



研究機構能源科技專案

104 年度執行報告

高效能地熱發電技術研發計畫

年度計畫：自 104 年 1 月 1 日至 104 年 12 月 31 日

執行單位：財團法人工業技術研究院

中 華 民 國 104 年 12 月

壹. 總目錄

I. 目錄

| | |
|------------------------------|-----|
| I. 目錄 | I |
| II. 圖目錄 | III |
| III. 表目錄 | IX |
| 104 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 | 4 |
| (一)應用情境與衍生之技術需求 | 4 |
| (二)專利佈局說明 | 5 |
| (三)產業化佈局 | 5 |
| 三、計畫執行情形 | 6 |
| (一)計畫實際執行內容 | 6 |
| 1.1 技術研發 | 6 |
| 1.1.1 專家決策輔助系統 | 6 |
| 1.1.1.1 資料庫建置與輔助分析 | 7 |
| 1.1.1.2 三維數值視覺化分析技術 | 17 |
| 1.1.2 地熱田開發關鍵技術 | 28 |
| 1.1.2.1 耐酸蝕材料技術 | 28 |
| 1.1.2.2 儲集層監控管理技術 | 46 |
| 1.2 資源調查與評估 | 75 |
| 1.2.1 地熱場址潛能評估 | 75 |
| 1.2.1.1 鑽井孔位敘述 | 75 |
| 1.2.1.2 試驗井鑽鑿 | 80 |
| 1.2.2 地熱場址調查與監測 | 118 |
| 1.2.2.1 場址調查與構造分析 | 118 |
| 1.2.2.2 微震觀測網設置及監測 | 142 |
| 1.3 產業推廣與國際合作 | 159 |
| 1.3.1 地熱電廠推廣 | 159 |
| 1.3.1.1 示範電廠推廣 | 159 |
| 1.3.1.2 新北市商業電廠 BOT 規劃 | 170 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 1.3.2 國際合作與推廣 | 185 |
| 1.3.2.1 國際合作 | 185 |
| 1.3.2.2 國際行銷與推廣 | 192 |
| (二)實際進度與預定進度比較 | 199 |
| (三)查核點說明 | 200 |
| (四)目標達成情形 | 203 |
| (五)計畫延長或變更執行情形 | 204 |
| 四、執行績效說明 | 205 |
| (一)人力運用情形 | 205 |
| (二)經費運用情形 | 206 |
| (三)研發成果收入 | 207 |
| (四)研發成果統計 | 208 |
| (五)重要成果清單 | 210 |
| (六)重要績效指標 | 224 |
| (七)重要成果說明 | 226 |
| (八)設備使用情形 | 228 |
| (九)性別主流化推動成果說明 | 229 |
| 五、結論與檢討 | 232 |
| 六、參考文獻 | 237 |
| 七、附件 | 239 |
| 附錄 FY104 工業技術研究院節能與環保成效自評說明 | 246 |

附件一、重要成果照片及說明

附件二、分包計畫摘要說明

附件三、分包研究計畫期末報告-4D 地熱流體成像技術發展

附件四、四礮子坪-煥子坪地區地球化學採樣分析調查報告

附件五、專家輔助決策系統建置成果報告

附件六、耐酸蝕合金材料製作評估報告

附件七、台北市政府小型酸性示範電廠建置與測試報告

附錄、節能與環保成效自評說明

II. 圖目錄

| | |
|--|----|
| 圖 1、地熱專家輔助決策系統資料庫分類及展示界面..... | 8 |
| 圖 2、計畫區新增大地電磁測站位置(紅圓點為預定鑽井位置)..... | 8 |
| 圖 3、前期計畫所得之三維低電阻蓋層分布與井柱分布關係圖..... | 9 |
| 圖 4、本期計畫所得之三維低電阻蓋層更新模型與井柱分布關係圖 | 9 |
| 圖 5、熱水中各種離子成分來源與變化遷移示意圖..... | 10 |
| 圖 6、地表溫泉水樣鎂離子濃度分布圖..... | 12 |
| 圖 7、地熱井熱水水樣 PH 值分布圖..... | 13 |
| 圖 8、地熱井蒸汽冷凝水水樣氯離子濃度分布圖..... | 14 |
| 圖 9、大屯山地區土壤氣體調查測線/點規劃位置圖..... | 16 |
| 圖 10、距離平方反比權重內插法運算過程示意圖..... | 19 |
| 圖 11、最近相鄰內插法原理示意圖..... | 19 |
| 圖 12、二維井位選取與三維井柱連動展示範例圖..... | 21 |
| 圖 13、規劃井柱與低電阻蓋層空間分佈圖..... | 21 |
| 圖 14、規劃井位可能鑽遇之地質剖面圖..... | 22 |
| 圖 15、三維格點化交集範圍示意圖..... | 25 |
| 圖 16、快速重新格點化方法示意圖..... | 26 |
| 圖 17、多重特性分區之體積計算結果及輸出功能介面..... | 26 |
| 圖 18、雙橢球理論模型空間分布..... | 27 |
| 圖 19、雙橢球理論模型之交集計算結果..... | 27 |
| 圖 20、運用 Tafel 曲線計算腐蝕電流之概念說明..... | 29 |
| 圖 21、SS304 表面電著沉積 epoxy 在 0.5M H ₂ SO ₄ 水溶液之抗蝕行為分析。 | 30 |
| 圖 22、SS304 表面電著沉積 epoxy 經實地測試後，表面出現微小凸 點..... | 30 |
| 圖 23、SS304 表面電鍍鉻金屬在 0.5M H ₂ SO ₄ 水溶液之抗蝕行為分 析..... | 32 |
| 圖 24、SS304 表面鍍有三價鉻鍍層之試片明顯出現裂紋..... | 32 |
| 圖 25、SS304 表面鍍有六價鉻鍍層之試片，於實地測試兩周後出現 孔蝕..... | 33 |
| 圖 26、在 0.5M H ₂ SO ₄ 之 Tafel 測試..... | 34 |

| | |
|--|----|
| 圖 27、由 SEM 觀察，氟化鉻表面粗糙..... | 34 |
| 圖 28、不同電流密度下，SS304 表面沉積鎳鉻鍍層之試片外觀 | 36 |
| 圖 29、不同電流密度下，SS304 表面沉積鎳鉻鍍層之試片外觀 | 37 |
| 圖 30、不同電流密度下，SS304 表面沉積鎳鉻鍍層之試片外觀..... | 38 |
| 圖 31、不同電流密度下，黃銅試片表面沉積鎳鉻鍍層之試片外觀.. | 39 |
| 圖 32、不同電流密度下，黃銅試片表面沉積鎳鉻鍍層之試片 SEM 觀察 | 40 |
| 圖 33、鍍層中鉻含量隨電流密度上升而增加 | 41 |
| 圖 34、鍍層中鉻含量隨電流密度上升而增加 | 41 |
| 圖 35、鎳鉻合金/金屬氧化物複合結構示意圖 | 42 |
| 圖 36、SS304 表面電鍍成膜之 Al_2O_3 ，鍍層乾燥後不沾手並呈現 出半透明的狀態 | 43 |
| 圖 37、SS304 表面電鍍成膜之 Al_2O_3 ，經 600C 熱處理形成 γ -alumina 鍍膜 | 44 |
| 圖 38、氧化鋁燒結後的 electrolytic deposited ceramic film 也可考慮 作為 Cr 鍍膜的耐磨擦沖蝕兼抗腐蝕的表保護層 | 44 |
| 圖 39、有機矽烷試劑與 OH 官能基進行縮合反應示意圖 | 45 |
| 圖 40、矽烷類材料塗佈於 304 不鏽鋼基板上 | 46 |
| 圖 41、淺層 50 歐姆米與深層 500 歐姆米之兩層水平層狀地層模型 值 | 50 |
| 圖 42、長直電流線源在電阻率為 $100\Omega m$ 介質中所模擬之量測電阻 值 | 51 |
| 圖 43、均質地層中金屬套管線源模擬之電流密度及電位分布圖..... | 51 |
| 圖 44、水平地層中金屬套管線源模擬之電流密度及電位分布圖 | 52 |
| 圖 45、均質（左）及水平層狀（右）地層模擬之地表電位分布圖... | 54 |
| 圖 46、地層中異常低電阻體對地下電場之影響 | 55 |
| 圖 47、低電阻異常體於地表所測得之電位差分布圖 | 56 |
| 圖 48、低電阻異常體於豎井所測得之電位差分布圖 | 58 |
| 圖 49、線源（上圖）與點源（下圖）條件下之靈敏度分布圖 | 60 |
| 圖 50、線源與點源條件之靈敏度差異圖 | 60 |
| 圖 51、單組地表電流點源之反演解算結果 | 62 |
| 圖 52、三組地表點電流源之反演解算結果 | 66 |
| 圖 53、點電流源位置與初始模型設定對反演解算結果之影響 | 67 |

| | |
|---|-----|
| 圖 54、多波道直流電阻與自然電位法全自動監測系統工作流程..... | 70 |
| 圖 55、大屯山地熱概念模式 | 78 |
| 圖 56、G501 深度 589 公尺處岩心薄片 | 78 |
| 圖 57、四礮子坪地區溫度梯度圖 | 79 |
| 圖 58、四礮子坪地熱井鑽鑿工作專家諮詢會議..... | 79 |
| 圖 59、四礮子坪探勘井場址地形及地理位置圖..... | 80 |
| 圖 60、四礮子坪探勘井場址現況航照圖 | 81 |
| 圖 61、工作流程圖 | 82 |
| 圖 62、探勘井體構造圖 | 83 |
| 圖 63、場址整地 | 86 |
| 圖 64、開工儀式彩照 | 87 |
| 圖 65、RC 井坪施工與淺層衝鑽..... | 88 |
| 圖 66、鑽機設備運送與道路整理 | 90 |
| 圖 67、井台底座組立作業 | 91 |
| 圖 68、井架起升作業 | 92 |
| 圖 69、井架組立完成 | 93 |
| 圖 70、30 公尺至 80 公尺鑽進過程現場作業 | 95 |
| 圖 71、80 公尺至 600 公尺鑽進過程(1) | 98 |
| 圖 72、80 公尺至 600 公尺鑽進過程(2) | 99 |
| 圖 73、9-5/8”套管下放作業 | 100 |
| 圖 74、現地泥漿循環系統以及固控設備 | 101 |
| 圖 75、取芯作業示意圖(豐宇鑽井公司) | 103 |
| 圖 76、深度 187-190 公尺之取芯作業..... | 104 |
| 圖 77、深度 393-396 公尺之取芯作業..... | 105 |
| 圖 78、抗酸蝕水泥試驗情形(豐宇鑽井公司) | 109 |
| 圖 79、水泥混拌及灌漿流程圖 | 111 |
| 圖 80、現地水泥灌漿情形 | 112 |
| 圖 81、產能測試作業流程規劃 | 113 |
| 圖 82、PT Geothermal probe 外觀(含 Centralizer)..... | 115 |
| 圖 83、恢復試驗現場作業(1) | 116 |
| 圖 84、恢復試驗現場作業(2) | 116 |
| 圖 85、四礮子坪地熱探勘井恢復試驗溫度剖面 | 117 |

| | |
|--|-----|
| 圖 86、大屯山試驗場址周圍區域大地電磁測點分布圖 | 119 |
| 圖 87、大地電磁現場探測作業情形 | 120 |
| 圖 88、大地電磁測勘結果之視電阻率與相位曲線 | 120 |
| 圖 89、四磺子坪至庚子坪地區之二維電阻剖面 | 122 |
| 圖 90、大屯火山區三維電阻模型之等深度切片圖(0-500m)..... | 124 |
| 圖 91、大屯火山區三維電阻模型之等深度切片圖(600-1100m)..... | 125 |
| 圖 92、大屯火山區三維電阻模型之等深度切片圖(1200-2000m).... | 126 |
| 圖 93、四磺子坪及煖子坪採樣點位置圖 | 130 |
| 圖 94、土壤氣體通量量測及氣體採集點 | 132 |
| 圖 95、氦氣、氮氣及氬氣之三成份比例圖 | 134 |
| 圖 96、噴氣氣體成份來源分布圖 | 134 |
| 圖 97、探勘井所在區域地質圖 | 139 |
| 圖 98、四磺子坪探勘井與斷層之關係位置 | 141 |
| 圖 99、上圖 DD' 地質剖面剖面標示探勘井相對位置圖 | 141 |
| 圖 100、利用 LiDAR 資料疊套磺嘴山地區斷層資料判釋結果..... | 142 |
| 圖 101、本計畫使用之寬頻地震儀 | 145 |
| 圖 102、大屯火山微震觀測網測站分布與加密觀測區 | 145 |
| 圖 103、天龍宮站(DT05)設置完成及訊號測試情況 | 148 |
| 圖 104、微震網觀測之微震事件 | 149 |
| 圖 105、20130101-20151231 期間本計畫微震網觀測事件及規模分 佈圖 | 149 |
| 圖 106、研究區 2014-2015 微震震源分布 | 151 |
| 圖 107、研究區地震機制空間分布 | 153 |
| 圖 108、速度成像逆推格點分布 | 155 |
| 圖 109、大屯山地區微震 3D 重定位結果 | 155 |
| 圖 110、磁感率與微震空間分布關係 | 156 |
| 圖 111、剪力波分離呈現之區域異向性 | 156 |
| 圖 112、速度逆推波線數大於 300 解析範圍 | 158 |
| 圖 113、西南-東北向 P 波速度剖面 | 158 |
| 圖 114、臺北市北投區地熱發電系統規劃方案及探勘/監測井分布. | 160 |
| 圖 115、泉源 47 號公園之耐酸蝕取熱測試場址與井位分布說明.... | 161 |
| 圖 116、泉源 47 號公園之井靜態溫度剖面 | 162 |

| | |
|---|-----|
| 圖 117、CY-07 井溫度剖面 | 163 |
| 圖 118、泉源 47 號公園之 CY-03 抽水與 CY-05 及 CY-07 洩降 | 164 |
| 圖 119、泉源 47 號公園之監測井水位面與降雨量關係 | 165 |
| 圖 120、取熱發電之管線規劃設計圖 | 167 |
| 圖 121、耐酸蝕取熱系統於泉源 47 號公園之熱水迴路與電力饋線 示意 | 168 |
| 圖 122、耐酸蝕取熱系統於泉源 47 號公園裝置完成 | 168 |
| 圖 123、10kWe 發電系統置於遮雨屋中 | 169 |
| 圖 124、耐酸蝕板式熱交換器 | 169 |
| 圖 125、四礮子坪至金山乙帶地熱開發潛能區分布範圍 | 170 |
| 圖 126、四礮子坪溫泉露頭與熱水換質帶 | 171 |
| 圖 127、MT 成果顯示之大屯山地熱潛能區分布範圍 | 172 |
| 圖 128、四礮子坪地熱開發潛能區分布範圍 | 172 |
| 圖 129、土地權屬範圍 | 174 |
| 圖 130、土地使用編定範圍 | 174 |
| 圖 131、開發範圍方案 1 (不含國土保安林地) | 175 |
| 圖 132、開發範圍方案 2 (含國土保安林地) | 176 |
| 圖 133、興辦事業計畫審查及變更編定作業流程 | 177 |
| 圖 134、土地分區使用規畫圖 | 178 |
| 圖 135、BOT 前置作業及招商階段作業流程 | 184 |
| 圖 136、電廠籌設興辦階段作業流程 | 185 |
| 圖 137、四礮子坪地區新增之大地電磁探測站分布圖 | 186 |
| 圖 138、經 EnGeo 程式逆推完成後之三維電阻模型 | 187 |
| 圖 139、鑽探井位下方電阻隨深度變化情形 | 187 |
| 圖 140、本年度(2015)新增火山噴氣孔氣體分析位置圖 | 188 |
| 圖 141、新舊噴氣孔氦氣、氮氣及氫氣之三成分比例圖 | 189 |
| 圖 142、火山噴氣口二氧化硫/二氧化氮比值地質溫度計分析圖 | 189 |
| 圖 143、四礮子坪地區熱水換質帶分布圖 | 190 |
| 圖 144、鑽井溫度-深度分布圖 | 191 |
| 圖 145、四礮子坪地區地熱概念模式圖 | 191 |
| 圖 146、第 21 屆臺菲部長級經濟合作會議-地熱參訪團員與部長合 照 | 193 |

圖 147、第 21 屆臺菲部長級經濟合作會議-地熱合作議題討論193

III. 表目錄

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 表 1、地表溫泉水樣化學離子濃度表範例 | 12 |
| 表 2、地熱井熱水水樣化學離子濃度表範例 | 12 |
| 表 3、地熱井蒸汽冷凝水水樣化學離子濃度表範例 | 13 |
| 表 4、噴氣孔及地熱井氣體成分表範例 | 14 |
| 表 5、地熱井內氣分析成分表 | 14 |
| 表 6、噴氣孔氣體成分分析表範例 | 15 |
| 表 7、噴氣孔氦同位素分析表範例 | 15 |
| 表 8、大屯山地區土壤氣體成分表範例 | 16 |
| 表 9、大屯火山區地表水氫氧同位素分析表範例 | 16 |
| 表 10、實地測試環境之離子濃度分析 | 33 |
| 表 11、本研究發展的數值解工具與理論解之比較 | 49 |
| 表 12、單組地表點電流源之反演數據 | 63 |
| 表 13、三組地表點電流源之左方電流源計算數據 | 64 |
| 表 14、三組地表點電流源之中間電流源計算數據 | 64 |
| 表 15、三組地表點電流源之右方電流源計算數據 | 65 |
| 表 16、ASTM A53B 鋼管尺寸規格表 | 84 |
| 表 17、ASTM A53B 鋼管化學成分與機械性能規格表 | 84 |
| 表 18、API L80 鋼管化學成分與機械性能規格表 | 84 |
| 表 19、30 公尺至 80 公尺鑽進進度表 | 94 |
| 表 20、80 公尺至 600 公尺鑽進進度表 | 96 |
| 表 21、PT 探測棒規格 | 114 |
| 表 22、溫度恢復試驗作業摘要 | 115 |
| 表 23、大屯山試驗場址周圍區域大地電磁測點座標 | 119 |
| 表 24、四礮子坪與煖子坪採樣點座標紀錄表 | 129 |
| 表 25、土壤氣體採樣點座標紀錄表 | 131 |
| 表 26：火山噴氣的氦同位素值分析結果。 | 135 |
| 表 27、ITRI 微震網測站座標儀器資料表 | 146 |
| 表 28、潛能範圍及周遭範圍土地權屬統計表 | 173 |
| 表 29、規劃範圍土地使用編定與權屬表 | 177 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 表 30、地熱電廠主要設施摘要表 | 179 |
| 表 31、地熱電廠基本假設參數表 | 180 |
| 表 32、地熱電廠建廠及運維費用估算表 | 181 |
| 表 33、投資之各項財務評估指標 | 183 |
| 表 34、權利金收取金方式建議 | 183 |

中文摘要

地熱能源為我國少數可自主的再生能源，104 年計畫內容主要分成技術研發、資源調查與評估、產業推廣與國際合作等三個主題，期有效促進我國地熱發電產業之發展。在技術研發方面，內容包括地熱專家決策輔助系統之三維視覺化功能開發與耐酸蝕鍍層技術技術兩項，並進行現地試驗，確保研發成果之可靠性；在資源調查與評估方面，已完成第一階段 600 公尺鑽井，地熱流體 pH 值介於 5~6，井底溫度約 120°C，符合預期鑽鑿弱酸地熱流體之目標；在國際合作方面，與美國勞倫斯實驗室合作利用 3 維大地電磁逆推、氣體化學分析及中油 SHP-1 鑽井及本年度鑽井資料，完成大屯地熱概念模式修訂；在產業推廣方面，分別與台電公司及新北市政府完成合作協議書簽定，與台北市政府合作完成小型酸性地熱電廠建置，成果豐碩。

關鍵字：3 維大地電磁逆推、耐酸蝕鍍層技術、酸性地熱示範電廠

Abstract

The fiscal year 104 project aimed at three main topics which are technology development, resources exploration and evaluation, geothermal industry promotion and national cooperation, respectively. In technology development, a 3D visualized database system was successful development. The other technology develop this year is anti-acid corrosion coating technology, a Nicolas base coating material has been set up and undergo field test. In resources exploration and evaluation, a 600 m depth exploration well has been achieved while pH value between 5 to 6 and the bottom hole temperature is 120 °C which meets the initial geothermal conceptual model. For national cooperation, the cooperation with LBNL working on 3D Magnetotelluric inversion, fumarole gas analysis and the drilling data from CPC-SHP1 and ITRI drilling to update the geothermal conceptual model of Tatun Volcano Group. On geothermal industry promotion, two memory of understanding have been signed with Taiwan Power Company and New Taipei City government, respectively. Also, an anti-acid corrosion geothermal demonstration system which is cooperate with Taipei City government has been successful established. The achievements of this year's project are very rich.

