源可能為較深層之岩漿熱液，或是來自補注途徑較長之熱液循環流體。</p> | 106.11.30 | 無 |
| 16 | 106.11.30 | <p>完成四磺子坪儲集層地熱流體埋藏量初步評估：</p> <p>(1) 根據E303井回注試驗結果，可推估E303井鄰近地熱儲集層之kh值為3.08 darcy-meter、S_{skin}值-1.77、ϕ值為0.085。</p> <p>(2) 評估磺嘴山區儲集層可能存在16.5億立方公尺地熱流體；結合磺嘴山地熱區儲集層流體循環所需時間大於50年，可得磺嘴山區地熱流體年自然補注量小於3.3千萬立方公尺。</p> | 106.11.30 | 無 |
| 17 | 106.11.30 | <p>完成磺嘴山區及清水-土場地區政策環評可行性評估。根據本政策評估結果，專區開發方式進行地熱開發有利於政府各部門協調與資源整合，且預先迴避敏感及保護區位，以符合國家環境保護政策及國土空間整體利用規劃，更有助於地熱發電規模經濟之發展，為具有永續性考量之產業開發政策。</p> | 106.11.30 | 無 |
| 18 | 106.08.31 | <p>完成大屯火山微震網設備訪查及即時監測系統擴增建置，並成功藉由無線傳輸模組進行資料回傳並即時展示。</p> | 106.08.30 | 無 |

| 查核點 | 預定時間 | 查核點概述 | 實際時間 | 差異說明 |
|-----|-----------|--|-----------|---|
| 19 | 106.11.30 | 完成大屯山地熱區微震重定位及速度構造更新，主要特徵為兩東北-西南向之高速條狀分布，平行於主要構造線，並分別位於三條構造線之間。 | 106.11.30 | 無 |
| 20 | 106.06.30 | BOT 案招商活動企畫書。 | 106.12.30 | 1. 已在第三季變更至106.12.31 |
| 21 | 106.06.30 | BOT 案正式公告招商文件 | 106.12.30 | 1. 已在第三季變更至106.12.31 2. 新北市傾向不再辦理商業電廠BOT案。 3. BOT 案招商文件交付 |
| 22 | 106.06.30 | 完成與紐西蘭 GNS Science 合作於 5 月 15~17 日假台大集思會議中心舉辦「2017 火山型地熱國際研討會」 | 106.05.16 | 無 |
| 23 | 106.11.30 | 完成深層地熱國際合作交流 (1) 於11月15日與法商Schlumberger公司於工業技術研究院共同舉辦地熱井測與人工提取技術研討會 (2) 柳志錫博士於11月13日至17日赴美國參加地熱同儕審查會議 (3) 李奕亨博士於11月20日至24日赴紐西蘭參加39屆紐西蘭地熱研討會 | 106.11.30 | 無 |
| 24 | 106.04.20 | 提交第一次季報 | 106.04.18 | 無 |
| 25 | 106.07.20 | 提交第二次季報 | 106.07.18 | 無 |
| 26 | 106.10.20 | 提交第二次季報 | 106.10.20 | 無 |
| 27 | 106.07.25 | 提交期中報告 | 106.07.21 | 無 |

| 查核點 | 預定時間 | 查核點概述 | 實際時間 | 差異說明 |
|-----|-----------|----------|-----------|------|
| 28 | 106.12.25 | 提交年度執行報告 | 106.12.25 | 無 |

(四) 目標達成情形

| 計畫目標 | 達成狀況 | 差異檢討 |
|---------------|--|---------------------------|
| 1.資源評估與開發技術研發 | 1.專家決策輔助系統 完成磺嘴山地區以及宜蘭清水至土場地區水樣採樣化驗成果資料蒐集歸納。 擬定長期運轉最佳化目標函數，進行分析模組功能開發中。 | 無差異 無差異 |
| | 2.地熱田開發關鍵技術_耐酸蝕材料技術 開發緻密塗層，並增加耐溫性。目前已通過表面抗蝕能力測試，將進入高壓釜模擬環境測試。 | 無差異 |
| | 3.耐酸蝕管材關鍵技術研發 A.完成直徑 7 英吋、長度 2 公尺之耐腐蝕結構雙層複合金屬管材，外層為雙相不鏽鋼 2205、內層為鎳基合金 Hognas-1560。 B.完成雙層管材之內層材料之熱性質及成本分析。 C.完成雙層管材之結合健全度測試 | 無差異 無差異 無差異 |
| | 4.地熱田開發關鍵技術_儲集層監控管理技術 A.完成模擬地熱場線源條件與回注情境之砂箱實驗。 B.完成清水地熱 IC-21 井產能測試期間之電位、電阻監測之現地測試。 | 無差異 無差異 |

| 計畫目標 | 達成狀況 | 差異檢討 |
|-----------|---|--------------------------------------|
| 2.資源調查與評估 | 1.地熱場址潛能評估_場址調查與構造分析 A.完成四磺子坪區域大地電磁補充測量及三維逆推處理。 B.完成四磺子坪-煥子坪地區土壤氣體及火山噴氣孔採樣分析。 | 無差異 無差異 |
| | 2.磺嘴山區地熱資源補充調查 A.完成磺嘴山地區至金山萬里一帶土壤氣體調查普查。 B.完成地球物理補充調查之野外探測作業與初步資料處理。 | 無差異 無差異 |
| | 3.潛能區塊水文地質模式建立 A.完成清水及磺溪水文觀測站 2 站架設。 B.完成完成磺嘴山地熱區及鄰近具地熱徵兆點 12 處 15 組溫泉水樣本採集。 C.完成台灣全區地熱區塊之新分區及台灣北部變質岩地熱通路與賦存區判釋。 D.地熱補注年代評估 a.完成 10 個 14C 樣本採集及放射性碳同位素分析與定年。 b.完成 20 個 CFCs 樣本採集及分析與定年。 | 無差異 無差異 無差異 無差異 |
| | 4.四磺子坪區地熱儲集層特性調查評估 A.為了增加對此區域及 E303 地熱井生產能力之了解，擬申請變更注水測試為產能測試。 B.完成 E303 井住水試驗及四磺子坪儲集層地熱流體埋藏量初步評估。 | 無差異 無差異 |

| 計畫目標 | 達成狀況 | 差異檢討 |
|-------------|--|----------------|
| | 5.微地震監測 A.完成大屯火山微震網設備訪查及即時監測系統擴增建置。 B.完成完成微震資料下載工作至2017年11月，更新微震背景監測定位成果與P波速度成像模型。 | 無差異 無差異 |
| 3.產業推廣與國際合作 | 1.地熱電廠推廣 A.完成清水地熱園區建構地熱300kW級發電機組測試平台。 B.持續協助地方政府與民間業者，包括宜蘭縣清水地熱外，台東縣延平鄉紅葉溫泉、金崙溫泉、新北市萬金溫泉區等地區推廣地熱發電。 | 無差異 無差異 |
| | 2.國際合作與推廣 A.完成「2017火山型地熱國際研討會」。 B.持續與國外增強型地熱發電技術發展之先進國家，進行技術交流與訪問。 | 無差異 無差異 |

(五) 計畫延長或變更執行情形

| 項次 | 計畫變更項目 | 變更類別 | 計畫書內容 | | 經費金額 | | 變更原因(含日期) | 備註 |
|----|--------|------|---|--|------|-----|--|-----------|
| | | | 變更前 | 變更後 | 變更前 | 變更後 | | |
| 1 | 人員異動 | 一般變更 | 林淑華 4 人月 | 林淑華 1 人月 徐傑輝 3 人月 | | | 人力調整，總工時不變 | 已於第一季報請備查 |
| 2 | 人員異動 | 一般變更 | 柳志錫 10 人月 李奕亨 6 人月 李毓仁 4 人月 廖彥喆 10 人月 蔣立為 6 人月 陳敏祥 10 人月 黃炎聰 7 人月 杜培欣 11 人月 待聘 3.2 人月 | 柳志錫 12 人月 李奕亨 6.7 人月 李毓仁 2 人月 廖彥喆 7 人月 蔣立為 7 人月 陳敏祥 11 人月 黃炎聰 9 人月 杜培欣 12 人月 待聘 0.5 人月 | 無 | 無 | 工作調整 | 第四季變更 |
| 3 | 查核點異動 | 一般變更 | 查核點 20: BOT 案招商活動企畫書，預定完成日期 106 年 06 月； 查核點 21: BOT 案正式公告招商文件，預定完成日期 106 年 09 月 | 查核點 20: BOT 案招商活動企畫書，預定完成日期 106 年 12 月； 查核點 21: BOT 案正式公告招商文件，預定完成日期 106 年 12 月 | | | 查核點 20 及 21BOT 案文件招商活動企畫書之擬訂及公告招商文件，原規劃由 BOT 主管單位(即新北市)同意辦理 BOT 方式後本計畫進行 BOT 文件發包工作，由於新北市年度未明確討論辦理方式，故查核點因故展延，目前擬辦理變更。 | 第三季變更 |

四、執行績效說明

(一) 人力運用情形

單位：人年

| 分項計畫 | | 職 稱 | | | | 學 歷 | | | | | 合計 |
|-----------------------|----|----------|---------------|----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | | 研究 員級 | 副研 究員 級 | 助理 研究 員級 | 技術 員級 以下 | 博 士 | 碩 士 | 學 士 | 專 科 | 其 他 | |
| 高效能地熱 發電技術研 究計畫 | 預計 | 13.21 | 4.37 | 0.42 | 0 | 6.4 | 6.65 | 2.03 | --- | 2.92 | 18.0 |
| | 實際 | 15.07 | 0.55 | 0.41 | 1.63 | 6.22 | 6.78 | 1.89 | --- | 2.77 | 17.66 |
| 總 計 | 預計 | 13.21 | 4.37 | 0.42 | 0 | 6.4 | 6.65 | 2.03 | --- | 2.92 | 18.0 |
| | 實際 | 15.07 | 0.55 | 0.41 | 1.63 | 6.22 | 6.78 | 1.89 | --- | 2.77 | 17.66 |

【備註】本表中之橫短線 (---) 表示原計畫書中並無該項預估值。

(二) 經費運用情形

單位：新臺幣千元

| 經費科目 | 全年度經費 | | 變更後經費 | | 流用後經費 | | 決算數 | | 備註 |
|------------------|---------------|-------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|---|----|
| | 金額 (B) | 占總計 比例(%) C=(B/A) | 金額 (D) | 占總計 比例 (%) E=(D/A) | 金額 (F) | 占總計 比例 (%) G=(F/A) | 金額 (H) | 該科目 決算比 例(%) I=(H/B 或D或 F) | |
| 一、經常支出 | | | | | | | | | |
| 1.人事費 | 24,670 | 27.55 | 24,670 | 27.55 | 24,670 | 27.55 | 24,399 | 98.90 | |
| 2.旅運費 | 2,859 | 3.19 | 2,859 | 3.19 | 2,568 | 2.87 | 2,439 | 95.00 | |
| 3.材料費 | 11,230 | 12.54 | 11,230 | 12.54 | 11,433 | 12.76 | 11,433 | 100.00 | |
| 4.維護費 | 600 | 0.67 | 600 | 0.67 | 720 | 0.80 | 720 | 100.00 | |
| 5.業務費 (含分包費用) | 40,034 | 44.71 | 40,034 | 44.71 | 40,044 | 44.72 | 40,018 | 99.94 | |
| 6.設備使用費 | 307 | 0.34 | 307 | 0.34 | 266 | 0.30 | 266 | 100.00 | |
| 7.管理費 | 9,850 | 11.00 | 9,850 | 11 | 9,850 | 11 | 9,797 | 99.47 | |
| 8.其他 | 0 | 0 | | 0 | | 0 | | | |
| 經常支出小計 | 89,550 | 100.0 | 89,550 | 100.0 | 89,550 | 100.0 | 89,072 | 99.47 | |
| 二、資本支出 | | | | | | | | | |
| 1.土地及改良物 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 2.房屋及建築 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 3.機器儀器設備 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 4.資訊設備 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 5.交通及運輸設備 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 6.雜項設備 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 7.其他權利 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 資本支出小計 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 總計 (A) | 89,550 | 100.0 | 89,550 | 100.0 | 89,550 | 100.0 | 89,072 | 99.47 | |

說明：填報本表決算數之比例(I)，請與年度經費(B)比較；若經費變更者，請與變更後經費(D)比較；若經費流用者，請與流用後經費(F)比較。【備註】本計畫年度結算金額89,071,911元(請填寫至個位數)。

(三) 研發成果收入

單位：新臺幣千元

| 成果項目 | | 預估收入 | 實際收入 | 實際繳庫金額 | 備註 |
|----------------|----------------------|-------|---------|--------|--|
| 業界合作 (合作研究) | 配合款 | 0 | 0 | 0 | |
| | 先期技術授權金 | 0 | 0 | 0 | |
| | 權利金 | 0 | 0 | 0 | |
| 業界合作 (先期參與) | 技術服務費 | 3,000 | 0 | 0 | |
| | 先期技術授權金 | 500 | 500 | 200 | 1項1家，地熱儲集層工程技術-耐高溫抗酸腐材料先期開發先期技術授權專利授權金 |
| | 權利金 | 0 | 0 | 0 | |
| 一般技術 授權 | 技術授權金 | 350 | 0 | 0 | |
| | 技術權利金 | 0 | 0 | 0 | |
| | 專利授權金 | 0 | 0 | 0 | |
| | 專利權利金 | 0 | 0 | 0 | |
| 技術服務 費 | 金額 | 1,000 | 4,888.6 | 435 | 1.2項技術，3家廠商 2.和平電力結餘繳庫 |
| 其他 | (技術服務剩餘款、逾期罰款、研討會收入) | 0 | 28.613 | 28.613 | 1.LBNL 執行104年度大屯山地熱資源調查評估計畫繳回。 |

說明：

- 一、備註欄內請註明項數及家數。
- 二、本表中之橫短線(---)表示原計畫書中並無該項預估值。
- 三、本表所列實際繳庫金額，已扣除營業稅、印花稅...等必要支出。

(四) 重要成果統計

金額單位：新臺幣千元

| 成 果 項 目 | | | 預 定 | 實 際 達 成 | 成 果 項 目 | | | 預 定 | 實 際 達 成 |
|-----------------------------|---------------|-----|--------|---------|--|-------------------------------------|---------------------------------|---------|---------|
| A.專 利 權 (項數) | 申 請 | 國 內 | 1 | 1 | I. 一般技術 授 權 | 件 數 | 1 | 0 | |
| | | 國 外 | 1 | 0 | | 項 數 | 1 | 0 | |
| | 獲 得 | 國 內 | 1 | 0 | | 廠 家 數 | 1 | 0 | |
| | | 國 外 | 0 | 2 | | 技 術 授 權 金 | 350 | 0 | |
| | 運 用 | 國 內 | 0 | 0 | | 權 利 金 | 0 | 0 | |
| | | 國 外 | 0 | 0 | | 專 利 授 權 金 | 0 | 0 | |
| B.論 文 (篇數) | 期 刊 | 國 內 | 1 | 1 | J. 技術服務 | 件 數 | 2 | 3 | |
| | | 國 外 | 1 | 1 | | 廠 家 數 | 2 | 3 | |
| | 研 討 會 | 國 內 | 2 | 3 | | 項 數 | 1 | 3 | |
| | | 國 外 | 1 | 0 | | 金 額 | 1,000 | 4,888.6 | |
| C.研究報告 (篇數) | 年 度 執 行 報 告 | | 1 | 1 | K. 分包研究 | 學 界 | 件 數 | 0 | 0 |
| | 技 術 調 查 | | 3 | 3 | | | 金 額 | 0 | 0 |
| | 訓 練 | | 0 | 1 | | 業 界 | 件 數 | 2 | 2 |
| | 出 國 分 包 | | 0 | 0 | | | 金 額 | 11,800 | 11,800 |
| | 出 國 | | 2 | 2 | L. 研討會 座 談 會、 示 範 觀 摩 會、培 訓 課 程、說 明 會 | 場 次 | 1 | 8 | |
| | 分 包 | | 2 | 2 | | 人 數 | 30 | 363 | |
| 件 數 | | 0 | 0 | 金 額 | | 收 入 | 0 | 251 | |
| 項 數 | | 0 | 0 | | 支 出 | 0 | 2,000 | | |
| D.業 界 合 作 (一) 合 作 研 究 | 廠 家 數 | | 0 | 0 | M. 推廣活動 | 場 次 | 1 | 3 | |
| | 配 合 款 | | 0 | 0 | | 金 額 | 收 入 | 0 | 0 |
| | 先 期 技 術 授 權 金 | | 0 | 0 | | | 支 出 | 500 | 121.3 |
| | 權 利 金 | | 0 | 0 | N. 人才培訓 | 人 數 | 5 | 16 | |
| | 件 數 | | 2 | 1 | | 場 次 | 1 | 1 | |
| E.業 界 合 作 (二) 先 期 參 與 | 項 數 | | 2 | 1 | O. 人才培育 | 金 額 | 0 | 21 | |
| | 廠 家 數 | | 2 | 1 | | 博 士 | 2 | 0 | |
| | 技 術 服 務 費 | | 3,000 | 0 | 碩 士 | 2 | 1 | | |
| | 先 期 技 術 授 權 金 | | 500 | 500 | P. 環保效益 | 減 少 CO ₂ 排 放 量 (公 噸) | 225 | 21 | |
| | 權 利 金 | | 0 | 0 | | Q. 能源效益 | 增 加 能 源 供 應 或 節 能 量 (公 乘 油 當 量) | 0 | 20 |
| F.促 進 投 資 生 產 | 件 數 | | 2 | 6 | R. 宣導手冊 | | 數 量 | 0 | 0 |
| | 項 數 | | 2 | 2 | | 金 額 | 0 | 0 | |
| | 金 額 | | 60,000 | 126,000 | S. 媒體露出 | 次 數 | 3 | 9 | |
| G.促 進 就 業 | 人 數 | | 10 | 25 | | T. 性別主流化 推 動 成 效 及 投 入 經 費 統 計 表 | 件 數 | 1/1200 | 1/1200 |
| | 件 數 | | 2 | 6 | | | | | |
| H.技 術 引 進 | 件 數 | | 0 | 0 | | | | | |
| | 項 數 | | 0 | 0 | | | | | |
| | 金 額 | | 0 | 0 | | | | | |

- 註：1.技術服務之件數係指服務之廠家數；項數係指本計畫各項技術之數量。
 2.凡金額數字皆以千元計。
 3.專利權請填報具應用價值之專利權項數。
 4.成果項目經費金額以未稅計算。

(五) 重要成果清單

一、專利權

(1) 專利申請一覽表

| 項次 | 申請編號 | 專利名稱 | 申請日期 | 國家 | 類別 |
|----|-----------|----------|-----------|------|----|
| 1 | 106144730 | 水溶氣體採樣組件 | 106.12.20 | 中華民國 | 發明 |

(2) 專利獲得一覽表

| 項次 | 專利證號 | 專利名稱 | 獲證日期 | 國家 | 類別 | 發明人 | 專利時間 |
|----|------------------|---|----------|------|----|-------------------------|-------------------|
| 1 | ZL201410647140.8 | Modified carbon material and method for manufacturing the same and paint (改質碳材與其形成方法及塗料) | 20170412 | 中國大陸 | 發明 | 辛玉麟, 張智光, 葉筱均, 施希弦 | 20170412~20341112 |
| 2 | 9,580,738 | Method for producing extracellular proteins from genus Tepidimonas (產生嗜熱性鹼性蛋白(酶)生產菌屬(Tepidimonas)之胞外蛋白的方法) | 20170228 | 美國 | 發明 | 韓吟龍, 張嘉修, 羅泳中, 鄭捷倫, 柳志錫 | 20170228~20330317 |

(3) 專利運用一覽表

| 項次 | 專利證號 | 專利名稱 | 運用廠商 | 效益說明 |
|----|------|------|------|------|
| 1 | | | | |

二、論文

(1)論文一覽表-期刊

| 項次 | 論 文 名 稱 | 刊出日期 | 期刊名稱 / 期別 | 國 家 | 起迄頁數 |
|----|---|-----------|--|------|-------|
| 1 | 地熱區嗜熱菌株胞外蛋白對鈣離子吸附 試驗探討 (Calcium ion adsorption with extracellular proteins of thermophilic bacteria isolated from geothermal sites) | 106.01.15 | Biochemical Engineering Journal(ISSN:1369-703X)/1 17 | 荷蘭 | 48-56 |
| 2 | 清水地熱尾水回注試驗：溫降研究 | 106.06.30 | 太陽能及新能源學刊/19 | 中華民國 | 3-11 |

(2)論文一覽表-研討會

| 項次 | 論 文 名 稱 | 刊出日期 | 會議名稱 / 期別 | 國 家 | 起迄頁數 |
|----|----------------------|-----------|-------------------------------------|------|------|
| 1 | 以三維電阻模型研判地熱構造之案例分析 | 106.05.11 | 中華民國地質學會與中華 民國地球物理學會年會暨 學術研討會 | 中華民國 | 397 |
| 2 | 地熱專家輔助決策系統應用-以四礮子坪為例 | 106.05.11 | 中華民國地質學會與中華 民國地球物理學會年會暨 學術研討會 | 中華民國 | 399 |
| 3 | 酸性溫泉區抗腐蝕材料評估與測試-臺灣北投 | 106.12.01 | 中國機械工程學會年會暨 全國學術研討會 | 中華民國 | - |

三、研究報告

| 項次 | 報 告 名 稱 | 類別 | 完成日期 | 語言 | 機密等級 | 頁數 |
|----|------------------------------|--------|-----------|----|------|-----|
| 1 | 106 年度高效能地熱發電技術研發計畫(2/3)執行報告 | 執行報告 | 106.12.22 | 中文 | 機密 | 369 |
| 2 | 耐酸蝕井管金屬材料開發技術報告 | 技術報告 | 106.11.30 | 中文 | 機密 | 73 |
| 3 | 地熱田營運監測與分析功能模組開發說明 | 技術報告 | 106.11.30 | 中文 | 機密 | 77 |
| 4 | 台灣東北部變質岩區之水文地質 | 技術報告 | 106.11.30 | 中文 | 機密 | 17 |
| 5 | 4D 地熱流體成像技術計畫分包研究期末報告 | 分包研究報告 | 106.11.30 | 中文 | 機密 | 67 |
| 6 | 耐酸蝕複合管材先期研發分包研究期末報告 | 分包研究報告 | 106.11.30 | 中文 | 機密 | 173 |
| 7 | 清水-土場地區地熱潛能區塊分布調查報告 | 調查報告 | 106.11.30 | 中文 | 機密 | 75 |
| 8 | 參加參加 2017 年美國地熱技術同儕審查會議出國報告 | 出國報告 | 106.12.13 | 中文 | 機密 | 65 |
| 9 | 參加第 39 屆紐西蘭地熱研討會 | 出國報告 | 106.12.15 | 中文 | 機密 | 22 |