Key Words: 3D Magnetotelluric inversion, anti-acid corrosion coating technology, anti-acid corrosion demonstration generation system

104 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 | | 計畫編號：104-D0102 | | | | |
| 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：柳志錫 | 協同主持人：李奕亨、郭泰融 | | 計畫聯絡人：顏君揚 | | | |
| 聯絡電話：03-5916324 | | 傳真號碼：03-5820017 | | | | |
| 年度期程：自 民國104年1月1日至 民國104年12月31日 | | | | | | |
| 經費：新臺幣 | | 73,000 | 千元 | 投入人力： | 12.66 | 人年 |
| 執行進度 (%) | 期 間 | 預 定 (A) | 實 際 (B) | 比 較 (A-B) | | |
| | 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 | 73,000 | 72,934 | 99.91 | | |
| <p>主要執行成果：</p> <p>一、計畫內容概要</p> <p>根據本年度工作架構主要可分為技術研發、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：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.開發地熱資源資料庫專家系統及高效能地熱田管理技術，以力求突破地熱開發之障礙。 2.進行場址資源調查與評估，並透過鑽井工程以驗證大屯山地熱潛能，掌握潛在地熱區資源分布及發電潛能。 3.進行產業推廣與國際合作，以具備地熱發電潛能之大屯火山區、蘭陽平原地區為對象，從事小型酸性發電廠示範與BOT招商規劃。 <p>二、計畫執行成果</p> <p>(一)技術研發</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 專家決策輔助系統 <ol style="list-style-type: none"> 1.1 資料庫建置與輔助分析 <ol style="list-style-type: none"> (1) 完成地球物理大地電磁三維電阻模型、火山噴氣孔及土壤氣體、水中化學離子濃度、氣體成分、定年、氣體地質溫度計及氫同位素等地球化學分析資料庫建置工作。 1.2 三維數值視覺化分析技術 <ol style="list-style-type: none"> (1)開發異質維度資料連動展示功能，可透過平面地圖控制三維虛擬井柱的操作方式，協助地熱探勘井位選址及潛能區域評估，並已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)岩體特性及空間分區功能，可多重考量任兩種岩性參數分布範圍，及計算岩體體積，可應用於後續儲熱潛能及發電潛能估算。同時，系統還可將符合條件之岩體位置，展示於三維展示系統中，以了解岩體空間分布特性，及更新地熱地質概念模型。 2.地熱田開發關鍵技術 <ol style="list-style-type: none"> 2.1 耐酸蝕材料技術 <p>建立實驗室 Tafel 曲線分析評估腐蝕電流技術，經評 epoxy 電著試片雖具抗蝕性，但附著性為必須克服之問題。六價鉻、三價鉻所形成之鉻鍍層無法滿足現地環境抗蝕需求，而高鉻含量之鎳-鉻合金鍍膜，鍍層結構易產生裂縫，本研究克服此一缺陷，可製作出 30wt% 以上之無縫隙鎳鉻合金，而大面積試片在現地測試中，待後續努力克服。</p> 2.2 儲集層監控管理技術(學術分包) <ol style="list-style-type: none"> (1) 完成地熱場線源理論之建立與數值模擬，透過對均質地層模型以及水平層狀模型之 | | | | | | |

模擬測試，確認線源理論與模擬結果的可靠度。

- (2)發展點源與線源之電阻構造反演算技術，完成可計算多組地表點電源探測之反演解算程式。因應地熱流體監測需求，研發結合自然電位(SP)法與地電阻(ERT)法之自動雙工監測系統，完成工作流程制定與初步設計。

(二)資源調查與評估

1.地熱場址潛能評估

1.1 鑽井孔位敘述

依據上年度(103)大屯山地熱概念模式結果，利用本計畫開發之專家決策輔助系統，考量地形、交通及土地取得等條件分析，與國內專家學者共同討論後，選定新北市金山區頂中股硫磺子坪小段148號為探勘井鑽鑿地點。

1.2 試驗井鑽鑿與產能測試

- (1)完成四磺子坪600公尺深地熱探勘井鑽鑿，並擷取部分岩心與岩屑資料，進行地下岩層特性分析。
- (2)依據溫度恢復試驗結果顯示，井底最高溫度為117.9°C，由溫度-深度關係資料顯示，目前深度仍維持高地溫梯度，判斷目前深度600公尺尚未鑽穿蓋層，地熱儲集層在更深部之處。

2.地熱場址調查與監測

2.1 場址調查與構造分析

- (1)大屯火山區可分為數個火山亞群，其中磺嘴山亞群、七星山亞群分布大量溫泉、地熱蒸汽，顯示相關地熱活動相當活躍。本計畫目前鑽探場址屬於磺嘴山火山亞群，根據場址附近構造分析，磺嘴山火山亞群周邊等距分布有四磺子坪、煨子坪、八煙、大油坑等多個火山爆裂口，這些爆裂口以磺嘴山位中心半徑1.5公里範圍呈圓形分布，研判地熱開發潛能極高。
- (2)完成試驗井場址周圍區域15個大地電磁測點之野外測勘，並進行三維大地電磁資料逆推處理。根據三維電阻模型，低電阻區自噴發中心的馬槽地區向東北方向延伸，並終止於四磺子坪附近，本年度探勘井恰位於低電阻換質帶邊緣。
- (3)依據四磺子坪-煨子坪地區火山噴氣孔地球化學採樣分析結果顯示，火山噴氣中主要成分為水氣，去水後主要成分為CO₂，其次為硫化物，以H₂S為主。
- (4)氦同位素分析資料顯示，四磺子坪與煨子坪部分噴氣孔的³He/⁴He比值相當高，顯示地下火山通道暢通。

2.2 微震觀測網設置及監測

- (1)完成4組新建微地震監測站，提高觀測密度及覆蓋率。
- (2)2015年增加觀測密度後之定位結果顯示，微震發生區域與2013-2014年分佈大致相同，地震叢集震央位置發生於七星山與大油坑附近，另有一群位於磺嘴山西側，震源深處大約淺於3-4公里

(三)產業推廣與國際合作

1.1地熱電廠推廣

(1)台北市復興公園小型酸性示範系統

FY103研發之耐酸蝕塗層應用於新鑽鑿80公尺深、直徑6英吋試驗井與板式熱交換器。在泉源47號公園之溫泉井架設10kW小型耐酸蝕地熱發電示範系統，以驗證酸性地熱發展地熱發電系統的可行性，提昇國人在大屯火山開發地熱的信心。

(2)新北市商業電廠 BOT 規劃

以四磺子坪地熱發電開發為標的，與新北市於2015/5/14簽署「金山區地熱發電開發計畫合作意向書」，本年度已完成BOT前置作業相關之可行性評估與先期規劃報告，提供將來新北市將來辦理BOT招商作業之參考。

(3)綠島地熱發電機組試驗計畫

以綠島地區為地熱發電試驗計畫之標的，與台灣電力公司於2015/1/6簽署「推動綠島地熱發電合作意向書」。

2. 國際合作與推廣

2.1 國際合作

- (1)完成與菲律賓能源開發公司(EDC)針對大屯火山地熱概念模式及技術合作可行性進行討論。
- (2)完成與美國勞倫斯實驗室(LBNL)國際合作，利用本年度新完成之大地電磁探測、地球化學分析及鑽井資料，修訂大屯火山區地熱概念模式。

2.2 國際行銷與推廣

- (1)4月份參加2015世界地熱研討會，並完成2篇論文發表。
- (2)10月1~3日參加2015 ICGE地熱國際研討會，邀請美國LBNL與紐西蘭GNS地熱專家來台發表論文，並進行後續地熱開發技術合作洽談。
- (3)12月份參加第21屆台菲部長級經濟合作會議，達成台菲雙方未來在地熱開發方面合作協議。

三、預期產業效益

宜蘭縣清水地熱預計2016年BOT招商電廠2MW以上，產業效益達新台幣4.6億；大屯火山區四磺子坪地熱區預計BOT招商電廠規模10MW，產業效益達新台幣23億；綠島地熱台電公司預計開發2MW電廠，產業效益達新台幣4.6億，合計未來5年內地熱發電總產業效益達新台幣32億。

計畫變更說明：

原計畫書翁勳政(研究員)3人月、陳敏祥(研究員)8人月，於第一季變更為黃鎮臺(研究員)3人月、翁勳政(研究員)1人月、陳敏祥(研究員)7人月。
變更第四季人力，變更前陳文山(研究員)4人月、李毓仁(研究員)3人月、翁勳政(研究員)1人月、李清瑞(研究員)10人月、陳敏祥(研究員)7人月、廖彥喆(研究員)7人月、劉力維(副研究員)10人月、江道義(助理研究員)9人月及李惠容(助理研究員)6人月，變更後陳文山(研究員)2.72人月、李毓仁(研究員)0.83人月、翁勳政(研究員)3.56人月、李清瑞(研究員)4.16人月、陳敏祥(研究員)9.82人月、廖彥喆(研究員)5.37人月、劉力維(副研究員)11.58人月、江道義(助理研究員)1.49人月及李惠容(助理研究員)9.56人月。因配合鑽井工程工安作業新增新增李清源(研究員)4.29人月。

落後原因： 無

因應對策（檢討與建議）：

- 1.地熱潛能區多位處非都市土地，本計畫雖與能源局多次與行政院農委會、經濟部水利署、經濟部礦務局、交通部觀光局、行政院環保署、科技部、內政部地政司、內政部營建署等開會協調仍無法獲得使用同意，土地使用若無法解決將對我國地熱發電產業造成重大影響。建議將地熱發電土地使用變更提至行政院層級，透過跨部會協商以加速我國地熱發電產業發展。
- 2.地熱開發初期不確定因素高，為降低開發風險提昇民間投入地熱發電產業意願，建議持續在地熱潛能區進行地熱探勘井鑽鑿，相關成果將可提供地方政府進行BOT/BOO招商參考。
- 3.低價耐酸腐蝕材料為大屯火山地熱開發的重要關鍵，建議應持續試運轉本年度建置完成之小型耐酸蝕發電示範系統，以建立民眾對大屯火山地熱發電開發的信心，加速大屯火山地熱開發腳步。

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，全世界地熱發電以平均每年 6.2 % 成長 (Lund, 2005)，截至 2005 年止全世界地熱發電裝置容量已達 8,912 MW (Bertani, 2005)，共有 22 個國家使用潔淨的地熱能源，每年發電總量達 56,831 GWh。而根據 Bertani (2007) 在 2007 年的統計，地熱發電的電裝置容量已達 9,732 MWe，IGA (2011) 在 2010 年的統計，全球的電裝置容量更高達 10,717 MWe，五年間裝置容量計成長了 1,805 MWe，成長迅速。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)，將成為所有再生能源中投資成本最低的。在美國、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，故發電成本已與一般電價接近，加上其供電品質穩定，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，我國蘊藏豐富地熱資源，則應該加以重視並積極開發利用。

國內過去曾於 70 年在宜蘭縣的清水地熱區建構一座 3 MWe 先驅試驗發電廠，由台電公司負責運轉試驗。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（壓力、流量）未能滿足發電機規格，自始發電效率偏低。清水地熱區因地熱產量逐年衰減以致發電量亦隨之遞減，而於 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而過度降壓生產造成管線結垢所致。推動再生能源為國家既定政策，而地熱發電為其中重要一環。參考過去資料，臺灣本島除大屯火山區屬火山型地熱，餘皆屬變質岩區裂隙熱水型地熱，雖具備溫度條件，但仍須進一步掌握地熱儲集層的特性與地熱流體的穩定產量，方有利於地熱能源與發電的永續經營。

基於石化能源逐漸耗竭、原油價格巨幅波動，利用再生潔淨能源發電以抑制二氧化碳排放量減緩氣候暖化的速度，已是世界明顯的發展趨勢。

地熱能源是所有再生能源中最有效率且低成本的，全球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，具備開發地熱蘊藏作為發電利用的先天優勢條件。為了配合全球的趨勢發展，政府已在「再生能源發展條例」中，將地熱發電列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，政府在 100 年 12 月公告「地熱發電機組試驗性計畫」，102 年 1 月公告「地熱能發電示範獎勵辦法」，我國地熱傳統地熱發電推廣已有初步成效，相關產業亦將逐漸成形。

臺灣位處環太平洋構造帶，火山活動與板塊擠壓，造成國內豐富的地熱蘊藏資源，共有百餘處地區顯示具有溫泉與地熱徵兆。根據 1980 年以前之探勘及普查資料估算，全島淺層地熱預計有近 1000 MWe 之發電潛能，其中以大屯火山區、宜蘭清水與土場、南投廬山、臺東知本與金崙等六個地方最具潛力。相對於傳統淺層地熱能之利用，蘊藏於更深部地層（3000-10,000 公尺）之熱能更是龐大，且較不受地域限制；根據美國 MIT(2006)的估計，全球深層地熱發電潛能約為地球石化燃料發電潛能的 300 倍。韓吟龍等(2013)評估我國深層地熱發電潛能結果指出，臺灣蘭陽地區與大屯火山區的深部地熱資源（3000-5000 公尺）皆具有 GW 級的發電潛能。我國應持續推動國家地熱資源之開發應用，將可有效提升國內自有能源的佔比。

(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 Soultz 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。

二、技術應用之情境

(一)應用情境與衍生之技術需求

1.1 大屯山地熱資源調查

- (1) 大地電磁三維電阻成像技術可提供深層地下地質構造研判的重要工具，搭配微震三維速度成像技術，進行併合逆推成像技術發展，藉由多項地層物理特性分析，解析地熱潛能區之地下熱液構造與評估地熱潛能區之分布，可提供建立大屯火山地熱地質模式所需之重要資訊。
- (2) 藉由火山氣體與土壤氣體組成成分分析，並透過相關氣體成分地質溫度計經驗公式計算，可找尋深部熱源之集中位置，推估深部流體集中地區、地下溫度分布範圍與高溫潛勢地區。
- (3) 地熱專家決策輔助系統係本計畫開發之資料庫建置及調查資料空間查詢運算系統，目前已達成整合不同調查資料在三度空間的交集/聯集運算，並可將運算結果以三維的圖形展現及二度空間的空間座標，方便地熱概念模式建立與探勘井位選取。
- (4) 本年度透過專家決策輔助系統選擇四礮子坪地區鑽探井位，並進行探勘井鑽鑿以驗證地熱概念模式的可靠性，並可進行地熱發電潛能評估，相關成果可提供地方政府進行 BOT 招商及地熱發電業者投資評估的參考。

1.2 微地震監測技術

- (1) 剪力波分離技術乃利用剪力波經過地層裂隙後被極化成高速及低速剪力波的特性，分析地下熱液蘊藏構造裂隙的位態與密度，提供增強型地熱開發潛能評估與最佳鑽探設計的參考。
- (2) 雙差分微震成像技術可對的地熱區微震活動及生產井高壓裂隙產生之微震進行高精度定位，藉以評估高地熱潛能區或生產階段高壓水力破裂裂隙效能監控。
- (3) 微地震監測技術除對地熱潛能評估及電廠管理監測外，更可廣泛應用於斷層活動監測、二氧化碳封存場址評估與安全監測等方面。

(二)專利佈局說明

2.1 耐酸腐蝕技術

對地熱發電系統而言，耐酸蝕技術的困難點包括需耐高溫、抗刮強且成本低廉，本計畫以此問題為技術開發的重要目標。基於上述目標，未來可專利的方向包括抗蝕複合鍍層、鍍層可二次功能化(有機物表面修飾)、複合沉積設備設計(大型地熱管件)及抗蝕複合鍍製程等。

2.2 4 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。未來可專利的方向包括主動式電極、無線傳輸、方法與硬體整合等。

(三)產業化佈局

- 3.1 耐高溫蛋白與鈣離子鍵結技術除地熱應用外，將朝向工業廢水結垢抑制與高溫鍋爐結垢抑制等方向發展。
- 3.2 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將朝二氧化碳封存、溫泉開發等方面佈局。
- 3.3 本計畫開發之低價、耐高溫、耐酸蝕鍍層技術可應用於地熱生產井管材、熱交換器等，有效延長地熱生產井之使用壽命。
- 3.4 耐酸蝕技術除可應用於酸性地熱發電系統外，亦可應用於石油開採、二氧化碳封存、化工業、風立發電機及船舶防蝕等。
- 3.5 專家決策輔助系統以地熱發電業者為主要的應用對象，未來可擴大至石油探勘業、地下水污染整治、二氧化碳封存、溫泉開發業等方面佈局。

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

本年度深層地熱發電技術研發計畫為期一年，各重要工作項目之完整執行成果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技術研發、資源調查與評估、產業推廣與國際合作三大項，實際工作內容與進展如下：

1.1 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、且地熱流體之酸性高，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

專家決策輔助系統規劃目的明確，為完整且正確地呈現地熱概念模型，並建立國內自主開發之地熱評估技術。透過持續蒐集廣納所有不同性質的地熱相關研究資料，包含地球物理、地球化學、地質、地形、鑽探資料…等，以數值資料庫的形式保存，並提供完整之知識庫系統，匯入三維模型建置系統，彼此交互驗證，提高儲集層概念模型的可靠度。

建置工作除完整的資料知識庫外，仍仰賴視覺化三維數值分析功能提供協助，才能於輔助決策功能上有效發揮功效。故本年度工作，規劃異質維度資料連動展示功能、以及參數特性分區及空間體積估算功能，並結合影像金字塔功能提昇顯示效率，實現高度客制化之地熱專家輔助決策系統。最終，期能準確且快速地提供特定目標岩層之空間分佈位置，協助架構地熱概念模型及提供正確的輔助決策建議，順利完成目標潛能區