四、業界合作

| 項次 | 合作項目名稱 | 廠商名稱 | 配合款 (新臺幣千元) | 先期技術 授權金 (新臺幣千元) | 權利金 (新臺幣千元) | 技術服務費 (新臺幣千元) | 合作方式 | 成果及效益說明 |
|----|-------------------------|--------------|----------------|------------------------|----------------|------------------|--------|---------------------------------------|
| 1 | 地熱田開發關鍵技術-耐酸蝕金屬材料技術先期開發 | 永煜機械設備股份有限公司 | 0 | 500 | 0 | 0 | 先期技術授權 | 評估本計畫開發之抗蝕材料應用於金屬材料表面之抗蝕能力，應用機協設備之可能性 |

五、促進投資生產

| 項次 | 投資項目名稱 | 廠商名稱 | 投資金額 (新臺幣千元) | 內容及效益說明 |
|----|-------------------------------------|-------------------|-----------------|--|
| 1 | "金崙小型地熱電廠開發案" | 全陽地熱(李長榮化工)股份有限公司 | 10,000 | 李長榮化工團隊積極尋找可行場址開發地熱發電。經本院推薦台東金崙地熱為一處優良場址，該公司於106年4月成立「全陽地熱股份有限公司」並掛牌，目前資金到位1億元，以開發金崙地熱區小型地熱發電系統為目標。 |
| 2 | 綠島地熱發電機組試驗性計畫委託技術服務 | 台灣電力股份有限公司 | 92,000 | 1.台電期能借重工研院在地熱開發的經驗及發電機組研發能量，成功開發綠島之地熱發電，使綠島成為我國第一座再生能源島，達成節能減碳及提昇我國國際形象等多重目的。 2.台電公司規劃於綠島地熱區招標2口探勘井深度1000公尺，經費為9200萬。 |
| 3 | 和平電力股份有限公司地熱發電整體推動計畫-第一階段:潛能場址評估與分析 | 和平電力股份有限公司 | 8,000 | 和平電力公司欲選擇國內適合之地熱田以開發中型之地熱電廠(大於20MW)，工研院根據國內地熱資源條件，建議分三階段逐步進行國內地熱電廠之開發：第一階段：資料蒐集分析與開發優先場址評選。第二階段：挑選出3處適合場址，進行精密調查與探勘井鑽鑿驗證，第三階段：進行廠址評估、生產井規劃設計、發電機組規劃設計、廠房設施規劃設計等工作。 |
| 4 | 超級雙相不鏽鋼熔鑄技術提升計畫 | 光谷精密有限公司 | 2,000 | 本計畫為熔鑄技術提升，包括依據光谷公司既有之熔煉步驟、離心鑄造步驟和冷作加工步驟…等製程進行觀察、測試與改善建言 |

| | | | | |
|---|---------------------------------|----------------------|--------|--|
| 5 | 臺東紅葉溫泉場址「地熱能發電系統示範獎勵」申請設置服務 | 玖臻建設有限公司 (威聯有限公司) | 2,000 | 1.「地熱能發電系統示範獎勵」申請設置服務 2.辦理紅葉溫泉地熱發電案部落會議。 |
| 6 | 清水地熱發電新建、增建、改修營運及移轉案 (BOT +ROT) | 宜元公司股份有限公司 | 12,000 | 1.簽定合作契約設置清水地熱發電廠，第一期先設備裝置容量 1MWe 2.辦理 BOT 場址整理，生產井盤點與委託環評工作。 |

六、促進就業

| 項次 | 投資項目名稱 | 工作內容 | 人數 | 內容及效益說明 |
|----|---------------------|------|----|---|
| 1 | "金崙小型地熱電廠開發案" | 建廠 | 5 | 李長榮化工團隊積極尋找可行場址開發地熱發電。經本院推薦台東金崙地熱為一處優良場址，該公司於 106 年 4 月成立「全陽地熱股份有限公司」並掛牌，目前資金到位 1 億元，以開發金崙地熱區小型地熱發電系統為目標。 |
| 2 | 綠島地熱發電機組試驗性計畫委託技術服務 | 建廠 | 6 | 1.台電期能借重工研院在地熱開發的經驗及發電機組研發能量，成功開發綠島之地熱發電，使綠島成為我國第一座再生能源島，達成節能減碳及提昇我國國際形象等多重目的。 2.台電公司規劃於綠島地熱區招標 2 口探勘井深度 1000 公尺，經費為 9200 萬。 |

| | | | | |
|---|-------------------------------------|------|---|--|
| 3 | 和平電力股份有限公司地熱發電整體推動計畫-第一階段:潛能場址評估與分析 | 建廠 | 2 | 和平電力公司欲選擇國內適合之地熱田以開發中型之地熱電廠(大於 20MW)，工研院根據國內地熱資源條件，建議分三階段逐步進行國內地熱電廠之開發：第一階段：：資料蒐集分析與開發優先場址評選。第二階段：：挑選出 3 處適合場址，進行精密調查與探勘井鑽鑿驗證，第三階段：：進行廠址評估、生產井規劃設計、發電機組規劃設計、廠房設施規劃設計等工作。 |
| 4 | 超級雙相不鏽鋼熔鑄技術提升計畫 | 熔鑄技術 | 2 | 本計畫為熔鑄技術提升，包括依據光谷公司既有之熔煉步驟、離心鑄造步驟和冷作加工步驟…等製程進行觀察、測試與改善建言 |
| 5 | 臺東紅葉溫泉場址「地熱能發電系統示範獎勵」申請設置服務 | 建廠 | 4 | 1.「地熱能發電系統示範獎勵」申請設置服務 2.辦理紅葉溫泉地熱發電案部落會議。 |
| 6 | 清水地熱發電新建、增建、改修營運及移轉案 (BOT +ROT) | 建廠 | 6 | 1.簽定合作契約設置清水地熱發電廠，第一期先設備裝置容量 1MWe 2.辦理 BOT 場址整理，生產井盤點與委託環評工作。 |

七、技術引進

| 項次 | 技術名稱 | 技術來源 | 引進金額 (新臺幣千元) | 效益說明 |
|----|------|------|-----------------|------|
| 1 | 無 | | | |

八、一般技術授權

| 項次 | 技術授權項目名稱 | 廠商名稱 | 簽約日期 | 授權金 (新臺幣千元) | 權利金 (新臺幣千元) | 合約期間 |
|----|----------|------|------|----------------|----------------|------|
| 1 | 無 | | | | | |

九、技術服務

| 項次 | 技術服務名稱 | 技術服務費 (新臺幣千元) | 服務對象 | 項次 | 技術服務名稱 | 技術服務費 (新臺幣千元) | 服務對象 |
|----|--------------|------------------|--------|----|-----------------|------------------|------------|
| 1 | 耐酸蝕合金管材 | 1,428.6 | 光谷精密公司 | | 和平電力地熱潛能場址評估與分析 | 2,960 | 和平電力股份有限公司 |
| 2 | 台東金崙地熱發電技術服務 | 500 | 全陽地熱公司 | | - | | |

十、分包研究

| 項次 | 分包項目名稱 | 分包對象 | 主持人 | 簽約金額 (新臺幣千元) | 實際執行 (新臺幣千元) | 簽約日期 | 執行期間 |
|----|-------------|----------------|-------|-----------------|-----------------|-----------|--------------------|
| 1 | 4D地熱流體成像技術 | 中華民國地球物理學會 | 陳建志教授 | 1,800 | 1,800 | 106.04.13 | 106.3.1~106.011.30 |
| 2 | 耐酸蝕複合管材先期研發 | 財團法人金屬工業研究發展中心 | 黃漢淞組長 | 10,000 | 10,000 | 106.06.07 | 106.3.1~106.011.30 |

十一、研討會及推廣活動

| 項次 | 活動名稱 | 舉辦地點 | 主辦單位 | 舉辦日期 | 人次 | 形態 |
|----|-----------------------------|------------------|------------------------|-----------------|----|------|
| 1 | 106 年度專案計畫產學研／業界合作說明會 | 集思台大會議中心 | 工研院 | 106.03.09 | 12 | 說明會 |
| 2 | 2017 火山型地熱系統國際研討會 | 集思台大會議中心 | 工研院與紐西蘭 GNS Science 合作 | 106.05.15~16 | 80 | 研討會 |
| 3 | 臺東紅葉溫泉地熱發電部落說明會 | 紅葉國小 | 威聯公司籌備處 | 106.09.11 | 66 | 說明會 |
| 4 | 「地熱發電政策環評」第一次專家諮詢會議 | 台北 | 工研院 | 106.07.06 | 12 | 座談會 |
| 5 | 宜蘭縣政府與台汽電、結元科技公司組成的聯盟舉行簽約典禮 | 清水地熱園區 | 宜蘭縣政府 | 106.07.14 | 60 | 推廣活動 |
| 6 | 國際地熱管材技術交流會 | 高雄蓮潭國際會館 402 會議室 | 工研院與金屬中心 | 106.09.30 | 60 | 研討會 |
| 7 | 2017 TWTM 台北國際發明暨技術交易展 | 世貿一館 | 經濟部 | 106.9.28~09.30 | - | 推廣活動 |
| 8 | 再生能源週_綠色能源展覽會 | 台北 | 經濟部 | 106.10.18~10.20 | - | 推廣活動 |
| 9 | 「地熱發電政策環評」第二次專家諮詢會議 | 台北 | 工研院 | 106.09.29 | 15 | 座談會 |
| 10 | 106「地熱開發廠商交流會」 | 能源局 | 能源局 | 2016/12/19 | 20 | 座談會 |
| 11 | 紅葉村紅葉段 791 號地熱發電使用諮詢同意部落會議 | 紅葉國小 | 紅葉部落 | 106.12.26 | 98 | 說明會 |

【備註】型態包含研討會、座談會、示範觀摩會及推廣活動等。

十二、人才培訓

| 項次 | 課程名稱 | 舉辦地點 | 舉辦日期 | 人次 | 金額(新臺幣千元) |
|----|------------------|------|-----------|----|-----------|
| 1 | 大屯火山地熱概念模式工作訓練課程 | 工研院 | 106.05.17 | 16 | - |

十三、人才培育

| 項次 | 學校名稱 | 系/所 | 姓名 | 博士/碩士 | 畢業日期 |
|----|------|-------|-----|-------|--------|
| 1 | 中央大學 | 地球科學系 | 吳秉昀 | 碩士 | 106.06 |

十四、環保效益

| 項次 | 技術名稱 | 應用領域 | CO ₂ 排放減量 | 效益說明 |
|----|----------------------|------|----------------------|--|
| 1 | 50kW 雙循環地熱發電示範系統運轉測試 | 再生能源 | 21 公噸 | 配合宜蘭縣「清水地熱綠能園區」地熱平台，進行地熱 200kW 地熱發電系統運轉發電。 |

【備註】CO₂減量成本=2,967 NT\$/t 《梁啟源，2007 年 10 月，能源稅及其配套對台灣經濟之影響，石油市場雙周報。》

1 kWh = 0.536 kg CO₂排放 《100 年度電力排放係數(能源局，2012)》

十五、能源效益

| 項次 | 技術名稱 | 應用領域 | 增加節能供應或節能量 (KLOE) | 效益說明 |
|----|------|------|-------------------|------|
|----|------|------|-------------------|------|

| | | | | |
|---|-----------------------|------|----|--|
| 1 | 200kW 雙循環地熱發電示範系統運轉測試 | 再生能源 | 20 | 配合宜蘭縣「清水地熱綠能園區」地熱平台，進行地熱 200kW 地熱發電系統運轉發電。 |
|---|-----------------------|------|----|--|

十六、宣導手冊

| 項次 | 手冊名稱 | 數量 | 出版日期 | 金額 (新臺幣千元) | 備註 |
|----|------|----|------|---------------|----|
| 1 | 無 | | | | |

十七、媒體露出

| 項次 | 廣告或活動主要內容 | 宣導方式 | 託播對象 | 刊登或播出時間 | 檔次 | 預計瀏覽人數 | 備註 |
|----|----------------------|------|--------|-----------|----|--------|----|
| 1 | 我國首座地熱電廠環評過關 | 新聞 | 自由時報等 | 106.04.20 | 6 | 1000 | |
| 2 | 節能減碳 綠島將設地熱發電機組試驗 | 新聞 | 公視新聞網 | 106.05.19 | 1 | 1000 | |
| 3 | 地熱發電玩真假 | 專題 | 民視 | 106.06.02 | 1 | 3000 | |
| 4 | 四磺子坪地熱發電可供金山 1 年用電 | 新聞 | 中國時報 | 106.06.11 | 1 | 1000 | |
| 5 | 供電 2.8 萬戶宜蘭地熱發電案簽約 | 新聞 | 中國網路 | 106.07.14 | 1 | 500 | |
| 6 | 廠商擬金崙蓋發電廠 部落說明多數民不知情 | 新聞 | 原住民網路 | 106.08.09 | 1 | 500 | |
| 7 | 邁向非核家園 綠委籲重視地熱能源 | 新聞 | udn 網路 | 106.08.22 | 1 | 200 | |

| | | | | | | | |
|----|---------------------------|-----|--------------|--------------|---|------|--|
| 8 | 宜蘭地熱發電 經濟部次長：盡快進行 | 新聞 | udn 網路 | 106.09.11 | 1 | 500 | |
| 9 | 2025 非核家園 綠色能源門陣發電 專訪李副局長 | 廣播 | 快樂聯撥網 | 106.09.25 | 1 | 500 | |
| 10 | 新北市政府於今(18)日舉行「地熱開發說明會」 | 說明會 | 中央社 新頭殼網路 | 106.12.18 | 2 | 2000 | |
| 11 | 台電首座地熱井綠島動工 年發電破百萬度 | 新聞 | 中央社等 | 106.12.28~29 | 2 | 1000 | |

十八、性別主流化推動成效及投入經費統計

計畫類型：■技術研發 □政策研析與決策支援 □效率管理與服務推廣□查核輔導與行政支援

| 類別 ^{註1} | 業務執行事項及性平成果推動說明 (視計畫屬性及其計畫推內容填寫，若無該項填報，可說明原因) | 性平使用經費 ^{註3} (仟元) |
|------------------|---|---------------------------|
| 性別統計 | <p>業務執行事項：</p> <p>(1)本計畫之參與人數 39 人之中，女性有 6 位，約占 15.4%；男性有 30 人，約占 84.6%。在計畫工時之比例上，女性約佔 9.9%，男性約占 80.1%。</p> <p>(2)本計畫預計培訓人才共計博碩士各二位，但於今年可畢業者男性有共一位。</p> <p>(3)本計畫中雖然只有 6 位女性，但是二位子項或孫項計畫負責人，執行台電公司綠島地熱發電規劃，負責規劃綠島地熱調查工作，本項工作由女性韓吟龍經理主導辦理，溫心怡博士協助執行和平電力委託全省地熱區調查案土場、瑞穗與霧露地區採樣及大屯火山地區土壤採樣，彭筱娟負責大屯山地熱區微震資料分析有多項專利之產出並負責業界合作工作項目開發創新研究，帶領另三位女性同仁共同研究，都是計畫不可或缺之角色。</p> | 628 |

| 類別 ^{註1} | 業務執行事項及性平成果推動說明 (視計畫屬性及其計畫推內容填寫，若無該項填報，可說明原因) | 性平使用經費 ^{註3} (仟元) |
|------------------|---|---------------------------|
| | 性平成果推動說明：鼓勵女性參與各種專業領域，並加強計畫參與人員性別意識培力，並以女性觀點更加仔細來做各項硬體規劃設計考量，營造女性友善就業環境，以確實達成性別平等的最終目標。 | |
| 性別意識培力 | <p>業務執行事項：傳閱台綜院所提供之性別主流化資訊，供內部同仁參考，以提升同仁性別平等意識：</p> <p>1. 「能源領域性別主流化專區」 (http://www.moeaboe.gov.tw/ECW/gender/welcome/default.html)除已配合政府要求，所有檔案符合開放文檔格式(OpenDocument Format, ODF)外，今年6月已將近期蒐錄的最新國內外能源與性平的相關資訊，放置於專區供各界自行下載瀏覽。</p> <p>2. 提供播放性平宣導影片：勞動部、衛生福利部、台北市政府性平宣導影片如下：勞動部—「走不開篇」 衛生福利部—「二分之一的力量」、「拒絕性騷擾-公共場所篇」，台北市政府—「網路性騷擾違法必罰」</p> <p>3. 上開10部影片皆已允許公開播放。</p> <p>性平成果推動說明：通過各種方式宣揚性別平等觀念，將使得兩性同仁都更能尊重彼此，了解不同性別之間的差異與優點，計畫執行更和諧順暢。</p> | 150 |
| 強化能源相關資訊提供之可近性 | <p>業務執行事項：</p> <p>(1) 參加經濟部能源局於106年8月17日(四)下午13:30假臺大醫院國際會議中心402(台北市中正區徐州路2號)舉辦「106年度能源領域性別主流化推動交流會—透過世界咖啡館，匯聚能源領域性平推動方針」，並由台灣綜合研究院性平團隊協助帶領。</p> <p>性平成果推動說明：會中簡報能源領域性別主流化推動情形與後續規劃之辦理，將性別平等觀念及辦理情況帶回執行之地熱計畫時宣導。</p> | 12 |
| 鼓勵女性投入與 | 業務執行事項： | 360 |

| 類別 ^{註1} | 業務執行事項及性平成果推動說明 (視計畫屬性及其計畫推內容填寫，若無該項填報，可說明原因) | 性平使用經費 ^{註3} (仟元) |
|-------------------|---|---------------------------|
| 決策參與 | (1)本計畫之女性韓吟龍博士帶領其研究團隊於本年度提出專利構想與申請專利1件，並於今年獲得專利共1件，專業領導地熱發電技術研究團隊。 (2)本計畫之女性韓吟龍博士與同仁共同接洽新北市政府金山地區地熱發電BOT計畫之推動及與台電公司合作開發綠島地熱潛能台電工研院合作評估與先期作業規劃。 性平成果推動說明：鼓勵女性參與不同專業領域之工作，發揮性別特點。 | |
| 培育民間社團、 結合民間力量 | 業務執行事項：無 性平成果推動說明：本計畫業務尚無與民間社團接觸之場合。 | 0 |
| 其他 | 業務執行事項： (1)依據103年12月11日修正公布「性別工作平等法」(以下簡稱性平法)相關規定辦理，女性人員妊娠期間給予產檢假五日，產檢假期間薪資照給。 (2)女性人員因生理日致工作有困難者，每月得請生理假一日，全年請假日數未逾三日，不併入普通傷病假計算。性平成果推動說明：改善女性工作環境 | 50 |
| 總計性平使用經費(仟元) | | 1200 |
| 占計畫總經費比例(%) | | 1.34 |

註1：六大類別係將行政院「性別平等政策綱領」與能源領域相關之24項具體行動措施，整併成六大類成果，包括「性別統計」、「性別意識培力」、「強化能源相關資訊提供之可近性」、「鼓勵女性投入與決策參與」、「培育民間社團、結合民間力量」及「其他」等類別。

註2：「業務執行事項」係指本年度計畫應執行之工作內容；「性平成果推動說明」係依據上開「業務執行事項」如何融入性平觀點進行成果推動之說明。

註3：「性平使用經費」請依據實際支出情況填寫。如有辦理與性平業務有關之經費，可提供估算分攤經費。如於執行業務併同辦理性別統計或性平相關推動時，毋須另編列經費或難以估算性平經費者，亦僅補充說明即可。

(六) 重要績效指標(KPI)統計

| 成 果 | 項 目 | 預 定 | 實際達成 | 說 明 | |
|--|--------------------|--------|---------|---|--|
| 一、專利權 (項數) | 申 請 | 國 內 | 1* | 1 | 1.水溶氣體採樣組件。 |
| | | 國 外 | 1* | 0 | |
| | 獲 得 | 國 內 | 1 | 0 | 1.產生嗜熱性鹼性蛋白(酶)生產菌屬 (Tepidimonas) 之胞外蛋白的方法 2.改質碳材與其形成方法及塗料 |
| | | 國 外 | 1* | 2 | |
| | 運 用 | 國 內 | 0 | 0 | |
| | | 國 外 | 0 | 0 | |
| 二、成果運用獲得之總收入(含授權金、權利金、技術服務費、合作研究配合款及其他衍生收入等) | 金 額 (新 臺 幣 千 元) | 4850 | 5388.6 | 1.業合 1 項 1 家：地熱田開發關鍵技術-耐酸蝕金屬材料技術先期開發，金額 50 萬。 2.技術服務 2 項 3 家：耐酸蝕合金管材 142.86 萬、和平電力地熱潛能場址評估與分析 296 萬，全陽地熱公司台東金崙地熱發電技術服務 50 萬。 | |
| 三、技術移轉金(含技術及專利之授權金及權利金) | 金 額 (新 臺 幣 千 元) | 0 | 0 | | |
| 四、促進投資生產 | 件 數 | 2* | 6 | 1.李長榮化工團隊投資台東金崙地熱場址 10,000 千元。 2.台電綠島成為我國第一座再生能源島投入資金 92,000 千元。 3.和平電力地熱潛能場址評估與分析投入資金 8,000 千元。 4.光谷精密不鏽鋼熔鑄技術提升投 2,000 千元。 5.威聯公司籌備處「地熱能發電系統示範獎勵」申請投 2,000 千元。 6.宜元公司清水地熱發電新建、增建、改修營運及移轉案 (BOT + ROT) | |
| | 項 數 | 2 | 2 | 1.地熱知識庫及蘊熱評估 2.地熱儲集層工程技術 | |
| | 金 額 (新 臺 幣 千 元) | 60,000 | 126,000 | | |

註 1：專利權請提報具應用價值之專利權項數。

註 2：成果項目經費金額以未稅計算。

(七) 重要成果說明

1. 「具應用價值之專利權數量」、「成果運用獲得之總收入(含授權金、權利金、技術服務費、合作研究配合款及其他衍生收入等)」、「技術移轉金」(含技術及專利之授權金及權利金)及「促進投資生產」等 KPI 之預期目標及達成情形。

(1) 「具應用價值之專利權數量」:本年度提出發明專利申請共國內 1 項，本年度獲得專利共國外 2 項，未來可應用於地熱發電技術與相關工業生產。

(2) 「成果運用獲得之總收入」:本年度計畫所開發之儲集層工程技術與地熱發電系統技術成果運用於 4 家業者，簽約金額 538.86 萬元，其中，地熱田開發關鍵技術-耐酸蝕金屬材料技術先期開發，可協助廠商評估投入高功能性材料發展可行性或提供不鏽鋼熔鑄技術提升以降低管材費用，未來產品推廣至國內溫泉及地熱產業。

2. 專利產出與應用說明

(1) 申請專利名稱:水溶氣體採樣組件中華民國發明專利。一種水溶氣體採樣組件，包含一環形透氣膜、一支撐件、多個支撐球、一採樣管、一密封環以及一束環。環形透氣膜具有一容置空間。支撐件設置於容置空間中，且支撐件將容置空間分隔出相連的多個子空間。支撐球分別設置於子空間中。採樣管具有一儲氣空間，且儲氣空間連通容置空間。密封環位於容置空間中之其中一端部。束環套設於環形透氣膜且對應密封環。束環用以將環形透氣膜及密封環套設於採樣管。