的開發潛能評估作業，及篩選合適開發場址任務。

以下將分別針對資料庫建置項目，與三維數值視覺化分析輔助決策技術的執行成果，進一步說明。

1.1.1.1 資料庫建置與輔助分析

持續蒐集並更新專家決策輔助系統資料庫，是維持及精進系統功能的重要因子之一。因此，本年度將持續蒐集大屯火山地區國內地熱相關研究以及各種探勘資料，以增進專家資料庫的完整度與正確性，同時可利用本系統快速提供正確之資料庫內容查詢及視覺展示資訊(圖 1)。

資料庫的內容除了大屯火山地區的歷史文獻資料外，主要還可以分成地質、地球物理、地球化學及鑽井資料等，系統將針對以上資料進一步分析，並以分析成果輔助未來地熱資源開發規劃工作。由於歷史文獻資料、地質以及鑽井資料在上年度計畫大致上已收集完備，本年度資料庫更新主要是在大屯火山地區的地球物理及地球化學資料，分別說明如下：

(1) 鑽井地點說明

資料內容主要包含本計畫建置或蒐集之地物資料，含地電阻、重力、磁力、震波速度等模型。本年度計畫於大屯火山計畫區範圍內，新增多組大地電磁測站，經篩選資料品質良好之測站納入系統中(見圖 2)，並利用這些新增測站資料重新完成三維大地電磁逆推處理，得到四礮子坪區域更新後之三維地電阻模型。

經由本系內進行三維視覺後展示後，可清楚比較模型更新前後之三維低地電阻區，意即可能之儲熱蓋層分佈變化(見圖 3、圖 4)，更可輔助重新評估地熱潛能區的分布範圍以及可能蘊藏量。

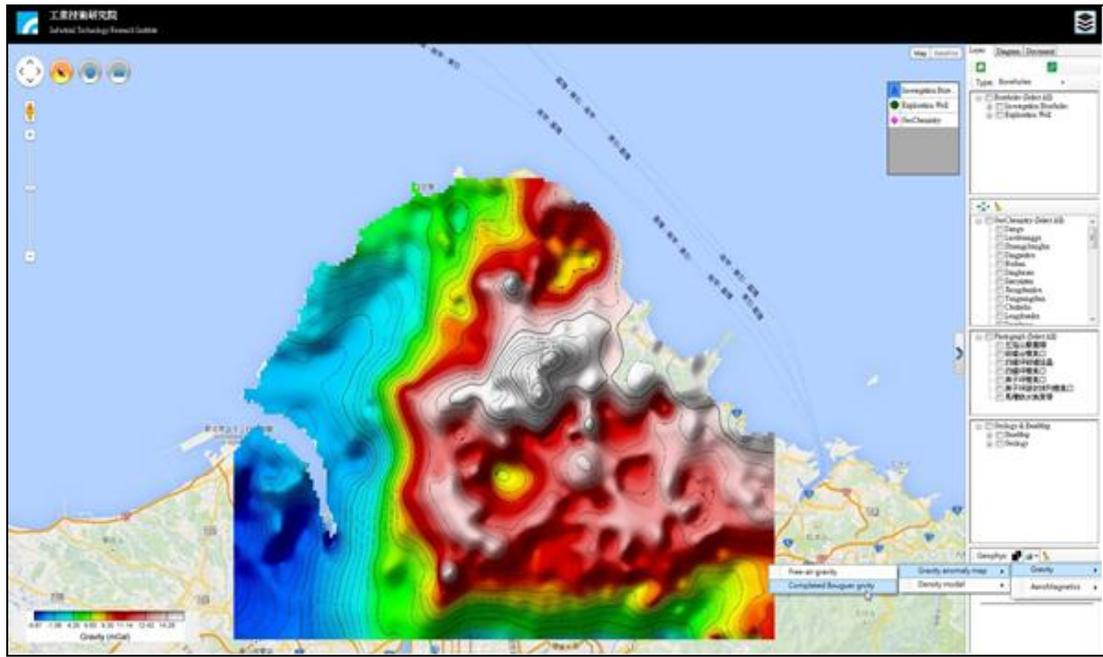


圖 1、地熱專家輔助決策系統資料庫分類及展示界面

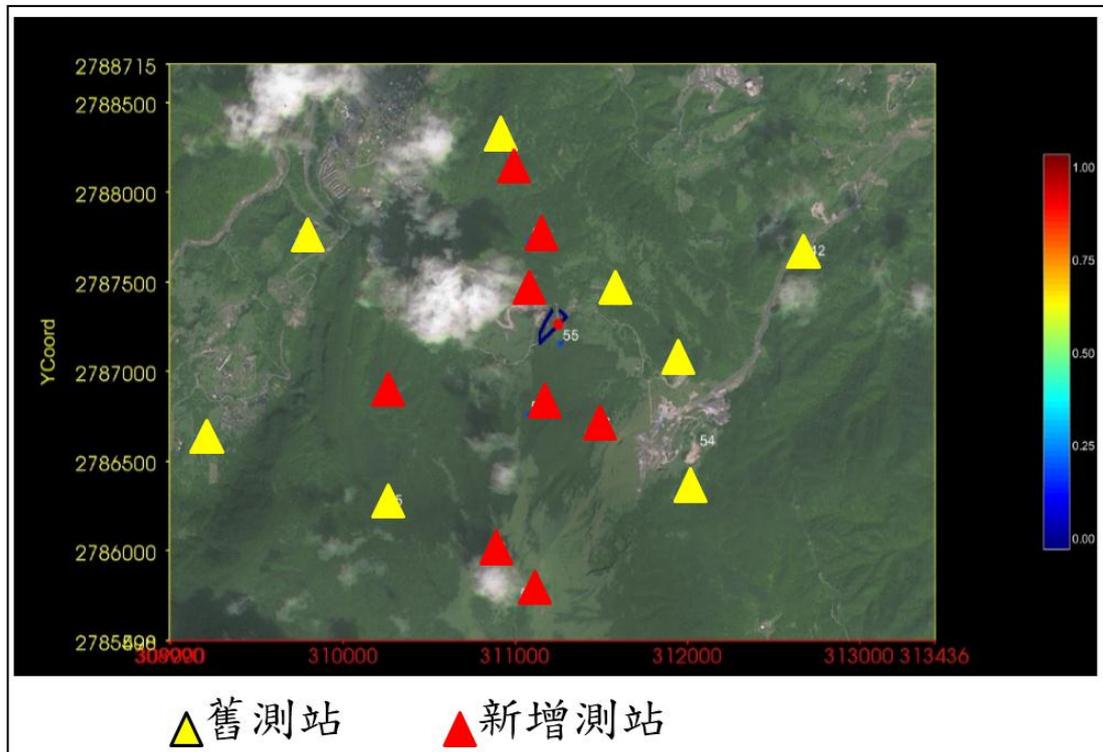


圖 2、計畫區新增大地電磁測站位置(紅圓點為預定鑽井位置)

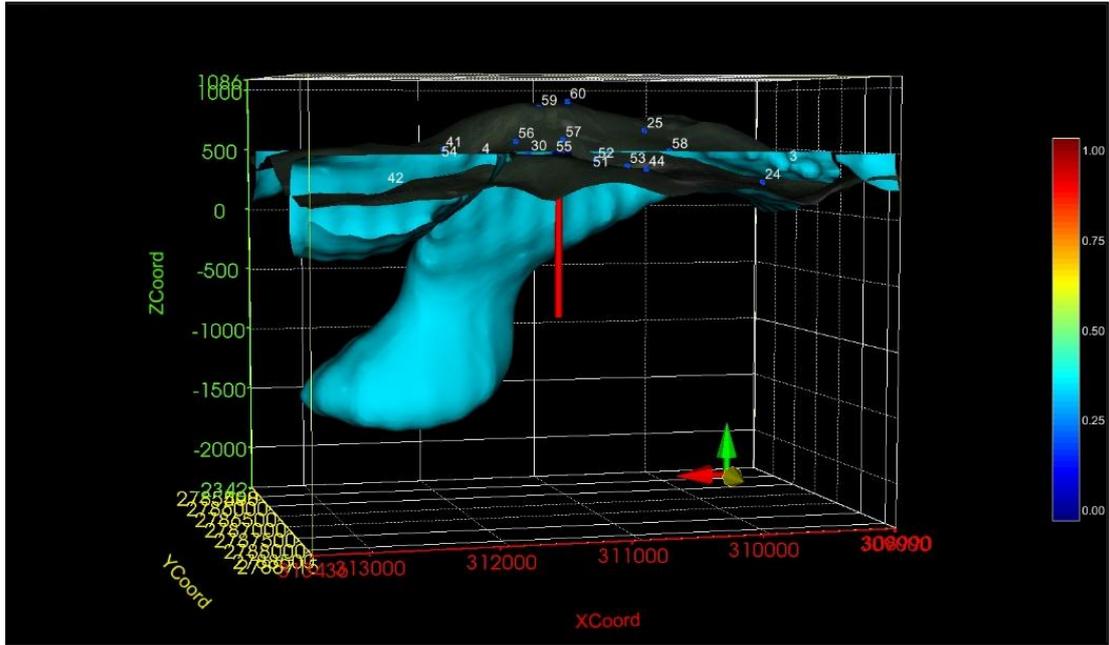


圖 3、前期計畫所得之三維低電阻蓋層分布與井柱分布關係圖
(紅柱體為井柱分布位置示意)

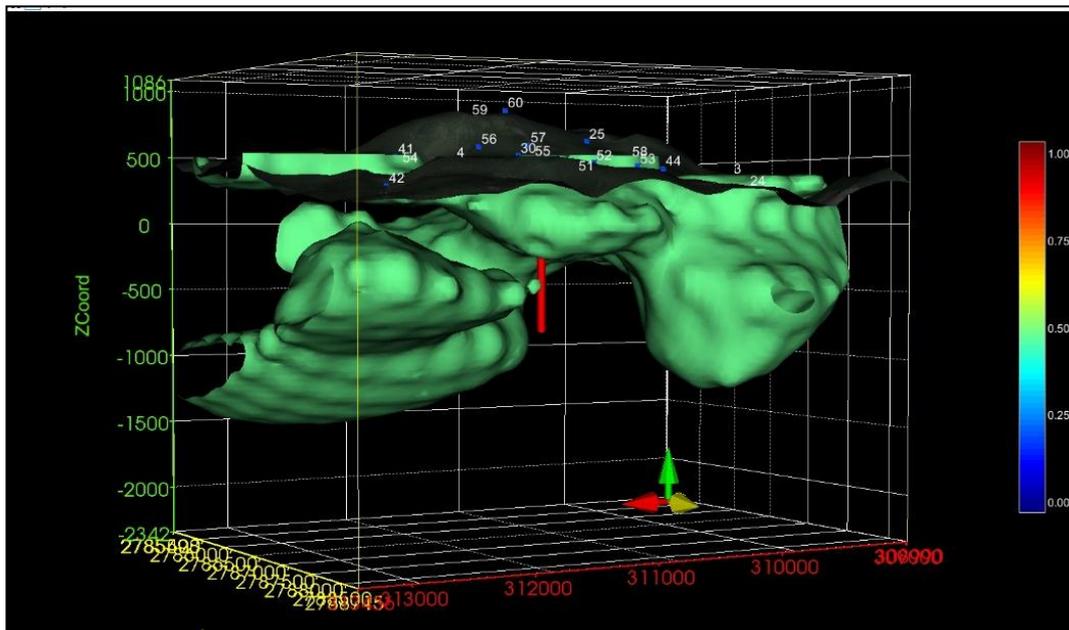


圖 4、本期計畫所得之三維低電阻蓋層更新模型與井柱分布關係圖
(紅柱體為井柱分布位置示意)

(2) 地球化學資料

大屯火山地區的地球化學資料主要來自包含分布在大屯山地區所有的採樣點資料，各種水樣化學離子、同位素分析以及噴氣孔或地熱井蒸汽氣體中的成分濃度分析結果。藉由各採樣點之間化學離子濃度變化趨勢，加上同位素分析結果以及土壤氣體分析資料，可以建立地熱水流動或補注模式(圖 5)，做為建立地下溫度場分布的輔助工具。

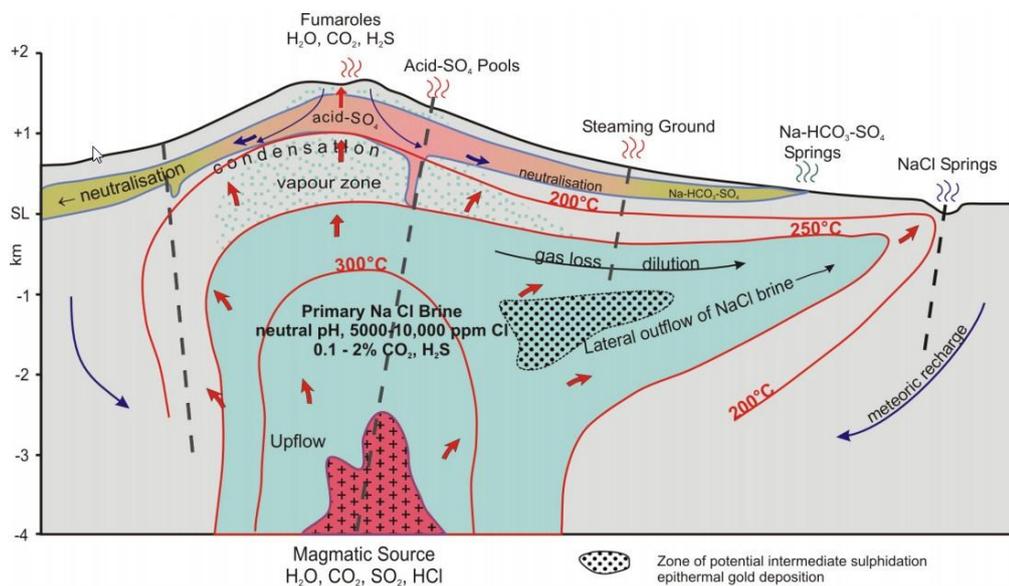


圖 5、熱水中各種離子成分來源與變化遷移示意圖

摘自 Bogie et al.(2005)

地球化學資料依照分析目的、種類不同又可分為水中化學離子濃度、噴氣孔及地熱井氣體成分分析、地熱井溫泉水氣定年分析、噴氣孔氣體地質溫度計及氦同位素分析等，各項資料之目的與格式說明如下：

A. 水中化學離子濃度

可分成三大類別，分別是調查區的地表溫泉水水樣(Surface Thermal Water)、地熱井熱水水樣(Well Thermal Water)、以及地熱井蒸汽冷

凝水水樣(Well Steam Condense Water)。

可分成三大類別，分別是調查區的地表溫泉水水樣(Surface Thermal Water)、地熱井熱水水樣(Well Thermal Water)、以及地熱井蒸汽冷凝水水樣(Well Steam Condense Water)。

第一類:地表溫泉水水樣—是指由地表自然湧出或是由岩縫流出之溫泉熱水採樣分析，匯入資料庫之格式如表 1所示。相關成果透過本系統，可以圖形方式展示。以地表溫泉水的鎂離子值為例，圖 6展示大屯火山區中，四個主要地表溫泉區(由左至右分別為北投、馬槽、四磺子坪、金山)，其溫泉水採樣的鎂離子濃度分布。

第二類:地熱井熱水水樣—指由地熱溫泉探勘井內的溫泉熱水採樣分析，匯入資料庫之格式如表 2。由本系統資料繪製之 PH 值分布圖，可以了解大屯火山地區地熱井溫泉水的 PH 值多為偏酸性分布(見圖 7)，且地熱井多集中在北投或馬槽地區。

第三類:地熱井蒸汽冷凝水水樣—指由地熱溫泉探勘井內的噴出蒸汽凝結後液體採樣分析，匯入資料庫之格式如表 3，由本系統資料繪製之氯離子分布如圖 8。

B.噴氣孔及地熱井氣體成分分析

主要是針對天然的噴氣孔或地熱井(Fumaroles & Wells)的噴出氣體做採樣分析，以了解其氣體主要組成及百分比，匯入資料庫之格式如表 4。

C.地熱井溫泉水氡定年分析

主要是針對溫泉水樣做採樣分析，以了解其氡濃度(TU 值)，試著了解地水補助的來源與年代，匯入資料庫之格式如表 5。

表 1、地表溫泉水樣化學離子濃度表範例

| Location | Type | Conductivity (mho) | Sampling Temp (°C) | pH | Ppm | | | | | | | |
|----------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|-----|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | | | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | Si ⁺⁴ | Cl ⁻ | SO ₄ ⁻² | HCO ₃ ⁻ |
| Shuangchunghsi | Spring | 1723 | 87.8 | 2.5 | 8 | 2 | 31 | 5 | 86 | 13 | 414 | |
| Hsinpeitou | surface spring | | | 1.6 | 965 | 360 | 240 | 68 | 191 | 3400 | 2680 | |
| Dingpeitou | Spring | 1463 | 57.8 | 6.5 | 80.1 | 43.3 | 118 | 84.1 | 81.4 | 113.9 | 127.8 | 643 |
| Diregu | rock fracture | | 96 | 1.6 | 1250 | 435 | 236.2 | 130 | 207 | 3290 | 3410 | |
| 以下省略... | | | | | | | | | | | | |

表 2、地熱井熱水水樣化學離子濃度表範例

| Location | Type | Well No. | Sampling Temp (°C) | pH | ppm | | | | | | | |
|----------------|------|----------|--------------------------|-----|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | | | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | Si ⁺⁴ | Cl ⁻ | SO ₄ ⁻² | HCO ₃ ⁻ |
| Shuangchunghsi | well | G6 | 150 | 3.8 | 386.7 | ND | 71.8 | 10.6 | 140.3 | 35.6 | 1266 | -- |
| Shuangchunghsi | well | G18 | 175 | 1.5 | 238.9 | 30.6 | 52.2 | 30.1 | 213.7 | 805 | 2108 | -- |
| Shuangchunghsi | well | G19 | 161 | 2.5 | 145.5 | 57.8 | 205 | 53 | 419.4 | 1620 | 3162 | -- |
| Shuangchunghsi | well | E101 | 198 | 2.1 | 177 | 25 | 105.5 | 37.8 | 211.5 | 125.9 | 1002 | -- |
| 以下省略... | | | | | | | | | | | | |

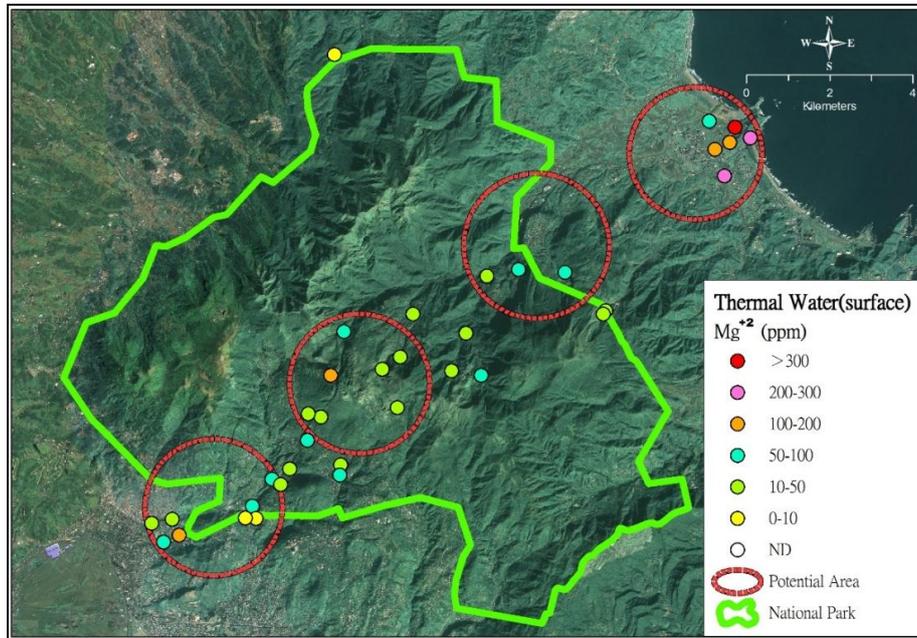


圖 6、地表溫泉水樣鎂離子濃度分布圖

資料來源:陳柏淳等人(2010)

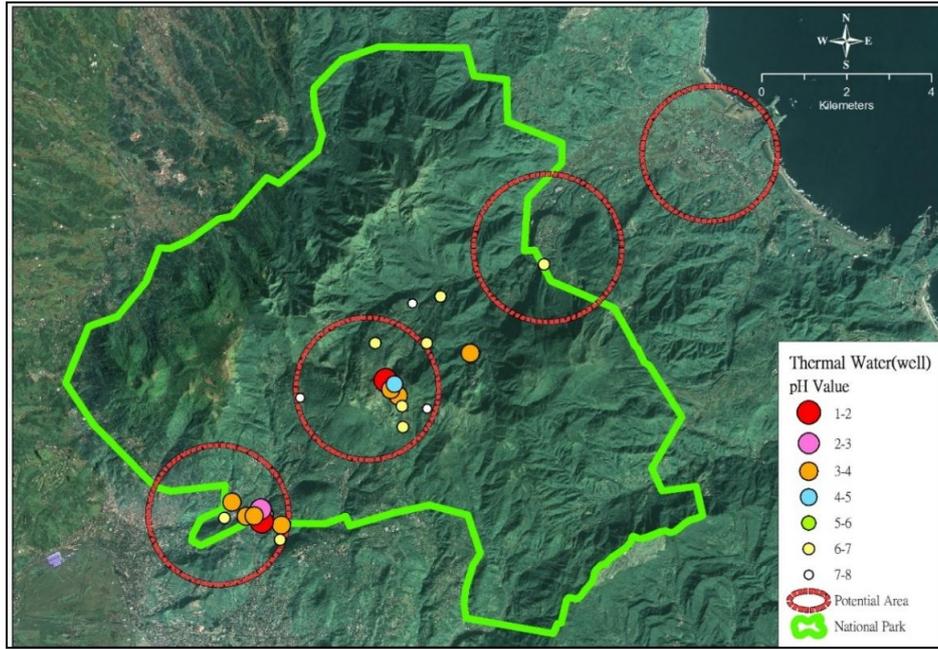


圖 7、地熱井熱水水樣 PH 值分布圖

資料來源:大屯火山群地熱探勘工作報告，工研院 1968~1972

表 3、地熱井蒸汽冷凝水水樣化學離子濃度表範例

| Location | Type | Well No. | pH | ppm | | | | | | |
|----------------|------|----------|-----|-----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|
| | | | | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | Si ⁺⁴ | Cl ⁻ | SO ₄ ⁻² |
| Shuangchunghsi | well | G2 | 6.3 | 3 | ND | 49.5 | 8.9 | 12.6 | 7.1 | 220.6 |
| Shuangchunghsi | well | E101 | --- | 796 | 407 | 174 | 167 | 235 | 4721 | 1623 |
| Matasao | well | G207 | 3.6 | 2.1 | ND | ND | ND | 2.0 | 17.2 | 2.1 |
| Matasao | well | E201 | 5.8 | 3 | 0.9 | -- | -- | 5 | 0.7 | 11.9 |
| 以下省略... | | | | | | | | | | |

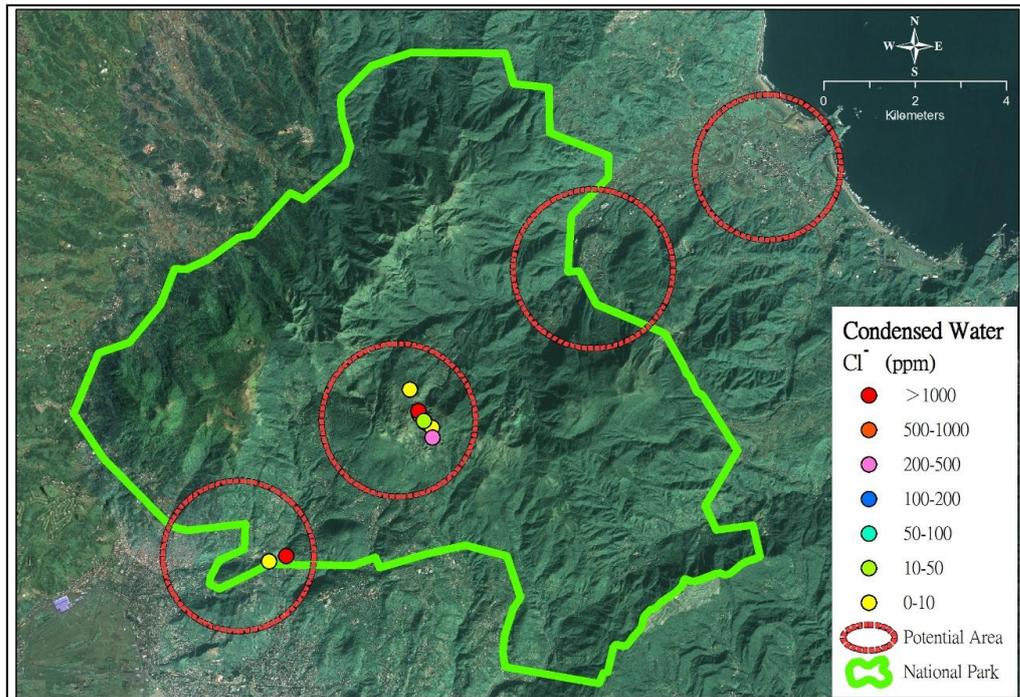


圖 8、地熱井蒸汽冷凝水水樣氯離子濃度分布圖

資料來源:大屯火山群地熱探勘工作報告，工研院 1968~1972

表 4、噴氣孔及地熱井氣體成分表範例

| Location | Type | Well No. | H ₂ O: Gas | | gas (vol%) | | | | | |
|----------------|----------|----------|-----------------------|-----|-----------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| | | | (vol%) | | CO ₂ | H ₂ S | CH ₄ | H ₂ | N ₂ | SO ₂ |
| Shuangchunghsi | fumarole | --- | 98.2 | 1.9 | 71.4 | 22.3 | -- | -- | -- | 2.9 |
| Shuangchunghsi | well | G2 | 99.4 | 0.7 | 69.6 | 24.6 | -- | -- | -- | Tr. |
| Shuangchunghsi | well | E101 | 98.1 | 1.9 | 63.0 | 31.3 | -- | -- | -- | 1.2 |
| Shuangchunghsi | well | E102 | 98.8 | 1.3 | 33.3 | 42.3 | -- | -- | -- | 0.0 |
| 以下省略... | | | | | | | | | | |

表 5、地熱井內氚分析成分表

| Location | Type | Well No. | X_TWD97 | Y_TWD97 | tritium (TU) |
|-------------|------|----------|---------|---------|--------------|
| Chinshan | well | JC-001 | 314470 | 2790511 | 0.69 |
| Chinshan | well | MW-01 | 313721 | 2790352 | -0.02 |
| Lengshueiku | well | LSK-01 | 306732 | 2784489 | 0.96 |
| Hushan | well | HS-01 | 304012 | 2782461 | 0.72 |
| 以下省略 | | | | | |

D. 噴氣孔氣體地質溫度計及氦同位素分析

針對大屯火山地區天然噴氣孔的噴出氣體做採樣分析匯入資料庫之格式如表 6，另外也可針對氣體中的氦同位素做特別分析，匯入資料庫之格式如表 7。

表 6、噴氣孔氣體成分分析表範例

| Location | Well | Temp. | Ar | N ₂ | CO | CH ₄ | C ₂ H ₆ | C ₃ H ₈ | He | H ₂ | O ₂ | SO ₂ | H ₂ S | HCl | CO ₂ |
|----------------|-------|-------|------|----------------|----|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------|----------------|----------------|-----------------|------------------|-------|-----------------|
| Bayan | BY-1 | 97.7 | 90.1 | 14740 | - | 14553 | 93.8 | 5.94 | 7.22 | 2.61 | 615 | 23413 | 640 | 8250 | 937589 |
| Bayan | BY-2 | 96.1 | 88.9 | 14383 | - | 15399 | 102 | 7.46 | 7.21 | 2.6 | 247 | 18959 | 5806 | 37.3 | 944961 |
| Dayukeng | DYK-2 | 101.2 | 62 | 13208 | - | 435 | - | - | 4.82 | 3.04 | 16.81 | 30317 | 55109 | 5190 | 895654 |
| Szehuangtzping | SHP-1 | 97.8 | 384 | 33015 | - | 4424 | 11.2 | - | 5.41 | 10.8 | 1885 | 298 | 45367 | 11665 | 902935 |
| 以下省略 | | | | | | | | | | | | | | | |

表 7、噴氣孔氦同位素分析表範例

| Location | | ⁴ He/ ²⁰ Ne | ³ He/ ⁴ He | Ra | (R _a) _c | [He]ppm |
|----------------|-------|-----------------------------------|----------------------------------|------|--------------------------------|---------|
| Bayan | BY-1 | 2.74 | 6.47E-06 | 4.65 | 5.14 | 11.6 |
| Bayan | BY-2 | 8.25 | 6.58E-06 | 4.73 | 4.88 | 12.6 |
| Dayukeng | DYK-2 | 50 | 8.58E-06 | 6.17 | 6.21 | 13.1 |
| Szehuangtzping | SHP-1 | 7.09 | 8.04E-06 | 5.78 | 6.01 | 8.42 |
| 以下省略 | | | | | | |

E. 土壤氣體成分分析

針對大屯火山地區土壤的氣體做採樣分析，由表層土壤氣體組成通量，分析並了解地下熱水(氣)之分布情形，匯入資料庫之格式如表 8，透過本系統可以將採樣點分布結合衛星照片展示圖 9。

F. 氫氧同位素分析

為了解研究區地下水的補助來源，針對地表水、溫泉水取樣做氫氧同位素分析，匯入資料庫之格式如表 9。

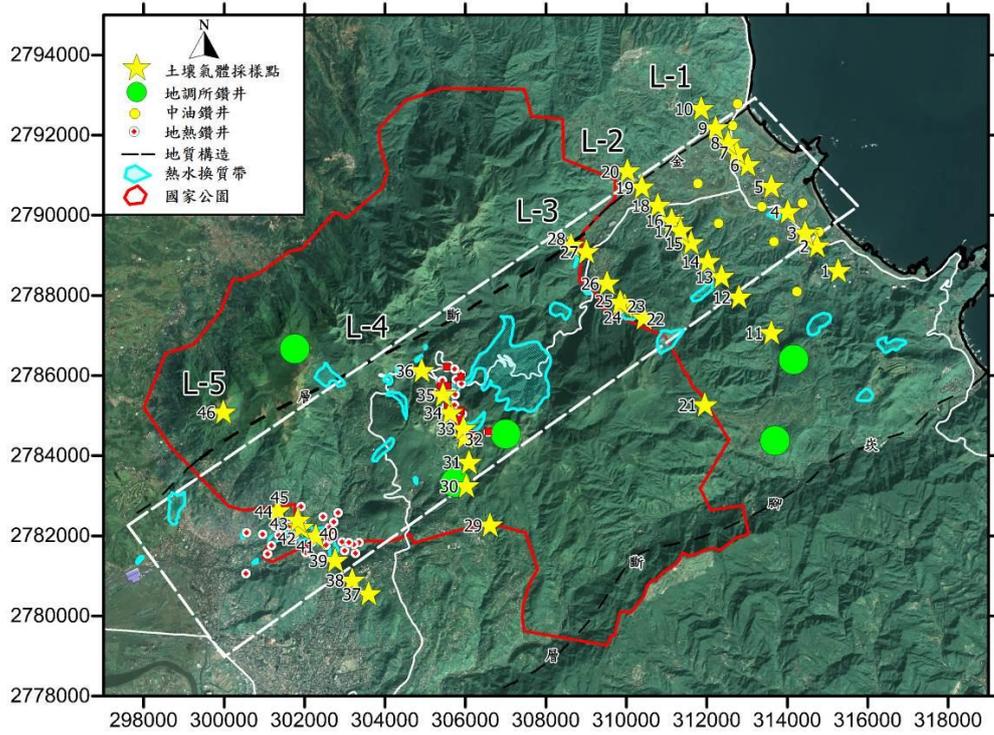


圖 9、大屯山地區土壤氣體調查測線/點規劃位置圖

(底圖為福衛二號衛星影像圖)

表 8、大屯山地區土壤氣體成分表範例

| Zone | Line | ID | He (pp) | Rn (kBq/) | N ₂ (%) | O ₂ (%) | Ar (%) | CO ₂ (%) | CH ₄ (pp) | H ₂ (pp) | CO (pp) | C ₂ H ₆ | C ₃ H ₈ | Total | δ ¹³ C (‰) |
|------|------|----|---------|-----------|--------------------|--------------------|--------|---------------------|----------------------|---------------------|---------|-------------------------------|-------------------------------|-------|-----------------------|
| D | L- | 1 | 5.19 | 2306 | 78.9 | 19.3 | 0.95 | 0.68 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100. | -23.8 |
| D | L- | 2 | 5.36 | 2183 | 81.0 | 12.3 | 0.96 | 5.57 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100. | -18.6 |
| D | L- | 3 | 5.25 | 1808 | 78.7 | 15.8 | 0.89 | 4.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100. | -16.7 |
| D | L- | 4 | 5.75 | 1228 | 67.0 | 13.8 | 0.89 | 18.2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100. | -7.95 |
| 以下 | | | | | | | | | | | | | | | |

表 9、大屯火山區地表水氫氧同位素分析表範例

| slope | Location | winter | | spring | | summer | | average | |
|----------------|----------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | | d ² H | d ¹⁸ O |
| Northern slope | 洗衣廠 | -21.9 | -5.2 | -21.7 | -4.9 | -22.9 | -4.9 | -22.2 | -5 |
| Northern slope | 上磺溪橋 | -20.4 | -5.5 | -19.6 | -5.2 | -27.6 | -5.6 | -22.5 | -5.4 |
| Northern slope | 員潭溪下游 | -15.6 | -4.9 | -17.2 | -4.8 | -22.7 | -5.2 | -18.5 | -5 |
| Northern slope | 鹿角坑 | -20.4 | -5.2 | -22.9 | -5.2 | -27.6 | -5.4 | -23.6 | -5.3 |
| 以下省略 | | | | | | | | | |

1.1.1.2 三維數值視覺化分析技術

本年度所規劃發展之三維數值視覺化分析技術，主要架構於前期計畫所開發的技術成果之上，該系統目前已完成開發二、三維基礎展示功能，可於電子地圖上圈選研究區域，選取欲展示分析的資料類型後，便可即時展示三維立體模型，此區域內的資料可同步運算並展示，亦可套疊各種地理空間資訊，如地表數位高程地圖(Digital Elevation Map, DEM)於模型表層。模型中，每種不同的資料類型均可各別調整三維格點化間距大小、繪製三軸剖面圖、可調式透明度、多組等值曲面展示等功能。亦提供三維調整工具列，可以拉動滑軸調整、呈現不同距離、深度的剖面。以下就所規劃之項目執行進度及內容進行說明。

(1) 非等距三維資料格點網格化演算

依據前期計畫執行所累積的系統開發經驗，在三維模型建置過程中，經常面臨到不同的地球物理參數於量測或分析使用的格點間距不同，且資料點分佈非等間距。然而後端空間分析運算，所有資料均需架構在共格點歸一化的網格上運算，因此所有的資料，需重新建立並轉換至相同的空間框架上，方能進行比對及後續運算，本系統增加了兩種非等距三維資料數值格點演算法，供使用者依資料特性進行選用。

三維資料的來源，主要由量測經逆推處理分析後之模型資料，資料點分布有兩大類，一種為格點均勻分布，另一種則呈現內密外疏的格點分布。故本系統提供兩種地理資訊學上常用之內插方法：距離平方反比權重內插法及鄰近點內插法，以協助使用者以不同的方法重新計算三維資料，所使用之內插方法介紹說明如下：

A. 距離平方反比權重內插法 (Inverse Distance Weighted Interpolation method, IDW)

IDW 將網格點周圍所搜尋到的原資料點，依其與該網格點的距離平方之倒數為其權重之依據，以求出其內插值。計算公式定義如下：

$$u(x) = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^n W_i(x)u_i}{\sum_{i=1}^n W_i(x)}, & \text{if } d(x, x_i) \neq 0 \text{ for all } i \\ u_i, & \text{if } d(x, x_i) = 0 \text{ for some } i \end{cases}$$

公式(1)

$$w_i(x) = \frac{1}{d(x, x_i)^p}$$

其中 u 為經 IDW 內插後所得的數值， x 是已知的點位， u_i 為原資料點位數值。本系統可以由使用者自行調整，決定參與此次內插運算的原數值點數為變數 i 。詳細運算過程採取步驟如下，以圖 10 進行說明：

- (a) 首先以新格點為中心，決定欲搜尋之點數，本例以 4 做為資料點數，之後便搜尋距離格點最之之原資料點，並做為後續步驟計算的資料母數。
- (b) 計算步驟(a)中各個原資料點至新格點之距離。
- (c) 根據步驟(b)所得之距離，套用圖 10)計算新格點之數值結果。
- (d) 將步驟(c)運算所得之數值套用至新格點位置，完成單點運算。
- (e) 移動至下一個新格點後，重覆上述步驟，直至完成所有新格點數值之計算。

B. 最近相鄰內插法(Nearest-Neighborhood interpolation)

最近相鄰內插法為普遍且常用的內插方法，運算過程採用最近的網格點數值作為新格點之數值，計算原理如圖 11，以二維資料為

範例，圖 11 中的左圖為原始資料，不同顏色代表不同數值，將同樣範圍重新格點化後，進行最近相鄰內插，由格點的中心點做為計算距離的基準點，以新格點的中心點搜尋原資料點中，距離最近的資料，取其數值做為該新格點的數值，則計算結果列於圖 11 右側。