(2) 本年度獲得專利 2 件；為國外專利 2 件：專利名稱產生嗜熱性鹼性蛋白(酶)生產菌屬 (Tepidimonas) 之胞外蛋白的方法(專利證號 9,580,738)、改質碳材與其形成方法及塗料(專利證號 ZL201410647140.8)。

3. 其他重要成果

- (1) 持續與國科會能源國家型計畫(NEP-II)合作，與中油公司從事宜蘭地區深鑽計畫合作，協助計畫 2 口深井進行產能測試。與台電公司合作開發綠島地熱潛能，並簽訂合作意向書、與新北市合作開發金山地熱發電，並簽訂合作意向書，並提供四礮子坪公有地進行地熱探勘作業。
- (2) 本年度持續提供熱水給宜蘭縣政府設置之溫泉休閒遊憩區，有效提升清水地熱區之觀光效益與遊客安全性。提供清水 50kW 雙循環地熱發電系統，配合「地熱公園」開發持續提供發電，讓清水成為臺灣自主發電的觀光園區，提供當地長期就業人數達 10 人。
- (3) 配合孔文吉立委於立法院就臺東縣延平鄉 106 年度部落(地方)建設座談會，與能源局長官現勘臺東縣延平鄉紅葉溫泉，並完成臺東縣延平鄉紅葉溫泉現勘報告。
- (4) 孔文吉立委於立法院召開仁愛鄉地方建設座談會列管案件進度說明協調會會議紀錄第二條；關於馬赫坡部落地熱探勘開發案，配合仁愛鄉公所現勘仁愛鄉精英村馬赫坡溫泉部落，並完成南投縣仁愛鄉精英村馬赫坡溫泉部落現勘報告。
- (5) 與紐西蘭 GNS 地熱研究中心合作，共同於台北舉辦「火山型地熱系統國際研討會」。並邀請美國、日本、紐西蘭、菲律賓及印尼等國專家，針對火山型地熱系統開發經驗進行交流。會議時間於 106 年 5 月 15-16 日(星期一、二)，報名會議參加人數 60 人，及本研討會論文集 1 篇。
- (6) 我國地熱資源徵兆區經過近 60 年的調查探勘業已逐漸明朗，為加快地熱發電設置，以達再生能源施政目標，經濟部能源局擬放寬現行「地熱能發電系統示範獎勵辦法」，降低業者限制條件並提高獎勵誘因，分攤業者地熱發電探勘風險，以促進民間投入地熱電廠之開發與營運。本計畫除盤點國內地熱資源外，亦協助能源局就本草案內容撰寫與修訂。

(八) 設備使用情形

| 儀器設備名稱〔中、英文〕 | 國別/廠牌/型號 | 功能 / 用途 | 主要規格 | 購置金額及日期 | 財產編號 |
|--------------|----------|---------|------|---------|------|
| 無 | | | | | |

(九) 性別主流化推動成果說明

一、106 年度推動成果說明

業務執行事項：

- (1)本計畫之參與人數 39 人之中，女性有 6 位，約占 15.4%；男性有 30 人，約占 84.6%。在計畫工時之比例上，女性約佔 9.9%，男性約占 80.1%。
- (2)本計畫中雖然只有 6 位女性，但是二位子項或孫項計畫負責人，本項工作由女性韓吟龍經理主導辦理，溫心怡博士協助執行，彭筱娟負責大屯山地熱區開發創新研究，帶領另三位女性同仁共同研究，是計畫不可或缺之角色。

性平成果推動說明：鼓勵女性參與各種專業領域，並加強計畫參與人員性別意識培力，並以女性觀點更加仔細來做各項硬體規劃設計考量，營造女性友善就業環境，以確實達成性別平等的最終目標。

- (3)本計畫之女性韓吟龍博士帶領其研究團隊於本年度提出專利構想與申請專利 1 件，並於今年獲得專利共 1 件，專業領導地熱發電技術研究團隊。
- (4)本計畫之女性韓吟龍博士與同仁共同接洽新北市政府金山地區地熱發電 BOT 計畫之推動及與台電公司合作開發綠島地熱潛能台電工研院合作評估與先期作業規劃。

性平成果推動說明：鼓勵女性參與不同專業領域之工作，發揮性別特點。

二、後續辦理規劃

107 年度在計畫持續推動及性別主流化之相關業務，並配合能源局政策落實性別主流化業務。)

五、結論與檢討

5.1 研究結果

本年度高效能地熱發電技術研發計畫為期一年，以下為各項工作期末執行進度之結論與檢討：

(1) 專家輔助決策系統

- A. 地熱資訊庫建置項目，本年度蒐集完成並加入資料庫的有磺嘴山地區以及宜蘭清水至土場地區水樣採樣化驗成果資料，以及土場仁澤間之 AMT 調查資料及成果。相關國內外技術與探勘相關論文做持續蒐集更新工作；另外，針對全台灣地熱潛能區的潛能資料也做了完整盤點，以做為我國地熱發電目標策略規劃擬定依據。
- B. 本項工作針對地熱田長期運轉穩定性與最大發電量評估需求，進行最佳發電量評估模組開發。以宜蘭清水為例，所開發之模組功能，將可依不同抽注水井搭配組合，並設定最終溫度條件執行最佳化運算。其評估結果將提供模擬總時間、抽水井位置、注水井位置、注水溫度(攝氏)，以及最佳化操作建議，如抽水規模(噸/小時)、注水規模(噸/小時)、總發電量及 20 年後熱流狀態(攝氏)等資訊，可供宜蘭清水地熱電廠抽水操作參考。

(2) 耐酸蝕井管金屬材料技術

- A. 本年度使用矽烷衍生物反應為聚合物，加入環氧樹脂作為交聯劑，強化合成物交聯後強度。因而提高材料可塗佈性，可製作成緻密塗層，並增加耐溫性。在長時間測試及場域靜態測試中通過耐蝕性測試。關鍵的技術在於基材與防護膜的披覆性與附著性，將進一步進行更嚴苛之環境測試。金屬表面電漿改質，雖然可以增加表面氮含量，提升抗蝕當量，但因造成鉻偏析，反而導致抗蝕能力下降。
- B. 本年度耐酸蝕雙層管材之外層選用雙相不鏽鋼 2507，而內層材料選用之 Hoganas 1560 鎳基合金，而後進行 7 英吋 2 公尺長耐蝕雙層金屬管材之開發。

- C. 管材製程分為兩個階段，首先進行外層管件的製作，將材料利用高週波爐熔融後，澆鑄至模具內(澆鑄溫度約為 1600°C)，而後模具保持高速旋轉使材料能夠均勻的離心凝固成型，待冷卻至室溫後，即可得到離心鑄造外層管粗胚。再經搪磨加工去除氧化層以確保雙層材料之結合性，填入內層材料 Hoganas 1560 鎳基合金粉末，密封外管兩端後抽成真空狀態，外管加溫至 1100°C(確保管內高於 1000 °C)進行第二次離心鑄造，冷卻後並進行整體管件之尺寸精修，即可得最終成品之管件。
- D. 本計畫以大屯火山地熱水體作為模擬溶液，進行 200°C 高溫腐蝕試驗，根據重量損失量測的腐蝕速率依序為 1560 > Duplex 2205 ≈ C-276 > Duplex 2507≈ Duplex 2594。根據 SEM 和 EDS 分析結果顯示雙相不銹鋼表層確實有點腐蝕的情況發生，其中 Duplex 2507 的腐蝕深度也較 Duplex 2205 淺一些，顯示和重量損失量測的結果一樣。並且在雙相不銹鋼的表層形成一層結構疏鬆的氧化鉻保護層，導致後來反應時間拉長腐蝕速率減緩的情況發生。且經真直度量測、氮化處理後硬度測試、水壓試驗、及高溫動態、靜態腐蝕測試後，其整體完整度及性質部分均接近各規範及本計畫要求之標準

(3) 地熱潛能區水文地質概念模式建立

- A. 完成大屯火山(磺嘴山區)及清水土場地熱潛能區水文觀測站設置工作，包含清水溪、萬里磺溪及磺溪水文觀測站等 3 處。磺溪及萬里磺溪集水區面積分別為 50 及 40 平方公里；清水溪集水區面積為 98 平方公里。水文觀測站觀測項目包括：(1)50/100 cm 深度的土壤含水量、(2) 河川水位、(3)河川表面流速、(4)皿蒸發量、(5)50/100 cm 深度的土壤張力值、(6)50/100 cm 深度的地溫、(7)降水量、(8)環境中溫度與濕度及(9)日照強度等 9 項。
- B. 清水地熱潛能區水文觀測站自 2017 年 4 月 6 日起進行觀測，至 2017 年 11 月 27 日止共連續紀錄 5,636 筆資料；大屯火山磺溪地熱潛能區水文觀測站自 2017 年 7 月 5 日起進行觀測，至 2017 年 11 月 27 日止共連續紀錄 3,480 筆資料；大屯火山萬里磺溪地熱潛能區水文觀測站

自 2017 年 10 月 18 日起進行觀測，至 2017 年 11 月 27 日止共連續紀錄 960 筆資料。

- C. 完成台灣地熱潛能區大尺度與中尺度水文地質環境及熱水上升分區，並針對東北部清水土場地熱潛能區進行小尺度水文地質單元分類與分析。東北部變質岩帶水文地質分類方面，第 1 類為以裂隙為介質之固結岩層，依據岩層之來源與組成而將之細分為 F1 至 F5 等五種次分類；此類岩層多屬孔隙率較小且膠結甚固之岩層，這些岩層受到地質構造運動多有節理與裂隙，可提供地下水之蓄存與通路。第 2 類為孔隙介質之半固結至固結岩層，依據岩層之來源與孔隙變化再細分為 P5 至 P8 等四種次分類；此類可能因膠結鬆散或屬岩質軟弱之岩層，較不受到地質構造運動的影響而少節理與裂縫結岩層，地下水之特性主要受岩層孔隙率大小變化之影響。第 3 類為孔隙介質之非固結層，再細分為 P1 至 P4 等四種次分類。
- D. 於大屯火山群磺嘴山地熱區完成 7 處溫泉水、2 個雨水和一個溪水樣本的放射性碳同位素(碳-14)分析。藉由衰變公式計算其碳-14 年代，結果顯示在大油坑、馬槽、七股、煨子坪與四磺子坪為兩萬年到三萬年的年紀；雖然水尾與金泉距離主要熱液活動區較遠，但碳-14 年代仍顯示為一萬兩千到三萬年。根據分析結果計算與空氣混合比例，顯示在上磺溪水中 95% 以上都是空氣來源，岩漿水來源的比例最低，菁山雨水混合了來自岩漿氣體的老二氧化碳，因此空氣來源只佔 80%。其他地熱徵兆區大油坑、馬槽、七股、煨子坪與四磺子坪的溫泉水中之岩漿熱液含量佔 90% 以上，水尾具有高達 95% 以上的岩漿熱液比例，金泉則佔 80%。由於金泉與水尾地區和其他主要地熱徵兆區相距較遠，且在其中並未有明顯的地熱徵兆或是溫泉露頭出現，因而推測在金泉和水尾地區可能存在另一個岩漿庫或是岩漿通道以供給熱源和熱水。
- E. CFCs 綜合判釋推測熱水來源年代，顯示大屯山地熱區以金泉溫泉及泉源公園井最年輕，為 1995 以後，主要是檢測到高於背景濃度之 CFCs，顯示水源有明顯受到人工干擾，受地表補注影響大；另四磺子坪、大

豐修車廠、湖山國小(產發局)、地熱谷爆裂口之熱水來源年代最老，推測為 1953 以前，顯現以上採樣點所在區域之地熱流體受到地表補注影響較小，地熱流體來源可能為較深層之岩漿熱液，或是來自補注途徑較長之熱液循環流體。

- F. 推斷磺嘴山地熱區儲集層補注年代，煖子坪爆裂口補注來源在 1983 年前後，四磺子坪可能在更早之 1953 年以前，而八煙爆裂口在 1969 年前後。若假設四磺子坪補注來源最年輕時為 1953 年，則三區域平均補注年代為 1968，亦即磺嘴山地熱區儲集層流體循環所需時間大於 50 年。

(4) 四磺子坪區地熱儲集層特性調查評估

- A. 根據 E303 井回注試驗結果，可推估 E303 井鄰近地熱儲集層之 kh 值為 3.08 darcy-meter、 S_{skin} 值-1.77、 ϕ 值為 0.085，並計算出磺嘴山區儲集層可能存在 16.5×10^8 立方公尺地熱流體。
- B. 結合磺嘴山地熱區儲集層流體循環所需時間大於 50 年，可得磺嘴山區地熱流體年自然補注量小於 0.33×10^8 立方公尺。

(5) 地熱發電政策可行性評估

- A. 地熱發電政策對於加速我國再生能源發展、培植綠能產業自主技術、提升經濟與就業機會成長均有正面助益。
- B. 透過本政策區位劃設的排除原則，可事先迴避環境敏感或影響重大之區位，減少個案環評與環境保護之衝突，也能降低地熱發電之投資風險。
- C. 本政策評估結果，對於氣候變化綱要公約有地域性乃至全球性的正面影響，對人口及產業、能源使用、經濟效益及公共設施與社區發展有地域性至全國性的正面影響；相對而言，對於地域性的空氣品質、水體(地下水)水質、廢棄物處理、噪音、非游離輻射、陸域生態、水域生態、自然生態景觀及棲地、國民健康及安全、土地資源之利用、水資源體系及用途與交通運輸則有負面影響，但透過迴避策略與因應對策的採用，將不致影響環境之涵容能力。

- D. 本政策評估擬定之環境影響因應對策，可作為後續地熱發電個案環評之指導方針，有助於提升個案環評之作業速度與品質。
- E. 未來應持續收集國外地熱發電產業所引發之地質災害，建立防災配套措施，並同時考量整體地熱發電整體生命週期，研擬地熱發電設置安全規範、緊急應變措施、除役規劃、營運期間控管等課題等，作為地熱發電個案環評之依據。
- F. 根據本政策評估結果，專區開發方式進行地熱開發有利於政府各部門協調與資源整合，且預先迴避敏感及保護區位，以符合國家環境保護政策及國土空間整體利用規劃，更有助於地熱發電規模經濟之發展，為具有永續性考量之產業開發政策。

(6) 微震觀測網監測與分析

- A. 本年度已完成大屯火山微震網設備訪查及即時監測系統擴增建置，另於伺服器作業環境下架設地震資料處理平台，並成功藉由無線傳輸模組進行資料回傳並即時展示。
- B. 本年度持續監測微震背景資訊，延續前案執行成果，已完成定期微震資料下載至 2017 年 11 月，微震資料處理進度至 2017 年 7 月，更新微震背景監測定位結果與 P 波速度成像模型，主要特徵為兩東北-西南向之高速條狀分布，平行於主要構造線，並分別位於三條構造線之間。
- C. 整合 2014 至 2017 年之微震事件進行時間上的分布統計，累積微震事件共 4,275 個。時間分布上僅 2014 年 2 月份因士林地震及其餘震序列而造成單月地震數量超過 300 個，其餘月份之地震數量平均約 90 個，規模約落在 0.9-1.5 之間，無明顯有感地震產生。

5.2 執行檢討與建議

- (1) 地熱潛能區土場溪仁澤水文觀測站，本年度與羅東林管處尚未完成使用土地租借簽約手續，因此並無水文觀測站可進行長期觀測，後續恐將無法進行清水土場地熱區塊整體水文循環分析。因此建議下一年度再與林管處協商土地租借事宜，以補足土場地熱區相關水文資料。
- (2) 在耐酸蝕雙層管材部分，因應目前所做之高溫靜態腐蝕試驗之結果與實地動態腐蝕試驗之結果明顯有所差距，腐蝕為環境與基材複雜交互作用而產生的行為，其中牽扯到的因子不計其數，因此如何改善腐蝕試驗參數及方法，使其更能與實地測試之結果趨於平衡，將是耐酸蝕管材後續研究重要課題。另外，地熱能源用耐酸蝕管材之後續開發需考量幾個狀況，首先為長度，為加長管材長度，減少接管次數(腐蝕起始點)，本年度開發之 2 公尺管材長度仍待增長，因此 107 年度以 4 公尺長為目標，改善製程及生產設備；第二為管材螺牙之相接處耐腐蝕強度，避免腐蝕現象發生造成套管斷裂，可行方法為外管材先完成螺牙製作，再進行內管材披覆；第三為特殊管材製造，亦即取水口之篩管，為防止取水時大型砂石堵塞管材，在管材上切割大量孔隙做為砂石過篩機制，也會成為沖蝕起始點，亦需要先進行切割再披覆耐腐蝕層，螺牙與篩管將在 107 年度進行可行性評估，以確保耐酸蝕長管製程於實地應用之可行性。

六、參考文獻

1. 工業技術研究院 (2014) 高效能地熱發電技術研究計畫。經濟部能源科技研究發展計畫執行報告，共 316 頁。
2. 工業技術研究院 (2016) 高效能地熱發電技術研發計畫(1/3)。經濟部能源科技研究發展計畫執行報告，共 190 頁。
3. 李伯亨、游明芳、郭欽慧、劉力維、范愷軍、李奕亨、柳志錫、歐陽湘、何無忌 (2016) 涵蓋硫磺谷與龍鳳谷區域之地熱儲集層模式探討，中華民國地球物理學會與中華民國地質學會 105 年年會暨學術研討會。
4. 李伯亨、李清瑞、郭泰融 (2011) 清水熱儲集層數值模型驗證與檢討。工業技術研究院，共 50 頁。
5. 李清瑞、韓吟龍、江道義 (2012) 清水地熱區儲集層參數研究及發電潛能評估。臺灣礦業，第 64 卷，第 9-17 頁。
6. 行政院環境保護署 (2006) 「政府政策環境影響評估作業辦法」，民國 95 年 4 月。
7. 行政院環境保護署 (2007) 「政府政策評估說明書作業規範」，民國 96 年 1 月。
8. 行政院環境保護署 (2012) 「空氣品質標準」，民國 101 年 5 月。
9. 行政院環境保護署 (2017) 「地面水體分類及水質標準」，民國 106 年 9 月。
10. 行政院環境保護署 (2016) 「放流水標準」，民國 105 年 1 月。
11. 行政院環境保護署 (2013) 「噪音管制標準」，民國 102 年 8 月。
12. 地熱發電事業に係る自然環境影響検討会(2011)国立・国定公園内における地熱開発に係る通知見直しに向けた，日本環境省，平成 23 年。
13. 宋聖榮 (2017) 臺灣地熱能源發展的現況、展望與困境。
14. 王守誠、陳永松、張忠誠、李篤華、莊慶達、李昭興(2016)，我國地熱能環境效益潛能及近年國際成功策略比較，臺灣能源期刊 3(4): 477-490。
15. 張秉權及吳建民(1989)，台灣地區之二十萬分之一水文地質圖，經濟部中央地質調查所，水文地質研討會論文專輯，第 13-18 頁。

16. 張寶堂(1979)，臺灣地熱徵兆分布之特性。能源季刊，第9卷，第4期。
17. 張寶堂(1995)，台灣溫泉與地熱探勘。能源資源與環境季刊，第8卷，第3期。
18. 張寶堂及李春生(1984)，台灣變質岩區地熱產狀之地質控制因素，工業技術，第116期。
19. 陳肇夏(1981)，地熱地質與探勘，貞觀出版社。
20. 陳肇夏(1989)，台灣的溫泉和地熱，地質，第9卷，第2期。
21. 陳肇夏(2000)，溫泉即地熱資源，工程地質技術運用研討會(XI)。
22. 經濟部中央地質調查所(2011)「台灣山區地下水資源調查研究整體計畫-第一期」-台灣中段山區流域水文地質調查及圖幅彙編第二年度期末報告。
23. 經濟部中央地質調查所(2013)易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置圖冊。
24. 鄧屬予、吳逸民、陳婷婷及林英勝(2014)宜蘭地區地熱大地構造與地下地質。第二期能源國家型科技計畫地熱及天然氣水合物主軸中心-103年地熱分項成果發表會論文集。
25. 經濟部能源局(2016)「2016年能源產業技術白皮書」，民國105年9月。
26. 簡慧貞、呂慶慧、敖家綱、曾湘捷、陳俊佑、彭毓之、鄭如琇(2016)臺灣地熱發電減碳潛能與環境衝擊管理芻議，環境工程會刊。
27. 邱裕閔(2007)來自地心的贈禮-地熱發電，台灣產業服務基金會。
28. 郭佳韋(2016)，淺談台灣地熱發電法規問題，核研所能源經濟及策略研究中心。
29. Bosch, J.M. and Hewlett, J.D. (1982). A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration”, Journal of Hydrology, vol. 55, 3-23.
30. Busenberg, E., and Plummer, L. N., (2000). Dating young groundwater with sulfur hexafluoride: Natural and anthropogenic sources of sulfur hexafluoride, WATER RESOURCES RESEARCH, Vol. 36(10), 3011-3030.
31. Busenberg, E., Weeks, E. P., Plummer, L. N., and Bartholomay, R. C.,

- (1993). Age dating ground water by use of chlorofluorocarbons (CCl₃F and CCl₂F₂), and distribution of chlorofluorocarbons in the unsaturated zone, snake river plain aquifer, Idaho intional engineering laboratory, Idaho. U.S.G.S Report.
32. Bu, X, and Warner, M. J., 1995, Solubility of chorofluorocarbon 113 in water and seawater. *Deep-Sea Res.*, Vol. 42, No.7, 1151-1161.
 33. Cheng, W., T. Kuo, C. Su, C. Chen, K. Fan, H. Liang, Y. Han, 2010, Evaluation of natural recharge of Chingshui geothermal reservoir using tritium as a tracer, *Radiation Measurements* , Vol. 45, pp. 110-117.
 34. Chiodini, G., Cioni, R., Guidi, M., Raco, B. and Marini, L. 1998, Soil CO₂ flux measurements in volcanic and geothermal areas. *Appl. Geochem.*, 13, 543-552.
 35. Dietz, D. N., 1965. Determination of Average Reservoir Pressure From Build-Up Surveys, *J. Pet. Tech.*, 955-959.
 36. Earlougher, R. C., Jr., 1977. *Advances in well test analysis*. Monograph Series 5, Society of Petroleum Engineers of AIME, Dallas.
 37. Fan, K. C., Kuo, M. C. Tom, Liang, K.F., Lee, C. S., Chiang, S. C. 2005. Interpretation of a well interference test at Chingshui geothermal field, Taiwan, *Geothermics*, Vol. 34, pp 99-118.
 38. Hagedorn B., El-Kadi A.I., Mair A., Whittier R.B., Ha K., (2011). Estimating recharge in fractured aquifers of a temperate humid to semiarid volcanic island (Jeju, Korea) from water table fluctuations, and Cl, CFC-12 and 3H chemistry. *J Hydrol* 409:650–662.
 39. Horner, D. R., 1951, Pressure build-up in wells, in *Proc. Third World Petroleum Congress*, The Hague, section II: E. J. Brill, Leiden, p. 503–521.
 40. Hung, T. C., Shai, T. Y., and Wang, S. K. (1997), A Review of Organic Rankine Cycles (ORCs) for the Recovery of Low-Grade Waste Heat. *Energy*, 22, pp. 661-667.
 41. IAEA, (2006). *Use of chlorofluorocarbons in hydrology : a guidebook*.