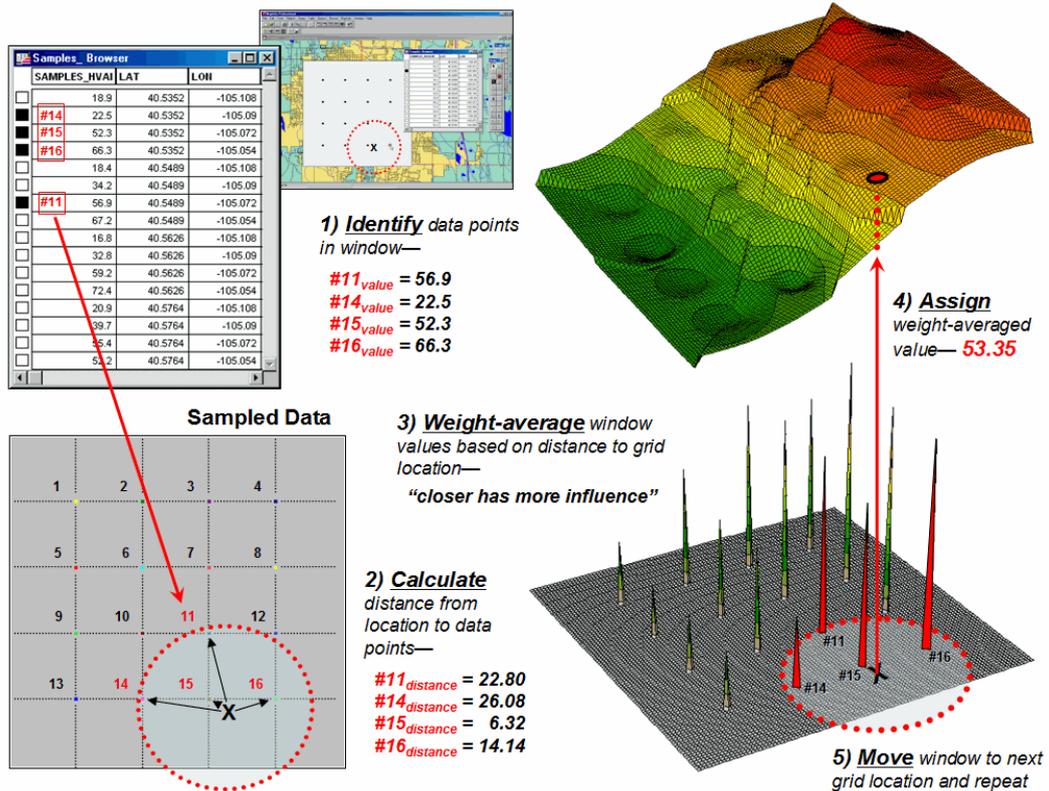


圖 10、距離平方反比權重內插法運算過程示意圖

(引用網頁 <http://www.innovativegis.com/basis/mapanalysis/topic28/topic28.htm>)

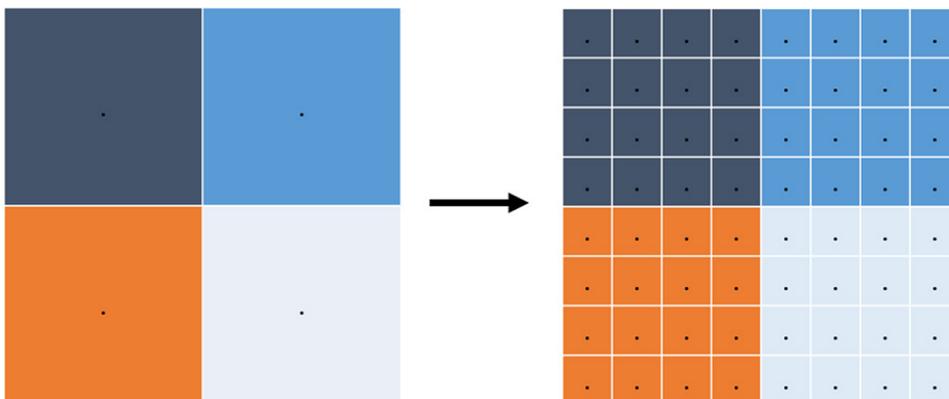


圖 11、最近相鄰內插法原理示意圖

(2) 異質維度資料展示互動功能

地熱專家輔助決策系統針對異質維度資料，完成互相展示鏈結功能。同時又由於地熱開發過程中，需綜合考量可開發之地籍圖平面分布，以及地下蓋層/儲集層等空間地質概念模型，以統合進行精確鑽井選址工作，所發展之虛擬井柱二維、三維連動繪製功能開發成果，進一步說明如下。

系統操作功能在設計上，依據使用者井位規劃的考量需求，如地籍所有權、合適開發坡度、面積大小等等資訊，結合 on-line Google map 系統，可透過 Google 所使用 KML 格式的二維 GIS 圖層進行匯入及套疊，因此可將坡度分析、公有/私有地籍等資訊結果納入考量，以輔助鑽井位置選取。操作上，考量使用者的便捷性，可選擇輸入座標或直接透過圖形拖曳的方式，針對所選取的井位進行微調操作，提供相當直觀的操作模式，並於輸入預計井深資料後，同步顯示於三維模型展示操作系統中。

以圖 12 為例，左側二維地圖視窗內的⊗符號，顯示預計鑽井位置。結合井深資料後，將可三維模型展示視窗中的紅色井柱產生連動(右後方視窗)。透過線上地圖視窗中的座標資訊，搭配地圖放大縮小功能，可精準地將鑽井位置定位於預定地點上。即可結合地籍資料，以及地電阻率等岩層物性參數，進行蓋層特徵的空間比對(圖 13)。由此井柱的互動展示，可以快速了解預定場址未來將可能鑽遇的儲集層目標深度，以及蓋層和儲集層尺寸及分布範圍，藉此輔助井位的選取決策。

此外本系統亦提供地質解釋圖三維空間展示功能，可將既有之二維地質解釋圖，進行三維座標定位，如圖 14 所示，定義二維地質解釋圖四個端角的相素的空間座標，並匯入系統，提供專家使用者評估

可能鑽遇之岩層目標，以達到異質維度資料鏈結與綜合分析之目的。

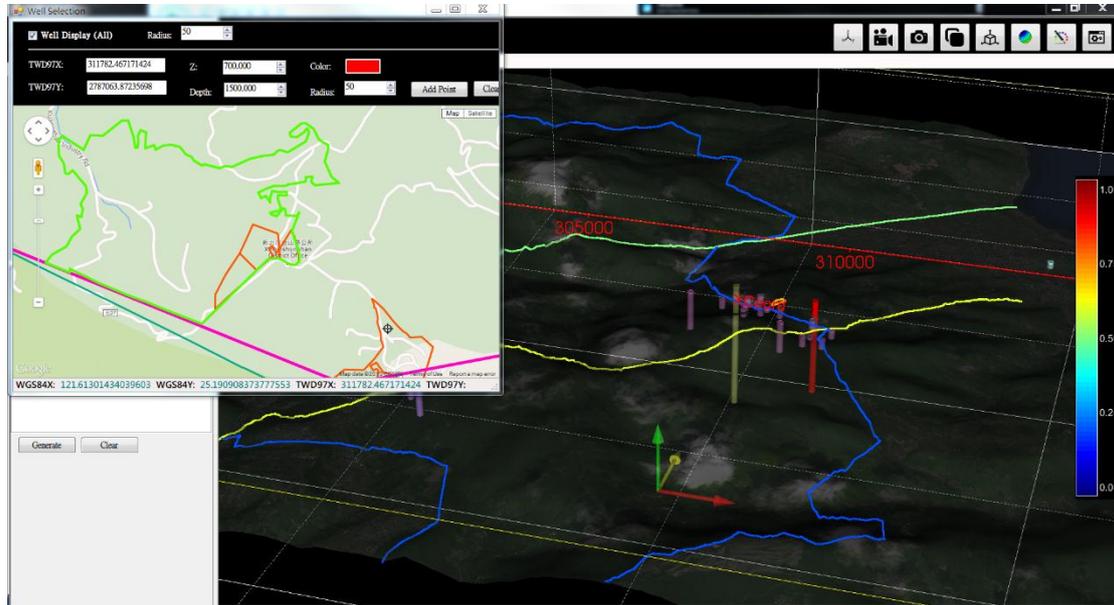


圖 12、二維井位選取與三維井柱連動展示範例圖

(二維視窗中分別為桃紅色多邊型-開發潛能區、青綠色多邊型-低坡度地區、橘色多邊型-國有地、青色線段-陽明山國家公園區域)

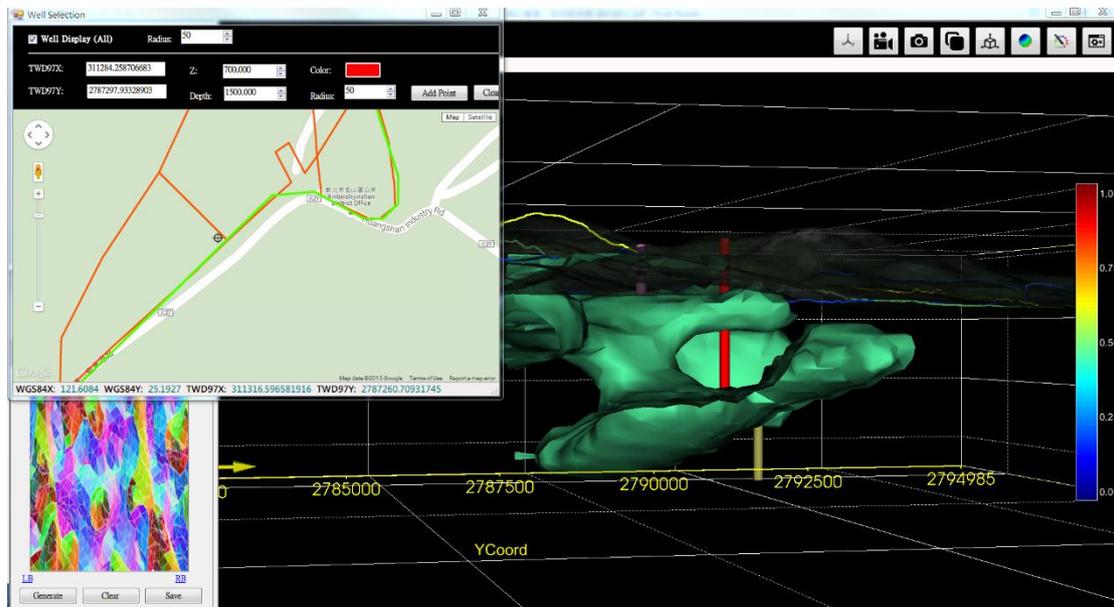


圖 13、規劃井柱與低電阻蓋層空間分佈圖

(紅色柱狀體為所規劃之井柱位置，綠色區域為 20 ohm-m 之低電阻等值面)

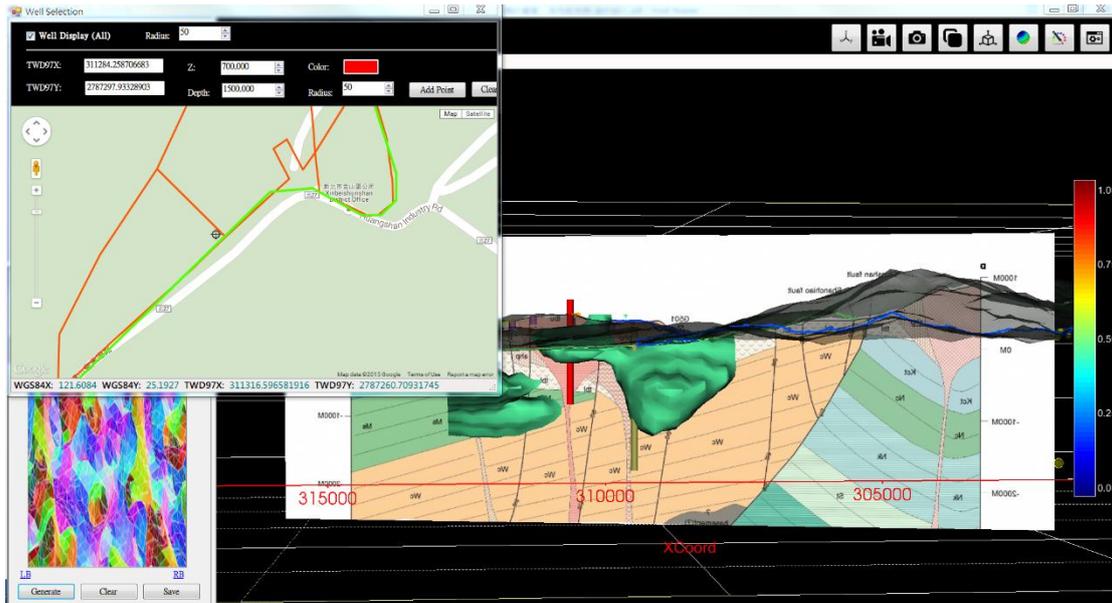


圖 14、規劃井位可能鑽遇之地質剖面圖

(3) 多重特性分區及體積估算功能

為估算地熱蘊藏體積，本系統所開發之參數分區及空間集合體積運算功能，必須先針對所選的資料進行條件式交集。運算上，首先進行空間交集，示意圖如圖 15所示，計算過程如下，先找出交集(紅色方塊)中的三維座標範圍之最大最小值，接著進行重新格點化運算，本系統提供兩種演算法，一為輸入重新格點化後之格點數量 (Nx、Ny、Nz)，二為快速格點化方法，以下為快速格點化方法演算流程：

- A. 進行交集運算的兩個三維網格，分別為 Cube A 及 Cube B，首先找出主要及次要的網格：比較 Cube A 及 Cube B 的對角線長度 $\sqrt{(dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2}$ ，距離較短者做為主要網格(Major Cube)。
- B. 找出主要網格的各軸範圍，如圖 16之上圖，以 X 軸方向為例 (Y、Z 軸以上類推)，尋找主要網格的最大最小值，若是次要網格 (Sub-Cube) 超出的範圍則會自動往內縮一格，定義為起始點及結束點，以此方法取得 X、Y、Z 軸的大小值(Xmin、Xmax、Ymin、

Ymax、Zmin、Zmax)，並算出其屬於原網格之起始點排序、新網格數量（Nx、Ny、Nz），及各軸起始點及結束點。

起始點及結束點算法，以 X 軸為例(依 C# 程式語法):

起始點:

```
Double x = (xmin - Major.xmin) / dx
```

```
Int startx = Convert.toint(Math.Floor(x/3))+1
```

結束點:

```
Double x = (xmax - Major.xmin) / dx
```

```
Int endx = Convert.toint(Math.Floor(x/3))
```

```
Nx = endx - startx + 1
```

C. 重新製作主要網格座標及參數矩陣 (Cube V)，為 ArrX[Nx,Ny,Nz]、ArrY[Nx,Ny,Nz]、ArrZ[Nx,Ny,Nz]、ArrV[Nx,Ny,Nz]

以下利用三層迴圈為 Nx、Ny、Nz 來算出對應的 raw data index 值。程式寫作邏輯範例如下

```
For(int I = 0; I < nx; i++) {  
    For(int j = 0; j < ny; j++) {  
        For(int k = 0; k < nz; k++) {  
            Int idrx = startx - 1+I; #找出對應之陣列索引值 X  
            Int idry = starty - 1+j; #找出對應之陣列索引值 Y  
            Int idrz = startz - 1+k; #找出對應之陣列索引值 Z  
        }  
    }  
}
```

得到 X、Y、Z、V 的值。再將 X、Y、Z 座標填入更新後的 ArrX、ArrY、ArrZ 陣列中，至於參數 V 值則是為參數矩陣一 (Cube V1)。

D. 產生次要網格 Sub-Cube 的參數矩陣二 (Cube V2)：

取得 Major Cube 中的 ArrX、ArrY、ArrZ 後，將次要網格設為相同格點位置，再由次要網格的參數值進行 IDW 格點化，即可得到多重特性分區所需之參數矩陣二(Cube V2)。

待完成重新格點化運算後，完成多重特性分區資料準備工作，後續即可進行岩性參數特性分區。以下茲就特性分區使用介面及體積估算原理與驗證進行說明。

以圖 17 為例，本系統透過雙直方圖的方式，可任意選擇兩種參數值進行評估。圖形使用者介面設計透過一圈選工具，按下圈選圖示後，可由使用者圈選特定區域，做為兩個參數矩陣(Cube V1 和 Cube V2)的選取交集條件。完成該次圈選後，系統會自動給予該區一預設名稱，並顯示於系統畫面右方之白色區域內，點擊任一名稱，可以在雙直方圖中顯示出對應區域，亦可進行刪除或資料匯出。經選取任一區域後，按下操作介面下方的計算按鈕(Calc)，便會於視窗下方計算出交集後之範圍體積，其體積估算原理與方式為：

- A. 依圈選範圍之 X 方向及 Y 方向之最大最小值，做為兩個三維格點之交集條件。
- B. 判斷同一網格位置內 (X , Y , Z) ，兩個三維格點之數據 V1 及 V2，當兩者皆符合交集條件時，給予該網格一指標參數 1，其餘情況則給予格網格指標參數 0。
- C. 加總所有網格中的指標參數，並乘上單位體積 ($dx * dy * dz$)，即為交集之總體積，單位為立方公尺。

為驗證本計算方法之合理性及正確性，將利用兩個部分疊交之理論橢球模型進行驗證。其中，設定一理論橢球，其 X、Y、Z 方向半主軸分別為 $\sqrt{15}$ 、3 和 2 而參數特性等於 3；另一理論橢球，則是 X、Y、Z 方向半主軸分別為 $\sqrt{2}$ 、3 和 2，而參數特性等於 5，其空間分

布如圖 18所示。經數值解運算，兩橢球理論體積交集部分約為 759 立方公尺。若將此二理論模型匯入本系統並進行格點化後，再進行參數特性分區交集運算。其選取條件為：橢球一中為數值等於 3 的空間分布，橢球二為數值等於 5 的空間分布，其體積估算結果為 723 立方公尺，如圖 19，誤差範圍約為 4%，尚屬可接受之合理誤差範圍，藉此證明體積估算功能之正確性。