International Atomic Energy Agency, Vienna.

42. IPCC (2011). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. LCA Harmonization, <http://en.openei.org/apps/LCA/>
43. Johnston, C. T., P. G. Cook, S. K. Frappe, L. N. Plummer, E. Busenberg, and R. G. Blackport, (1998). Ground water age and nitrate distribution within a glacial aquifer beneath a thick unsaturated zone, *Ground water*, Vol. 36, 171-180.
44. Kinzig, A. P. and Socolow, R. H. (1994) Human impacts on the nitrogen-cycle. *Physics Today*, 47(11), 24-31.
45. Koh, D. C., Ha, K., Lee, K. S., Yoon, Y. Y., and Ko, K. S., (2012). Flow paths and mixing properties of groundwater using hydrogeochemistry and environmental tracers in the southwestern area of Jeju volcanic island. *Journal of hydrology*, Vol. 432, 61-74.
46. Koh, D. C., Plummer, L. N., Solomon, D. K., Busenberg, E., Kim, Y. J., and Chang, H. W., (2006), Application of environmental tracers to mixing, evolution, and nitrate contamination of ground water in Jeju Island, Korea. *Journal of hydrology*, Vol. 327, 258 – 275.
47. Kurata, Y., Sanada, N., Nanjo, H. and Ikeuchi, J. (1992). Material damages in geothermal power plants. *Proc 14th New Zealand geothermal workshop* pp.159 - 164.
48. List, R. J., *Smithsonian Meteorological Tables*. Sixth ed. Smithsonian institution press, Washington DC, 527, 1949.
49. List, R. J. (1949), *Smithsonian Meteorological Tables*. Sixth ed. Smithsonian institution press, Washington DC, 527.
50. M. Skakov et al., , 2013 "Nitriding and Carbonitriding Influence on Stainless Steels Surface Layers Changes", *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 379, pp. 105-109.
51. Parkinson, K. J. (1981) An improve method for measuring soil respiration in the field. *Jour. Applied Ecology*, 18, 221-228.

52. P. Gupta et al., 2005, “Synthesis and characterization of hard metal coatings by electro-plasma technology”, *Surface and Coatings Technology*, Vo. 200, pp. 1587-1594.
53. Strobel, C.J., Gulati, M.S. and Ramey, H.J.Jr., (1976). Reservoir limit tests in a naturally fractured reservoir – a field case study using type curves. *J. Petrol. Techn.*, 28(9): 1097-1106.
54. Tester, J.W., Anderson, B.J., Batchelor, A.S., Blackwell, D.D., DiPippo, R., Drake, E.M., Garnish, J., Livesay, B., Moore, M.C., Nichols, K., Petty, S., Toksöz, M.N., Veatch, Jr. R.W. (2006). *The Future of Geothermal Energy – Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century*, MIT – Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
55. UNEP (2015). *GREEN ENERGY CHOICES-The Benefits, Risks and Trade-Offs of Low-Carbon Technologies for Electricity Production*.
56. USGS website 1 (2016a)
<https://water.usgs.gov/lab/chlorofluorocarbons/background/>.
57. USGS website 2 (2016b)
<https://water.usgs.gov/lab/chlorofluorocarbons/sampling/bottles/>.
58. Warner, M. J., and Weiss, R. F. (1985), Solubilities of chlorofluorocarbons 11 and 12 in water and seawater. *Deep-sea Res*, Vol. 32, 1485-1497.
59. Winkler, G., Reichl, P., Strobl E. (2003). Hydrogeological conceptual model-fracture analyses to determine hydrogeological homogeneous units in hard rock. *RMZ-Material and Geoenvironment*, 50 (1), 417–420.
60. X. Nie, C. Tsotsos, A. Wilson, A.L. Yerokhin, A. Leyland, A. (2001) *Matthews Surface and Coatings Technology*, 139, p. 135

七、附件

附件一、重要成果照片及說明



照片 1、「2017 火山型地熱國際研討會與會貴賓合影」(106.05.16)



照片 2、辦理地熱開發廠商交流座談會(106.12.19)



照片 3、新北市召開大屯山四礮子坪地熱開發座談會邀集相關業者與會
(106.03.29)

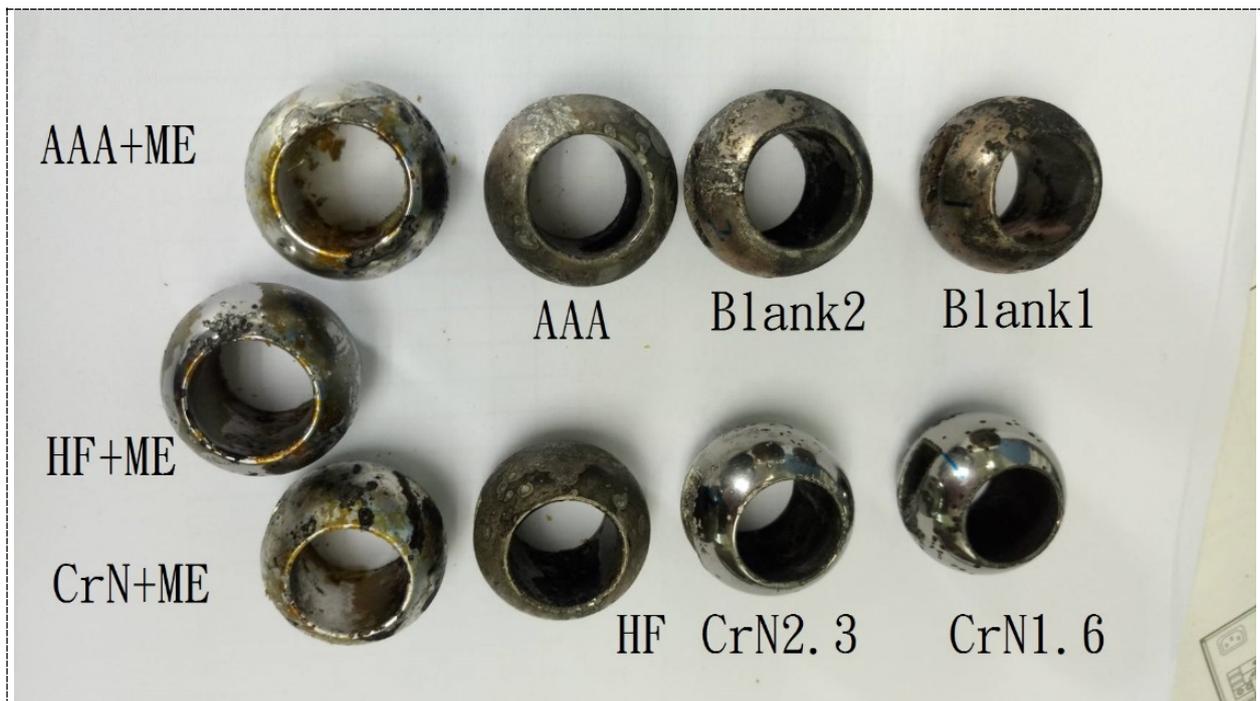


照片 4、「地熱開發說明會」邀集產官學研人員與會，新北市政府/提供(106.12.18)



照片 5 金山溫泉場域環境測試板片浸泡 8 日

照片說明：使用矽烷衍生物反應為聚合物，加入環氧樹脂作為交聯劑，強化合成物交聯後強度，提高材料可塗佈性，可製作成緻密塗層，並增加耐溫性。在長時間測試及場域靜態測試中通過耐蝕性測試。關鍵的應用技術在於基材與防護膜的披覆性與附著性。照片所示為鋁合金基材，緻密塗層可以保護基材不被侵蝕，維持金屬結構；對照於鋁合金未處理區域，可以證明防蝕效果極佳；本測試元件經過 8 日浸泡，無塗層的區域金屬基材被侵蝕，導致重量損失 50%，而塗層區域大致完好無脫落，此次測試說明鋁合金粗糙化表面處理方式結合聚合物緻密塗層可以達到防止基材銹蝕的目的。



照片 6 金山溫泉場域環境測試球閥浸泡 8 日

照片說明：於金山溫泉場域進行環境浸泡測試，比對基材經各種表面處理後之抗蝕狀態；CrN 物理鍍膜處理試片表面雖能保持部分金屬光澤，然而仍有孔蝕破壞的問題(右下方兩件)，而球閥流道區域因物理鍍膜不完整產生均勻腐蝕的現象；單純使用化學處理法(A-A-A (alkaline-acid-alkaline) process 活化處理產生鈍化膜的抗蝕效果不佳；若將 CrN 物理鍍膜處理結合材化所調配聚合物緻密塗層(左方三件)，球閥流道防蝕效果提升，然而由於 SUS316 表面處理的參數尚未達到最佳化，高分子保護膜的附著力依然不足，聚合物緻密塗層有脫落現象。

附件二、分包計畫摘要說明

| 項次 | 計畫名稱 | 研究目的、範圍或規格 | 預定分包對象之資格或條件 | 預估金額(千元) |
|----|-------------|---|------------------------------|----------|
| 1 | 4D地熱流體成像技術 | 4D地熱流體成像技術為一項新穎的地熱調查與監測方法，透過地表監測可以了解地熱儲集層中流體隨時間的變化情形，作為開發初期生產井位選取及地熱田維護管理的重要工具。 | 中華民國地球物理學會(地球物理專業並有相關執行計畫實績) | 1,800 |
| 2 | 耐酸蝕複合管材先期研發 | 1.利用雙層離心鑄造技術製造耐強酸腐蝕之金屬管材，以解決火山區地熱生產井強酸腐蝕問題。2.參考國際地熱相關規範，進行國際地熱管件檢測標準方法與能量規劃，並持續推動地熱管材零組件產業相關合作及交流活動，以奠定後續產業化基礎。 | 財團法人金屬工業研究發展中心 | 10,000 |

1. 4D地熱流體成像技術

地球物理探勘技術已經被廣泛應用於監測地熱流體的問題上，其中又以電法應用最為普遍。當地熱流體生產時會造成流動電位，同時使地層導電率發生變化，本計畫旨在研發一套符合地熱田場址流體成像監測所需，並可同時量測自然電位與人工電位之儀器系統，以提升國內地熱資源開發能力，相關物理條件下之理論推導與電腦程式模擬，也於本計畫執行過程中陸續研究並建立。在2015年本計畫第一年度，我們已完成了適應出現於多數金屬套管鑽井場址的長線型電流源條件下的電場數值模擬，模擬結果最大不同於點電流源條件處，乃在於源場的衰減相對緩慢，因此長線型電流源提供了強大的場源能量，將有助於後續地層電性變異過程的偵測。第二年度(2016年)執行階段也已完成雙工監測系統主動源與被動源訊號分離演算法、雙工監測系統主動源電流電極迴路控制開發，並組裝完成雙工監測硬體系統。在2017年第三年執行年度中，我們透過了大型實驗槽體，測試雙工監

測系統之電極陣列研發工作，同時也已將雙工系統安裝於清水地熱試驗區，完成了硬體系統的實驗槽體與野外現地之測試工作，確認系統運作良好。

2.4D 耐酸蝕複合管材先期研發

地熱為淨潔之再生能源，發電技術成熟且已商業化。然而，地熱水中有時伴隨著強酸/鹼物質，使得管路的腐蝕及結垢問題常成為地熱井運作失效的主因，為使地熱能源系統可長期而有效運作，並降低維護成本，本年度計畫透過地熱環境適用性分析，挑選耐酸性腐蝕合金作為內層/外層之金屬材料，經材料之高溫腐蝕測試(200 °C，pH=1-2)，外層選用雙相不鏽鋼 2507，而內層材料選用之 Hoganas 1560 鎳基合金，進行 7 吋 2 公尺長耐蝕雙層金屬管材之開發。製作完成之雙層管件經真直度量測、水壓試驗、及高溫動態、靜態腐蝕測試後，其整體完整度及性質部分均接近各規範及本計畫要求之耐腐蝕標準，靜態腐蝕以大屯火山地熱水體作為模擬溶液，進行 200°C 高溫腐蝕試驗，2507 之 1 日耐腐蝕速率為 0.1976 mm/a，50 天降至 0.0148 mm/a(皆 <0.2 mm/a 之目標)。根據 SEM 和 EDS 分析結果顯示雙相不鏽鋼表層形成一層結構疏鬆的氧化鉻保護層，導致反應時間拉長時會有腐蝕速率減緩的情況發生。然而高溫靜態腐蝕試驗之結果明顯低於實地動態腐蝕試驗之結果有所差距，腐蝕為環境與基材複雜交互作用而產生的行為，其中牽扯到的因子不計其數，因此如何改善腐蝕試驗參數及方法，使其更能與實地測試之結果趨於平衡，這會是目前欲開發出耐酸蝕管材的重要課題。

附錄 FY106 期末工業技術研究院節能與環保成效自評說明

部門：ASC 設施工程組

| 政策／規定名稱 | 106 年度期末成效 |
|---|---|
| 壹、節約能源相關措施 | |
| 電力負載管控降低電費。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 中興院區因新建單身宿舍 90 館及院區實驗設備增加，1-11 月用電較 FY105 同期增加 2,109,600 度 (kWh)，但因尖峰用量及功率因素管理，電費較 FY105 1-11 月同期減少 2,282,336 元。 2. 光復院區 1-11 月用電較 FY105 同期增加 220,000 度 (kWh)。 <ol style="list-style-type: none"> (1) 增加原因為院區新建大樓 5~10 月份增加電度 340,000 度電。 (2) 如 1 館未因施工增加 340,000 度電，則光復院區今年度應共節省 120,000 度。 |
| 執行 PDCS 節電。 | 中興院區各館空調主機陸續改善為高效變頻機型，不再納入 PDCS 管控，目前僅執行 51、52、53 館空調電力負載管控，1-11 月較院區 FY105 同期增加超約金額 132,650 元。 |
| 光復院區電力系統： <ol style="list-style-type: none"> 1. 10 館變電站汰換高壓變壓器 2. 19 館變電站汰換高壓變壓器 3. 28 館變電站汰換高壓變壓器 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 10 館模鑄式 1,250 及 600kVA 變壓器汰換為油浸式省能源節能變壓器，由 1,850kVA 降低為 1,600kVA 減少 250kVA 預估一年可省下 30,000 度電，並確保用電安全。 2. 19 館油浸式 400kVA 變壓器汰換為油浸式省能源節能變壓器，預估一年可省下 5,000 度電，並確保用電安全。 3. 28 館模鑄式 750kVA 變壓器汰換為省能源節能變壓器，預估一年可省下 8,000 度電，並確保用電安全。 |
| 77、79 館變壓器汰換。 | 截至 11/20 節省用電度數約 5,165 度(kWh)。 |
| 光復院區部分建物(6、7、17、20~23 及 26 館)建置空調溫度控制器聯網(設定溫度下限)管控。 | 節省用電度數約 77,380 度(kWh)。 |
| 空調系統：(低效率冰水主機汰換、系統併管改善及提昇能源效率。 <ol style="list-style-type: none"> 1. 51、52、53 館空調電力負載管控。 2. 24、62、77、館老舊箱型冷氣更換為高效變頻機型及既有箱型冷氣加裝變頻器改善。 3. 77 館中央空調智慧情境管理系統建置。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 1~11 月較 FY105 同期減少 51,437 度(kWh)。 2. 截至 11/20 節省用電度數約 48,000 度(kWh)。 3. 截至 11/20 節省用電度數約 16,700 度 |

| 政策／規定名稱 | 106 年度期末成效 |
|---|---|
| <p>4. 30 館空調冰水管路系統併管改接，OLED 專用 15RT 冰水主機停用改由 40RT 冰水主機冰水供應。</p> <p>5. 21.22 館 3 台冷卻水塔做風扇節能改善。</p> <p>6. 46 館 137 室 5hp 排氣風車降頻(60→38Hz)。</p> <p>7. 各種空調設備室內溫度設定 26°C 以上(全院)。</p> | <p>(kWh)。</p> <p>4. 截至 11/22 節省用電度數約 14,550 度 (kWh)。</p> <p>5. 截至 11/22 節省用電度數約 2,750 度 (kWh)。</p> <p>6. 截至 11/22 節省用電度數約 14,000 度 (kWh)。</p> <p>7. 中央、獨立空調皆已設定為 26°C。</p> |
| <p>分散獨立空調系統互相備援整合，提昇能源使用效率。(光復院區)</p> <p>1. 8 館：量測 40RT+50RT 及生醫 20RT+20RT+30RT+15RT 空調主機→(磁浮主機)90RT+40RT、50RT、30RT(備援)。</p> <p>2. 19、31 館：19 館 40RT*2(12 小時)及 31 館 35RT*2(24 小時)空調主機→(磁浮主機)90RT+35RT*2 (備援)。</p> | <p>1. 截至 11/20-8 館節電約 1,840 度(kWh)。</p> <p>2. 截至 11/20-19、31 館節省用電度數約 50,713 度(kWh)。</p> |
| <p>照明設備節能改善 中興院區：</p> <p>1. 77 館樓梯間 LED 照明節能改善。</p> <p>2. 44、64、67、77、78、86 館館其他照明節能改善。</p> <p>3. 21 館產業學院訓練教室照明燈螺旋管 32W 改為 10W LED 共 50 盞。</p> <p>4. 11 館 BF 圖書館廣告牆 T8 燈具改 T5 燈具共 12 盞。</p> <p>5. 9 館大廳展示牆 T8 燈具改 T5 燈具共 16 盞。</p> <p>6. 25 館男、女、殘障廁所及走道區域使用之壁燈/筒燈燈具。</p> <p>7. 25 館走道區域使用 T5 14W*4 燈具改為 15W LED 嵌燈共 3 盞。</p> <p>8. 58 館後方遮雨棚 T5 燈具拆除，28W*2 燈管*17 盞。</p> <p>9. 14 館地下室 T5 14W*4 燈具更新為 15W LED 共 15 盞。</p> <p>10. 22 館大廳樓梯燈 T5-14W*4 燈具*2 組更新為 10W LED。</p> <p>11. 58 館走廊 T5-14W*4 燈具更新 12W 嵌燈共</p> | <p>1. 截至 11/20 節省用電度數約 11,780 度 (kWh)。</p> <p>2. 截至 11/20 節省用電度數約 3,151 度 (kWh)。</p> <p>3. 截至 11/20 節省用電度數約 1,700 度 (kWh)。</p> <p>4. 截至 11/20 節省用電度數約 220 度 (kWh)。</p> <p>5. 截至 11/20 節省用電度數約 80 度(kWh)。</p> <p>6. 截至 11/20 節省用電度數約 800 度 (kWh)。</p> <p>7. 截至 11/20 節省用電度數約 330 度(kWh)。</p> <p>8. 截至 11/20 節省用電度數約 1,100 度 (kWh)。</p> <p>9. 截至 11/20 節省用電度數約 2,000 度 (kWh)。</p> <p>10. 截至 11/20 節省用電度數約 150 度(kWh)。</p> <p>11. 截至 11/20 節省用電度數約 500 度(kWh)。</p> |

| 政策／規定名稱 | 106 年度期末成效 |
|--|--|
| <p>9 盞。</p> <p>12. 21 館 2F 中庭走廊 T5-14W*4 更新為 40W LED 燈具共 18 盞併調整照明迴路</p> <p>13. 9 館 BF/1F/2F 走道 T5 14W*3 燈具，改為 15W*1 LED 燈具共 14 盞。</p> <p>14. 14 館走道照明燈具減半。</p> <p>15. 21 館 1F 大廳 28W T5 改 20W LED 共 20 盞，走廊 32W 燈管改感應式 10W LED 共 9 盞。</p> <p>16. 22 館 1F 大廳 28W T5 改 20W LED 共 40 盞；2F 樓梯中庭走道 28W T5 改 20W LED 共 46；28W*2 T5 改 10W LED 共 6 盞</p> <p>17. 22 館實驗室照明改 LED 燈管。</p> <p>18. 11 館 302 會議室 T8 層板燈具(38W)更換 LED 層板燈具(18W)共 54 盞。</p> <p>19. 11 館 3 樓走道照明 14W*2 T5 燈具調整，拆除 14W*2 燈具改為 15W LED 共 90 盞。</p> <p>光復院區：</p> <p>1. 路燈節能改善。</p> <p>2. 6 館 2 樓會議室照明改善。</p> | <p>12. 截至 11/20 節省用電度數約 1,100 度 (kWh)。</p> <p>13. 截至 11/20 節省用電度數約 400 度 (kWh)。</p> <p>14. 截至 11/20 節省用電度數約 1,800 度 (kWh)。</p> <p>15. 截至 11/20 節省用電度數約 300 度 (kWh)。</p> <p>16. 截至 11/20 節省用電度數約 1,200 度 (kWh)。</p> <p>17. 截至 11/20 節省用電度數約 600 度 (kWh)。</p> <p>18. 截至 11/20 節省用電度數約 400 度 (kWh)。</p> <p>19. 截至 11/20 節省用電度數約 700 度 (kWh)。</p> <p>光復院區：</p> <p>1. 截至 11/10 節省用電度數約 800 度 (kWh)。</p> <p>2. 截至 11/10 節省用電度數約 110 度 (kWh)。</p> |
| <p>壓縮空氣系統節能改善</p> <p>中興院區：</p> <p>1. 77 館#2 30HP 效率差容調式空壓機汰換變頻式空壓機。</p> <p>2. 44 館#3 30HP 效率差容調式空壓機汰換變頻式空壓機。</p> <p>3. 78 館 150HP 空壓機汰換為 75HP 空壓機。</p> <p>光復院區：</p> <p>1. 25 館(20HP)空壓機效率差螺旋式空壓機汰換 20HP 變頻式空壓機。</p> | <p>1. 截至 11/20 節省用電度數約 60,700 度 (kWh)。</p> <p>2. 截至 11/20 節省用電度數約 42,000 度 (kWh)。</p> <p>3. 截至 11/20 節省用電度數約 36,000 度 (kWh)。</p> <p>光復院區：</p> <p>1. 7 月~11 月 10 日節省用電度數 12,000 度 (kWh)。</p> |
| <p>超高效率馬達汰換</p> <p>中興院區：</p> <p>實驗廢氣處理系統及排氣節能效率改善提升</p> <p>77 館中央廢氣系統#1、#3~#9 PID 節能改善。</p> | <p>截至 11/20 節省用電度數約 195,646 度 (kWh)。</p> |

| 政策／規定名稱 | 106 年度期末成效 |
|--|--|
| <p>超高效率馬達汰換</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 77、78 館風車馬達共 7 台汰換為(IE3)超高效率馬達。 2. 光復院區 13 館老舊效能不佳 15RT 主機及小型送風機汰換成備用 20RT 氣冷空調主機，並進行管路重整修改(集水管)、主機運轉模式調整(回水溫過高→10RT 支援運轉)及個別冷風機溫度控制等改善。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 截至 11/20 節省用電度數約 16,181 度(kWh)。 2. 截至 11/20 節省用電度數約 14,060 度(kWh)。 |