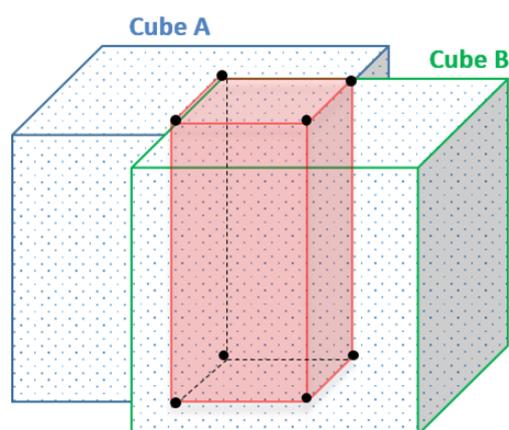


圖 15、三維格點化交集範圍示意圖

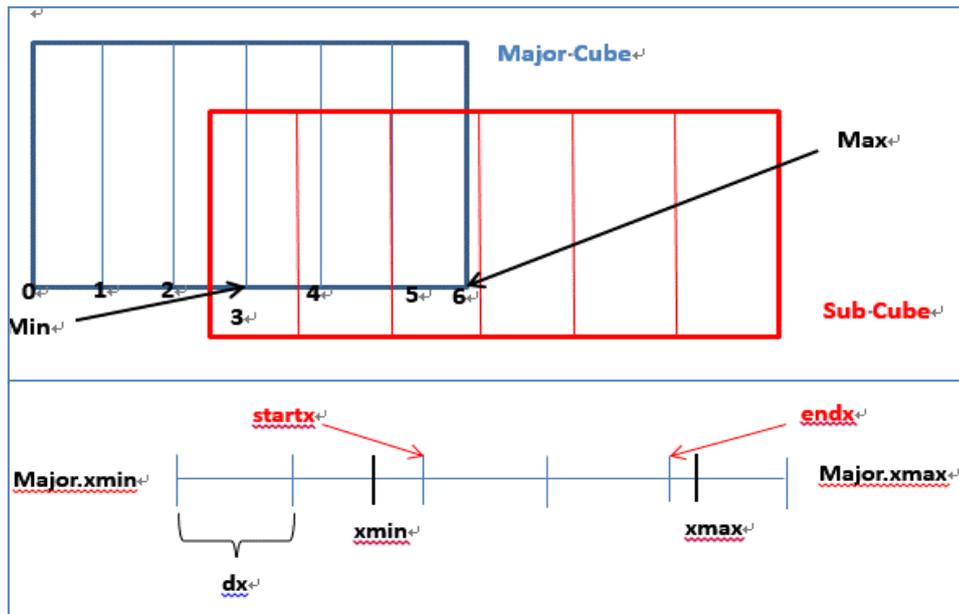


圖 16、快速重新格點化方法示意圖

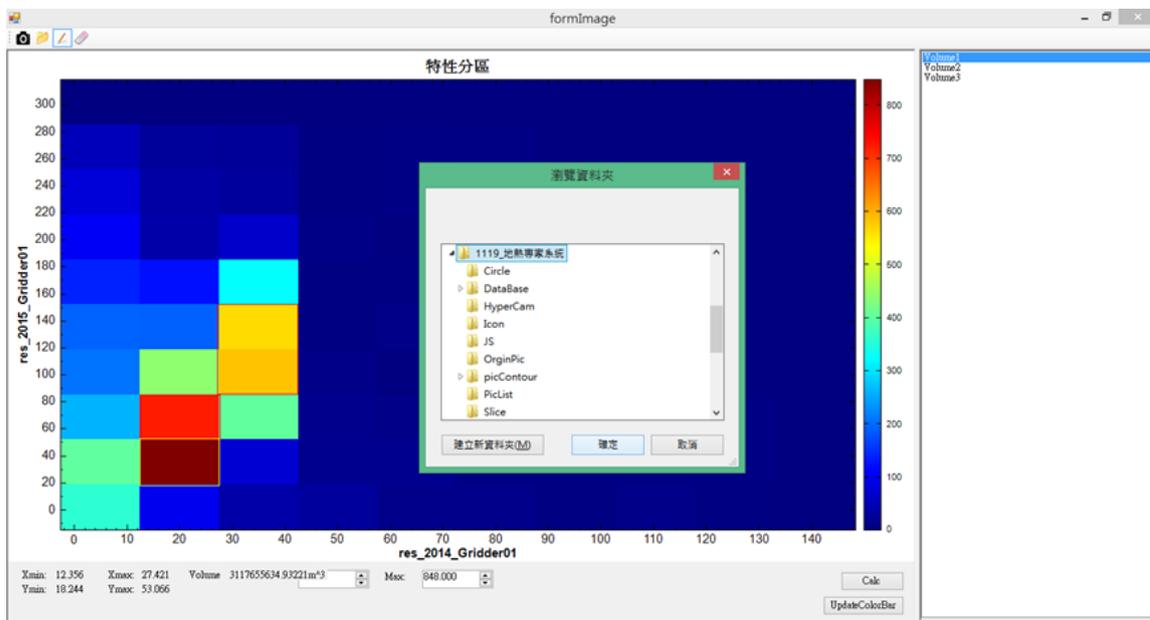


圖 17、多重特性分區之體積計算結果及輸出功能介面

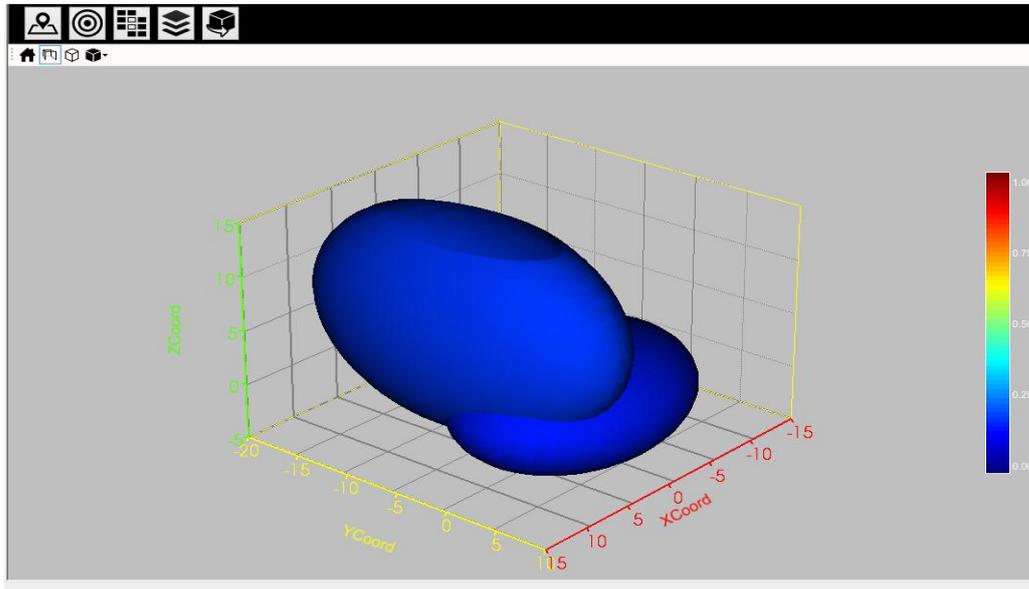


圖 18、雙橢球理論模型空間分布

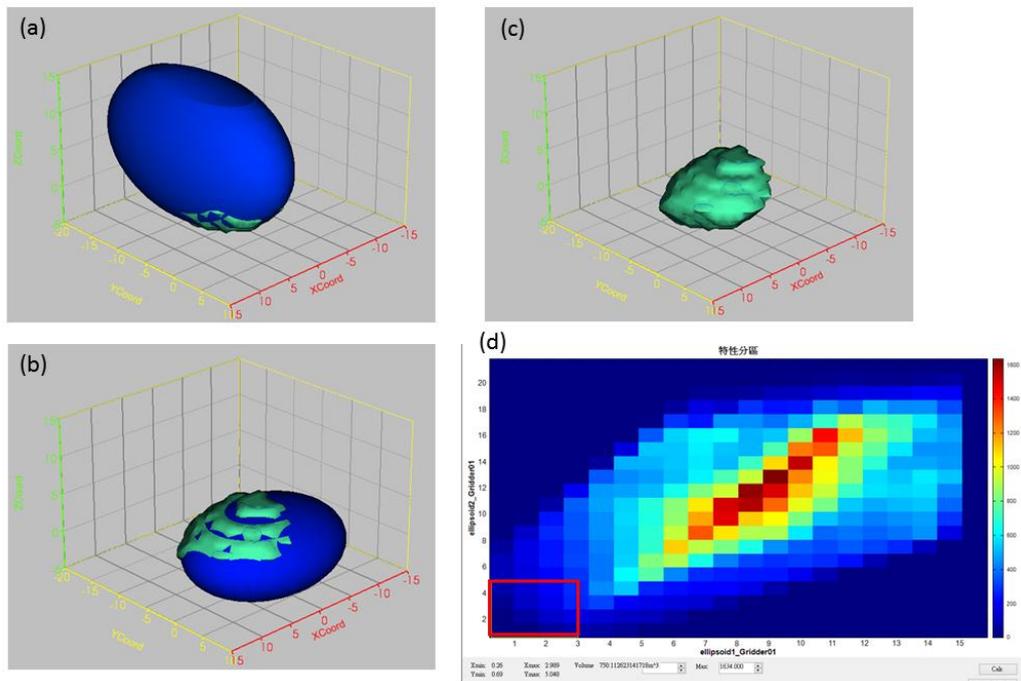


圖 19、雙橢球理論模型之交集計算結果

(a)-(c)中綠色區域為目標區空間分布，(d)為參數條件範圍。

1.1.2 地熱田開發關鍵技術

1.1.2.1 耐酸蝕材料技術

針對特定區域的地熱環境，除了高溫之外，水質亦處於極酸的狀態，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。本年度計畫中，主要係開發鎳鉻合金與陶瓷複合鍍層作為地熱環境中之抗酸蝕材料。

對於本計畫中所開發評估的試片，都會先以 Tafel 曲線分析評估其腐蝕電流範圍值，確認腐蝕電流值小於不鏽鋼 304 之腐蝕電流值，再以大試片進行現地實測分析。由於腐蝕現象是在同一個區域同時發生金屬的氧化反應及氫氣的生成反應(或氧氣的還原反應)，金屬氧化失去的電子被水(或氧)接收進行還原，兩個反應會因遵守電荷守恆原理，金屬氧化的陽極電流等於氫氣還原的陰極電流，而使得淨電流為零，達到一穩定狀態(steady state)。因此對於試片進行電位掃描，然後在 E vs. Log i 的圖上，分別對試片的陰陽極反應做出漸進線並求取 Tafel 斜率，而兩端之漸進線所交會處所得之電流值，便是腐蝕電流值，如圖 20 所示。

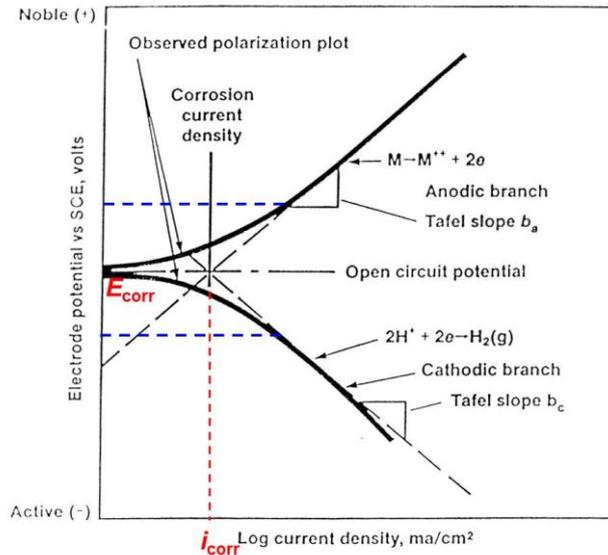


圖 20、運用 Tafel 曲線計算腐蝕電流之概念說明

(1) Epoxy 電著技術

本計畫初期首先評估 epoxy 電著技術。電著技術是將帶有正或負離子的水溶性塗料分散於水中，在通電時沉澱於被鍍物，形成均勻非水溶性之塗膜。運用電著技術，嘗試將 epoxy 沉積於 SS304 表面(樣品編號:Coating 1)，然後對其進行抗蝕特性分析，如圖 21所示。由先前建立之實驗資料得知 SS304 在室溫下 0.5M H_2SO_4 水溶液之腐蝕電流密度範圍在 $10^{-4} \sim 10^{-5} A/cm^2$ ，而電著 epoxy 鍍膜之 SS304 試片-Coating 1 則明顯的具抗蝕性，所量測到的腐蝕電流非常小(小於 $10^{-8} A/cm^2$ ，已經無法與 noise 區隔)，顯示其幾近於電絕緣，即使在 80oC 的環境下依然具強抗蝕性，腐蝕電流密度範圍依然在 $10^{-8} A/cm^2$ 以下。而鍍層的附著力通過百格測試。實驗室之測試結果符合實地測試基本要件，因此將 10cm*10cm 的電著 epoxySS304 試片放入現場實地測試。實地測試結果，可以見到，試片表面的確並未出現腐蝕現象。然而表面凸起若干小泡，如圖 22所示。顯示 epoxy 電著層

之問題出在於表面附著，換言之改善表面處理程序，增強與不鏽鋼之附著，才能將 epoxy 應用於抗酸蝕環境。

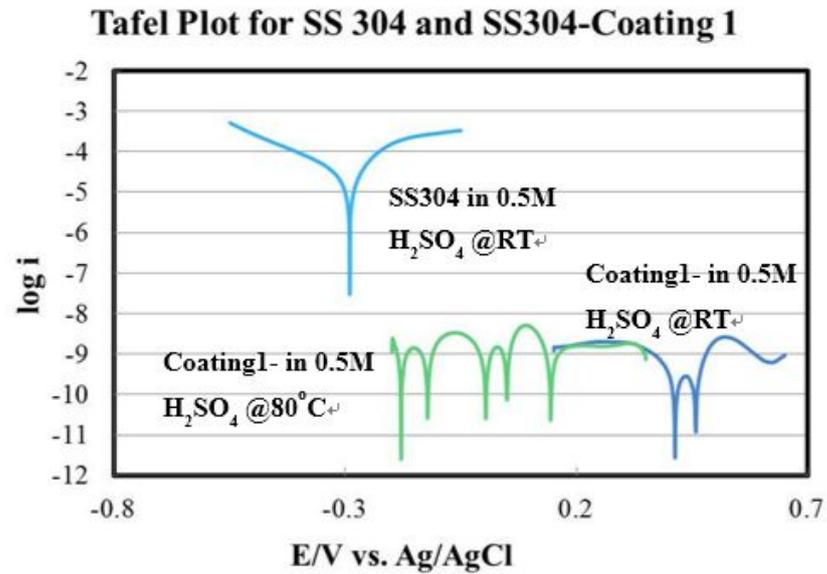


圖 21、SS304 表面電著沉積 epoxy 在 0.5M H₂SO₄ 水溶液之抗蝕行為分析。



圖 22、SS304 表面電著沉積 epoxy 經實地測試後，表面出現微小凸點

(2) 金屬鍍膜抗蝕技術

為了增加一般金屬之抗蝕能力，會在表面鍍上一層鎳或鉻金屬來增加其抗蝕能力，本研究在計畫初期亦評估鉻金屬在現有環境下之抗蝕能力，六價鉻鍍層雖為常見之抗蝕鍍層，但因環保因素而必須被取代。最常見是以三價鉻離子作為替代的製程，但藉由對六價鉻及三價鉻鍍層抗蝕行為之了解，是可以作為最終之抗蝕鍍層開發之評估依據。同樣在 SS304 表面分別以六價鉻及三價鉻製程沉積鉻鍍層，以 Tafel 曲線分析評估其在室溫下 0.5M H₂SO₄ 水溶液之腐蝕電流，可以見到有六價鉻及三價鉻鍍層之 SS304(腐蝕電流密度小於 10⁻⁶ A/cm²) 在常溫下之抗蝕效果皆優於不鏽鋼，如圖 23 所示。而六價鉻的抗蝕又比三價鉻理想。其中主要差異在於三價鉻環保製程需要大電流密度來完成，嘗試將三價鉻鍍層增厚將會導致表面產生裂紋，如圖 24 所示，因此當酸性溶液經由裂縫接觸到不鏽鋼，試片的抗腐蝕行為便等於不鏽鋼。這也說明為何測試 15 分鐘後含三價鉻鍍層之試片(C3-15)(圖中紫色線)腐蝕電流會明顯上升。

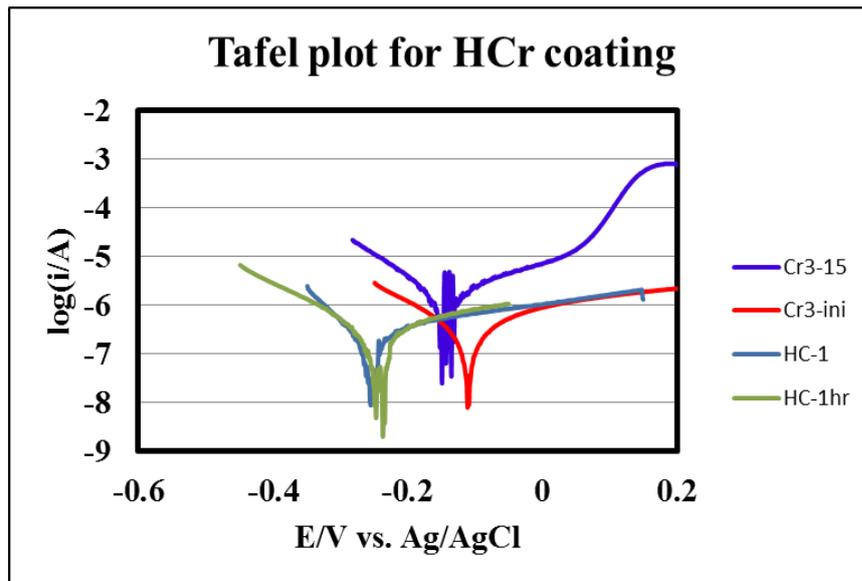


圖 23、SS304 表面電鍍鉻金屬在 0.5M H₂SO₄ 水溶液之抗蝕行為分析

鍍有三價鉻鍍層之試片在 15 分鐘後，腐蝕電流便明顯上升，而六價鉻鍍層在放置 1 小時後測試，腐蝕電流並無明顯變化

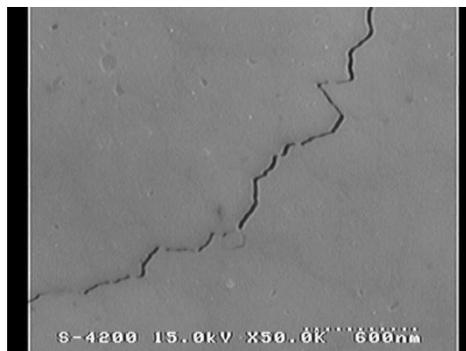


圖 24、SS304 表面鍍有三價鉻鍍層之試片明顯出現裂紋

而對於六價鉻，由於不易產生連續貫通之裂紋，當鉻氧化時會形成一層完整且緻密的抗蝕與耐熱氧化鉻保護膜，故可有效隔絕腐蝕向內進行，甚至有自行修復氧化鉻保護膜的能力。因此在 0.5M H₂SO₄ 水溶液之抗蝕能力十分優異。將 10cm*10cm 的六價鉻/SS304 試片放入現場實地測試。實地

測試結果，可以見到試片表面會出現小孔洞的孔蝕現象。即便將鉻鍍層顯著增厚，孔蝕的現象還是沒有辦法完全的避免，如圖 25所示。主要原因在於目前所選定的地熱環境，是屬於混酸之環境(如表 10所示)，其中含有大量硫酸根離子及氯離子。面對高濃度的氯離子，氧化鉻保護膜的抗蝕能力會明顯降低。因此會出現孔蝕現象。透過鉻鍍層在混酸環境下的抗蝕行為，本計畫評估單一金屬鍍層將無法承受高溫混酸環境下的腐蝕，因此進一步評估合金鍍層抗蝕的可能性。



圖 25、SS304 表面鍍有六價鉻鍍層之試片，於實地測試兩周後出現孔蝕

表 10、實地測試環境之離子濃度分析

| Sample | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ | NH ₄ ⁺ |
|--------|-------------------------------|----------------------|------------------------------|
| 06-1-1 | 2855 ppm (~0.29M) | 2710 ppm (~0.76M) | 752ppm (~0.42M) |
| 06-1-2 | 1155ppm (~0.12M) | 1320ppm (~0.37M) | 350ppm (~0.19M) |

在鉻合金部分，首先評估氟化鉻鍍層之抗蝕效果。氟化鉻鍍層為常見之代鉻抗蝕鍍層，成本具可接受性，因此對其進行相關評估。在 0.5M H₂SO₄ 之 Tafel 測試中，一開始之氟化鉻抗蝕特性極為理想，然而浸泡於 0.5M H₂SO₄ 之溶液中 1 小

時後，抗蝕能力下降，2 小時後已經接近於不鏽鋼之抗蝕能力如圖 26。由 SEM 觀察，氟化鉻表面粗糙，出現若干微孔如圖 27。若無法改善氟化鉻鍍層之緻密性，將無法達到抗蝕目的。

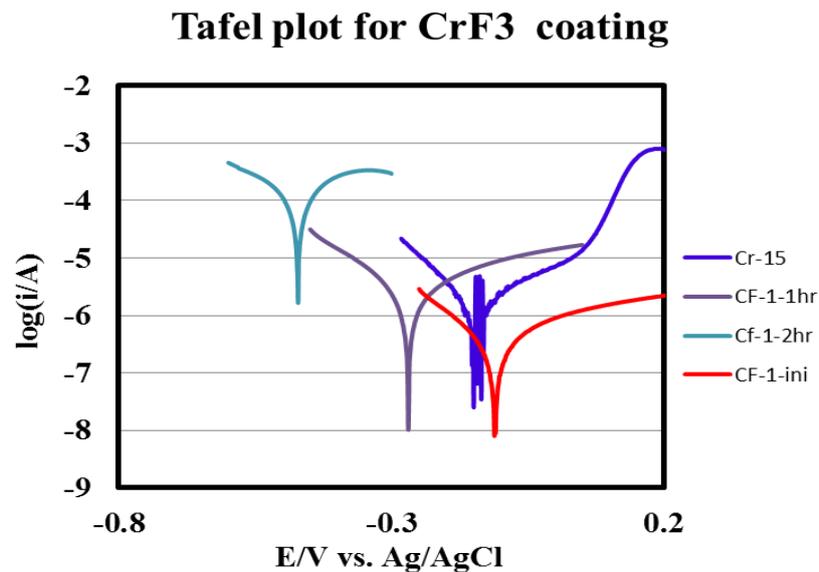


圖 26、在 0.5M H₂SO₄ 之 Tafel 測試

氟化鉻初始之抗蝕特性極為理想，然而浸泡於溶液中 1 小時後，抗蝕能力下降，2 小時後抗蝕能力已經接近於不鏽鋼底材。

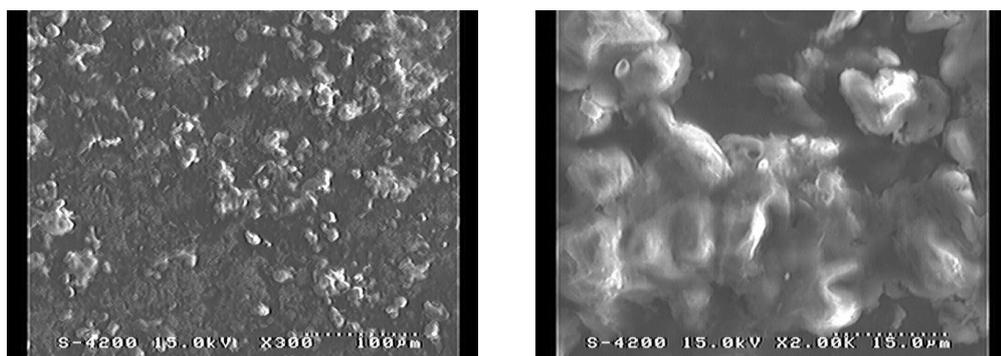


圖 27、由 SEM 觀察，氟化鉻表面粗糙

氟化鉻表面粗糙出現若干微孔，極可能為抗蝕能力下降之原

因:

鎳-鉻合金共鍍實驗，以三價鉻鍍液作為基礎，逐步添加 Ni 作為共鍍元素。因為在電化學沉積過程中，鎳離子比三價鉻離子更容易還原，因此藉由控制鍍液系統中的鎳含量，可望調整合金中的鎳鉻比例。結果發現在現有的三價鉻的沉積系統中，很難提高鉻的含量或有效控制裂紋的產生。主要是為確保鎳-鉻合金鍍膜中鉻的含量，三價鉻的沉積系統必須在大電流密度下操作，然而當電流密度 $>15\text{ASD}$ 時，鍍層會出現焦黑，如圖 28所示，沉積物甚至帶出不應該還原析出的成份如 Al、Na、S 等雜質，不管是以直流模式或是各樣頻率及 duty 條件下的脈衝供電均無法有效改善。搜尋文獻中類似的研究結果，可以發現維持電流密度 $>15\text{ASD}$ 時的電位範圍，是 2 價鉻離子最容易出現的範圍，然而此時 Cr^{2+} 會成為 Ni^{2+} 的強還原劑，造成金屬鎳的加速析出，因而干擾鎳鉻合金的共沉積。因此黑化及鎳鉻分離(segregation)的情況嚴重，鍍膜顆粒開始變得粗大，並且分佈得極不均勻。此若下降電流密度到 10ASD 以下，雖然可得較為光亮的鍍層，但在黃銅片上試鍍後的 EDAX 分析，鉻的含量偏低， 2ASD 下不足 1%； 6ASD 下約 4.7%； 8ASD 下約 6.4%； 12ASD 下也僅及 15%左右。形貌上在 8ASD 以上開始在 grain boundary 上有發現裂紋， 10ASD (Cr~13.5%)以上則有明顯的龜裂紋路，如圖 29所示至於超過 15ASD 電流密度的試片，在光澤區均觀察到 Cr/Ni 共鍍的膜層，都有嚴重龜裂的現象，跟其中 Cr/Ni 的比例並無相關。這些結果顯示現階段的製程鍍液共沉積效果不良，無法共鍍出完整緻密且 Cr 成份超過 15% 的鎳鉻合金。

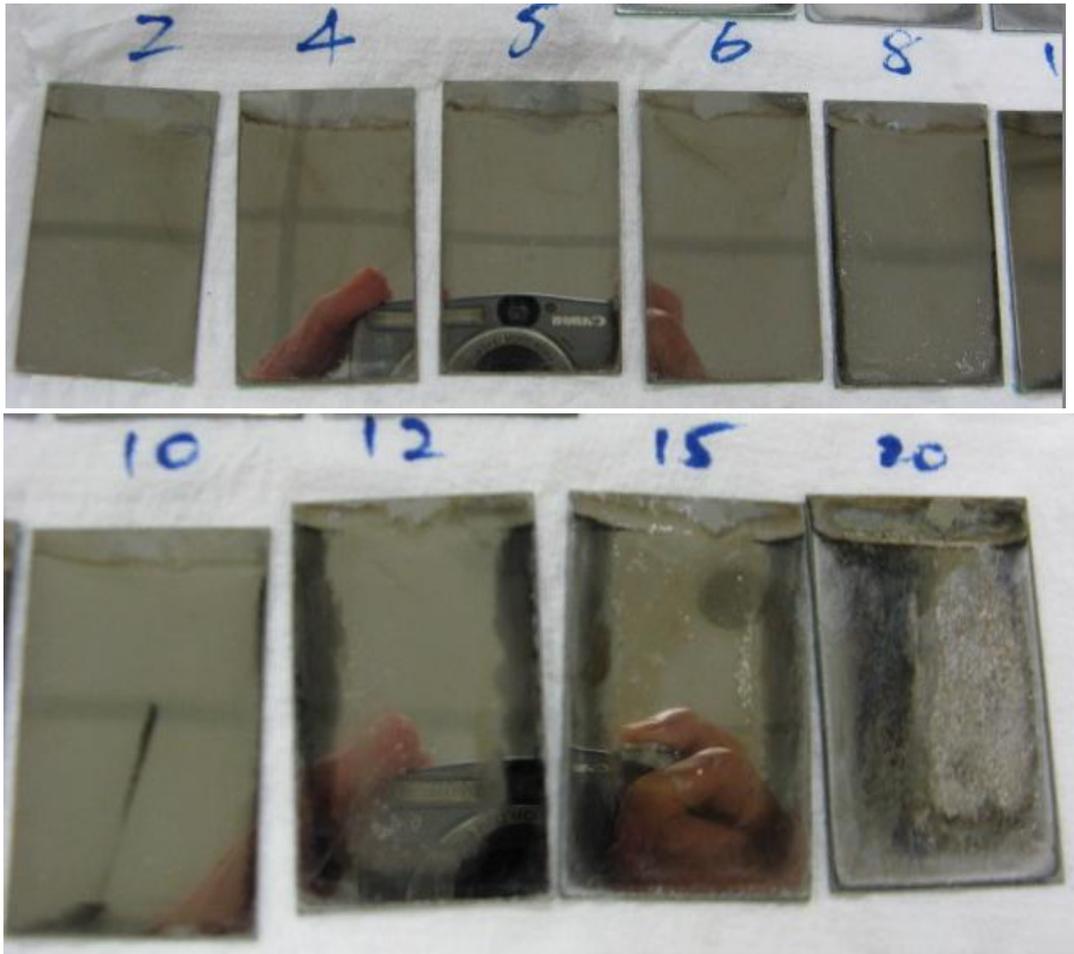
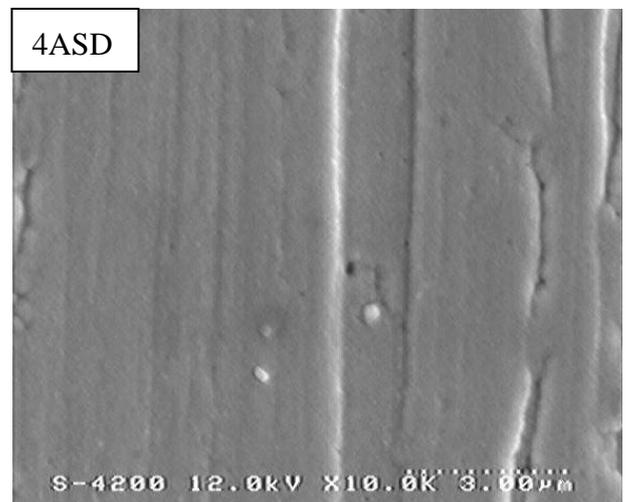
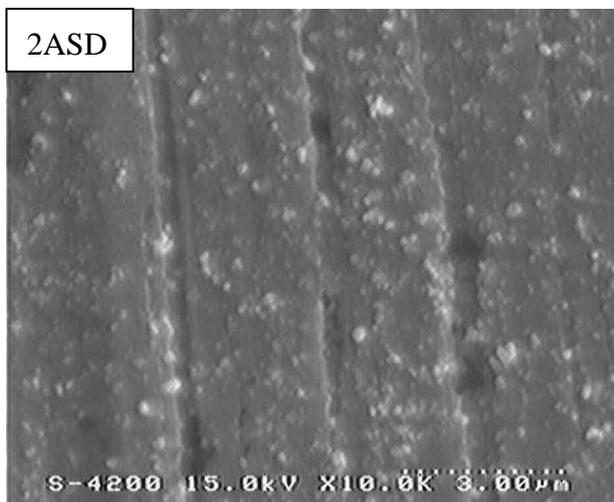


圖 28、不同電流密度下，SS304 表面沉積鎳鉻鍍層之試片外觀

當電流密度 >15 ASD 時，黑化及鎳鉻分離(segregation)的情況嚴重，鍍膜顆粒開始變得粗大，並且分佈得極不均勻。



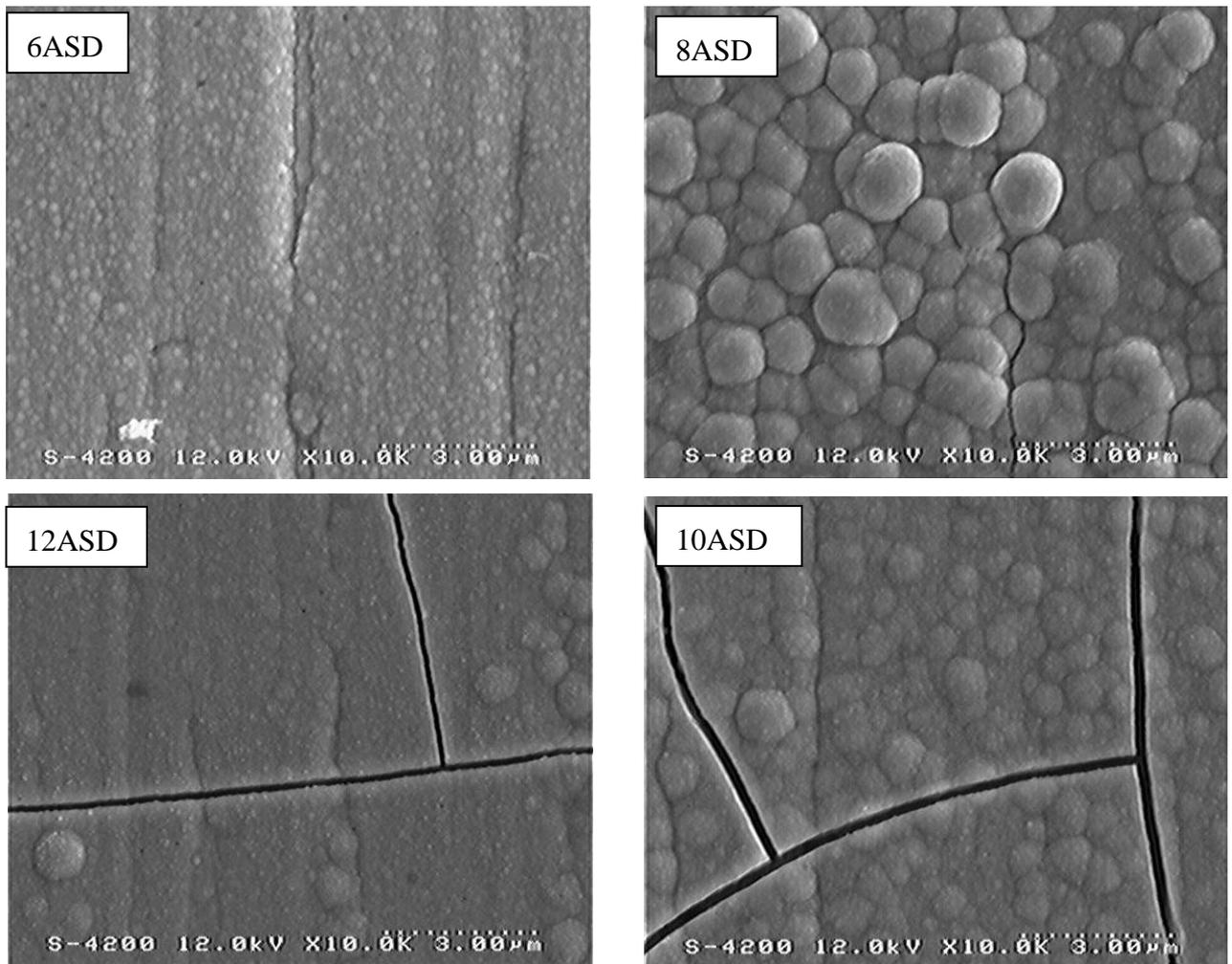


圖 29、不同電流密度下，SS304 表面沉積鎳鉻鍍層之試片外觀

當電流密度 $>15\text{ASD}$ 時，黑化及鎳鉻分離(segregation)的情況嚴重，鍍膜顆粒開始變得粗大，並且分佈得極不均勻。

研究中嘗試透過錯合劑的添加來加以解決。錯合劑的作用主要在於拉近鎳與鉻的沈積電位，使兩者的沈積比例不至於差異過大。根據 Fexel et al.(1991)曾報導過 citric acid 可使 Cr 與 Ni 相差 500mV 的沈積電位縮小至 200mV 以內；而 Lashmore et al. (1986)也曾以 citric acid 在 $\text{pH}=3.8$ 的鍍液中將 Cr 與 Ni 的沈積電位拉近至 270mV 以內。因此本研研究在鍍液中加入檸檬酸作為配位劑。在 $\text{citrate}/\text{Cr}=1.2$ 的比例下，

的確達到提高鉻含量的效果。在 10ASD 的電流密度下，便可以得到 15% Cr，優於先前需拉高到 12ASD；而外觀上光亮區範圍較大，周邊也沒有燒焦現象，如圖 30所示，反而展現更高的鉻含量(~21% Cr，但鍍層較薄)。然而鍍液在數次的沈積之後迅速衰退，試片明顯出現黯淡現象，鉻的析出量甚至隨著電流密度的上升反而下跌。系統的不穩定，限制可應用的可能性。

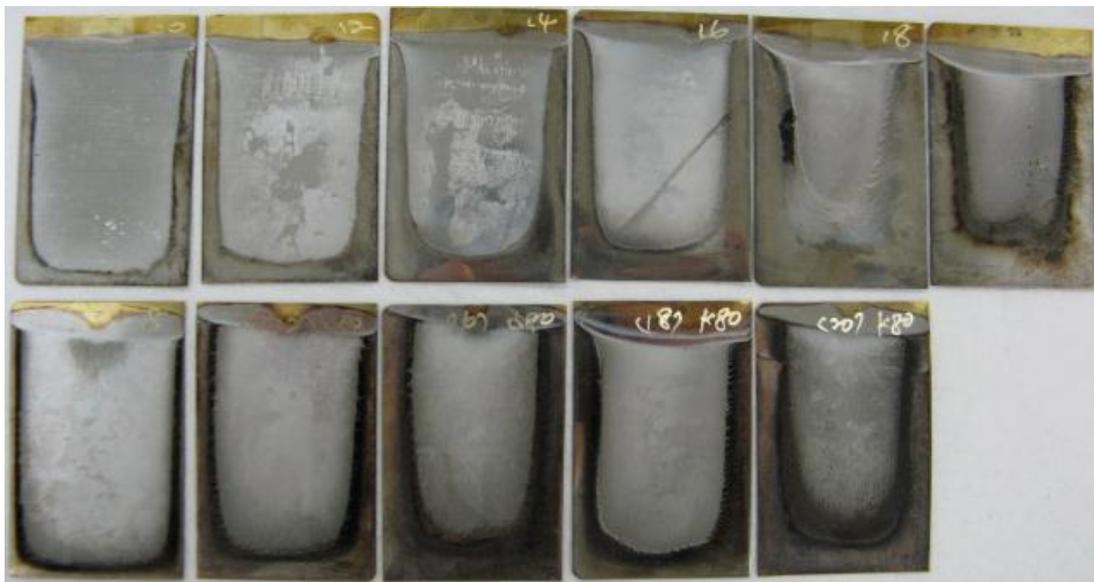


圖 30、不同電流密度下，SS304 表面沉積鎳鉻鍍層之試片外觀
鍍液添加檸檬酸後，在小電流密度下，鉻含量可大於 15%，外觀上光亮區範圍較大，周邊也沒有燒焦現象。

透過再次調整配位劑，來提高 Ni-Cr 鍍液中 Cr 析出電流密度(以黃銅片為基材測試)。隨著電流密度的增加，裂縫密度及縫寬也隨著降低，裂紋變得較不明顯，形貌上的缺陷轉為以析氫的 pin hole 為主；鍍層光澤區的範圍較大，黑化的情況也較為收斂，如圖 31所示。而鍍層中鉻含量隨電流密度上升而增加，相較於先前之實驗，鉻含量可超過 15wt%，當電流密度上升至 35ASD 以上，鍍層鉻含量超過 30wt%。在

36ASD 下得 Cr 約 36%左右，鍍層中 Cr 明顯提高，且沒有裂縫產生，如圖 32所示。。若是將相同鍍浴系統施作於 SS304，可以得到類似之結果，外觀同樣沒有出現裂紋，而鍍層中鉻含量同樣可超過 30wt%，而所需電流密度較低，約在 24ASD 即可達成，如圖 33所示。

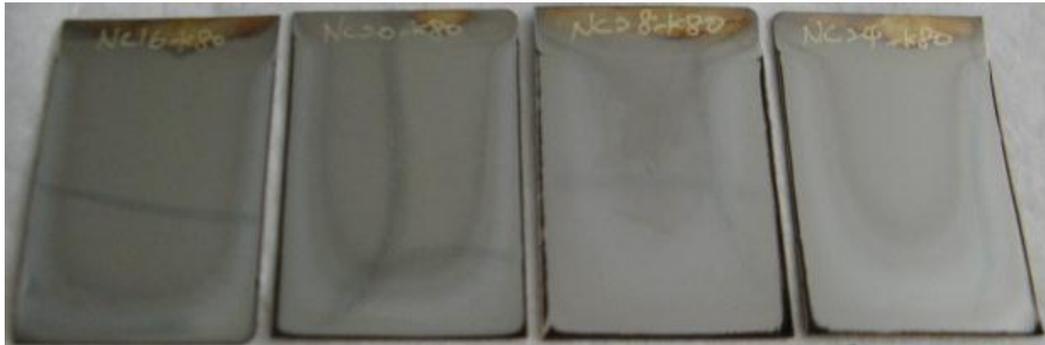


圖 31、不同電流密度下，黃銅試片表面沉積鎳鉻鍍層之試片外觀
調整添加檸檬酸後，在大電流密度下，鉻含量可大於 15%，外觀上光亮區範圍較大，周邊也沒有燒焦現象。

將 Cr 含量 40%之鎳鉻合金沉積於黃銅試片上，在模擬現地混酸($\text{Cl}^-:0.76\text{M}$ ， $\text{SO}_4^{2-}:0.29\text{M}$ ， $\text{NH}_4^+:0.42\text{M}$)常溫環境下進行塔弗試驗，如圖 34所示。初始之腐蝕電流密度約為 10^{-5}Acm^{-2} 等級。隨著浸泡時間增加，表面形成鈍化層，腐蝕電流越來越低，於 144hr 後其曲線已趨近一穩定狀態，且其腐蝕電流 (I_{corr})可達 10^{-7} 之等級，顯示其良好之穩定性與耐蝕性。因此對其進行高溫模擬試驗及現地測試。

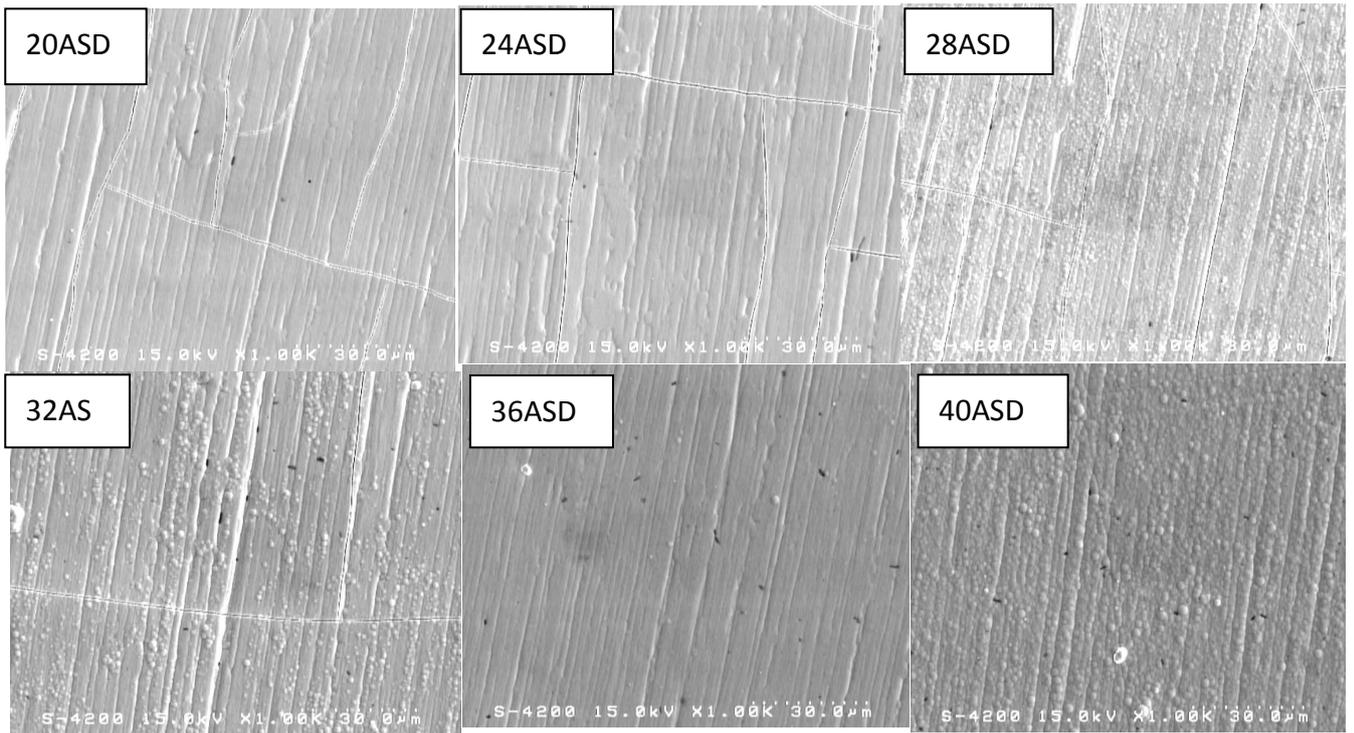
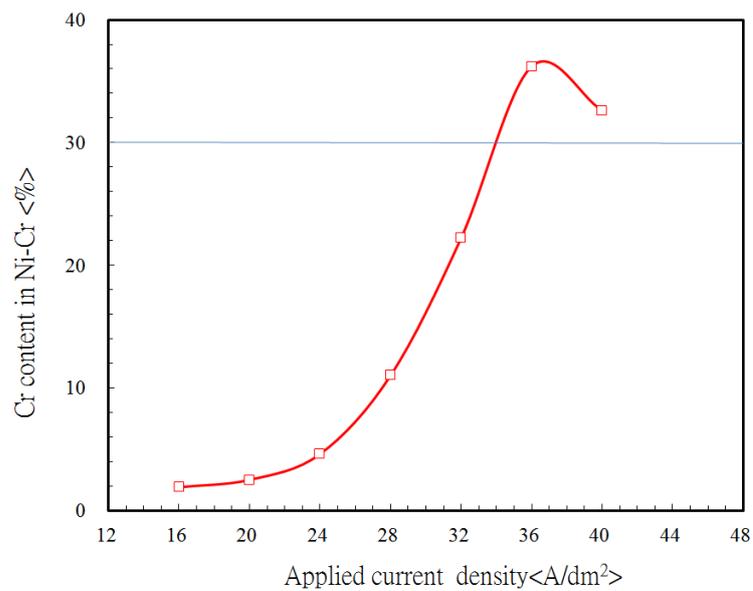


圖 32、不同電流密度下，黃銅試片表面沉積鎳鉻鍍層之試片 SEM 觀察

調整添加檸檬酸後，隨著電流密度的增加，裂縫密度及縫寬也隨著降低，裂紋變得較不明顯，形貌上的缺陷轉為以析氫的 pin hole 為主。



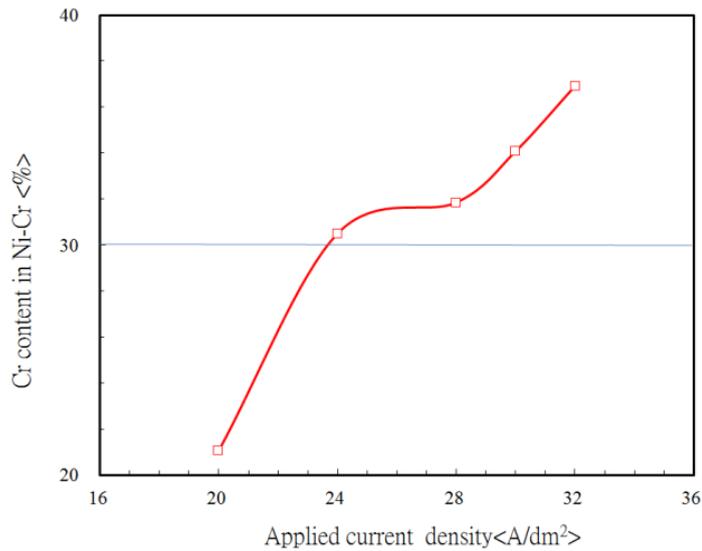


圖 33、鍍層中鉻含量隨電流密度上升而增加

上圖當電流密度上升至 35ASD 以上，黃銅片上鍍層鉻含量超過 30wt%；
下圖當基材為不鏽鋼 304 時，鍍層鉻含量超過 30wt%所需之電流密度更低。

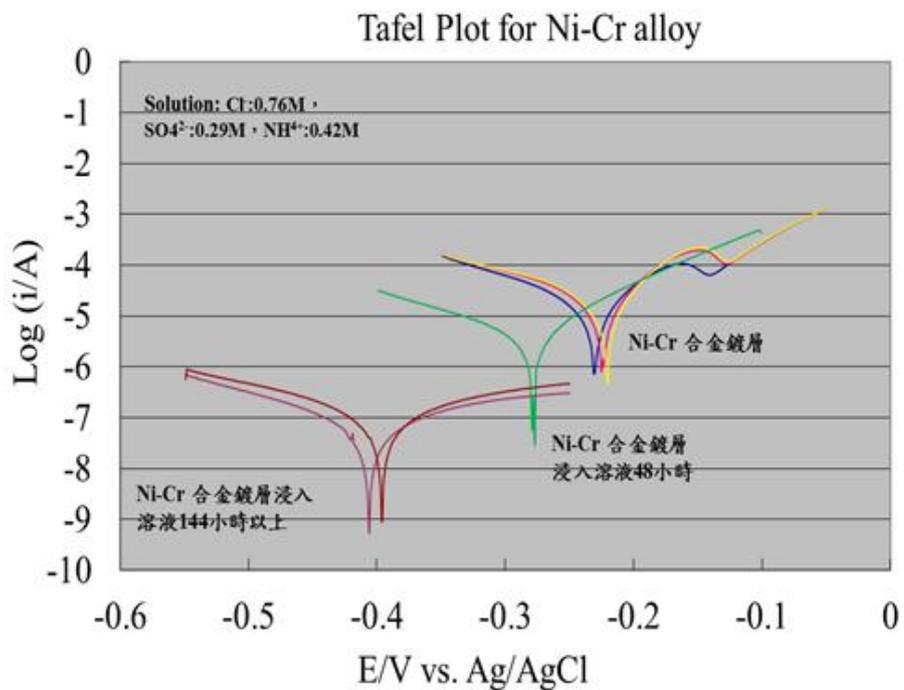


圖 34、鍍層中鉻含量隨電流密度上升而增加

上圖當電流密度上升至 35ASD 以上，黃銅片上鍍層鉻含量超過 30wt%；下圖當
基材為不鏽鋼 304 時，鍍層鉻含量超過 30wt%所需之電流密度更低。

在現地環境測試中，本研究將含有 30 wt%、32 wt% 鉻之鎳鉻合金層試片(底材不鏽鋼 304)及 Cr 40 wt% (黃銅試片)放到復興公園測試井中，在一星期的放置後，含有 Cr 32 及 30wt% 鎳鉻合金層之試片表面出現孔蝕，Cr 40 wt% 鎳鉻合金層之試片並無孔洞，但露出底材色澤。以 EDS 分析 Cr 40 wt% 鎳鉻合金層之試片，僅有底材之材料訊號，表面已無 Ni 或 Cr 之元素訊號。顯示鍍層已經完全消失。對此現象不排除因較大面積之試片，鍍層元素分布不均，導致試片上有部分區域鉻含量較低，抗腐蝕性較差，局部發生腐蝕後導致機械強度變差，鍍層整片自底材剝落。因此改善鍍層均勻度將是本工作必須積極改進之處。

(3) 陶瓷-合金鍍膜抗蝕技術

此外，鎳鉻合金存在高鉻含量及鍍層龜裂之問題，本研究嘗試以附加製作金屬氧化物複合塗層著手進行防蝕之改善，作為鎳鉻合金鍍膜耐磨擦沖蝕兼抗腐蝕的表保護層；金屬氧化物兼具抗氯鹽及硫酸環境，是理想的表面保護材料，使其深入填補並覆蓋鎳鉻合金鍍膜表面的缺陷，降低或防止因鍍膜不完美或有微裂紋可能引起的局部腐蝕破壞，如鎳鉻合金/金屬氧化物複合結構示意如圖 35所示。

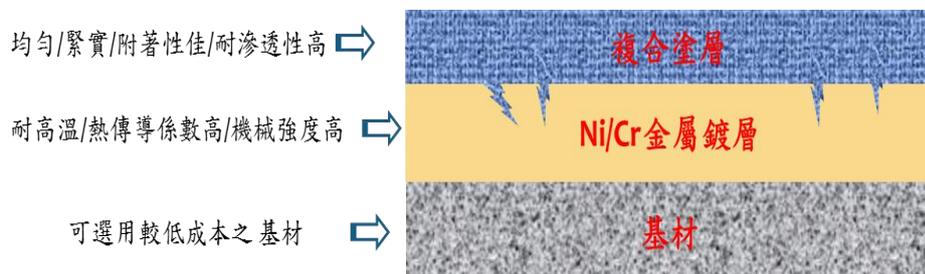
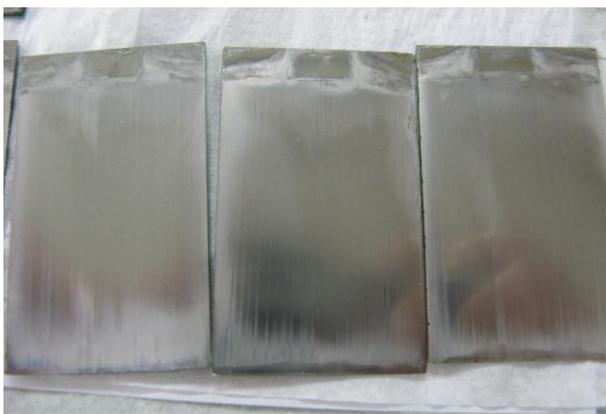


圖 35、鎳鉻合金/金屬氧化物複合結構示意圖

首先以 deposition by electrolytically induced hydrolysis 製作陶瓷鍍膜，有別於傳統 sol-gel 使用昂貴的 alkoxide，採用親水鹽類化合物在水系或酒精溶液中形成鍍液，電流牽引作用下促進水解產物的生成在陰極因 alkalization condensation 成膜，再經由高溫燒結分解氧化並固著。厚度可因電鍍時間累積或升高電流密度而增加，無需重覆進行多次浸鍍-烘乾的操作。室溫下經乾燥後在高溫爐下將水解產物脫水分解形成氧化物結晶薄膜達到抗蝕保護的效果。類似之概念曾出現於 2011 年由 Kitano et al.提出的研究成果。因此我們嘗試在一般 SS304 不鏽鋼上在常溫下鍍上一層鋁的氫氧化物 bohemite ($\text{AlO}(\text{OH})$)，再經由熱處理轉化為 γ -alumina，來達到類似的效果。電鍍成膜之 Al_2O_3 ，鍍層乾燥後不沾手並呈現出半透明的狀態，說明水解產物顆粒非常地微小，經由燒結後證實不開裂並具有與基材間良好的附著性，如圖 36 所示。試鍍中發現鍍鋁化合物上去的量與電流密度呈現反比，操作 window 僅在極低的電流密度範圍有效，加大電流密度條件會降低鋁含量，甚至出現部份空白區，如圖 37 所示。

as deposited (Al precursor)



calcined 600°C 1hr



圖 36、SS304 表面電鍍成膜之 Al_2O_3 ，鍍層乾燥後不沾手並呈現出半透明的狀態

說明水解產物顆粒非常地微小，經由燒結後證實不開裂並具有與基材間良好的附著性。

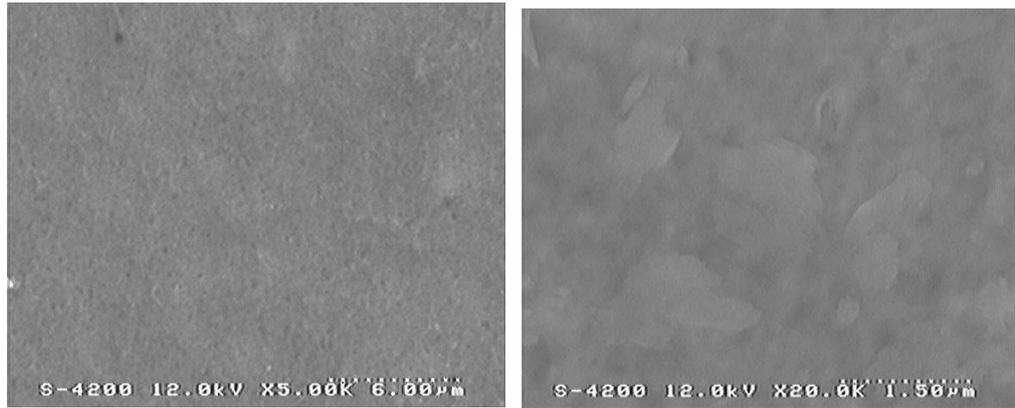


圖 37、SS304 表面電鍍成膜之 Al_2O_3 ，經 600C 熱處理形成 γ -alumina 鍍膜
SEM 觀察到部份區域厚度偏薄。需增加沈積時間及改善質傳效應，促使鍍膜均勻增厚

氧化鋁燒結後的 electrolytic deposited ceramic film 也可考慮作為 Cr 鍍膜的耐磨擦沖蝕兼抗腐蝕的表保護層，微觀無裂紋附著性好的條件可繼續作增厚及全面均勻性覆蓋的探討，作為抗 hydrothermal 腐蝕的備案；ceramic 兼具抗氯鹽及硫酸環境，是理想的表面保護材料，使其深入填補並覆蓋 Ni-Cr 鍍膜表面的缺陷，降低或防止因鍍膜不完美或有微裂紋可能引起的局部腐蝕破壞(如圖 38所示)。

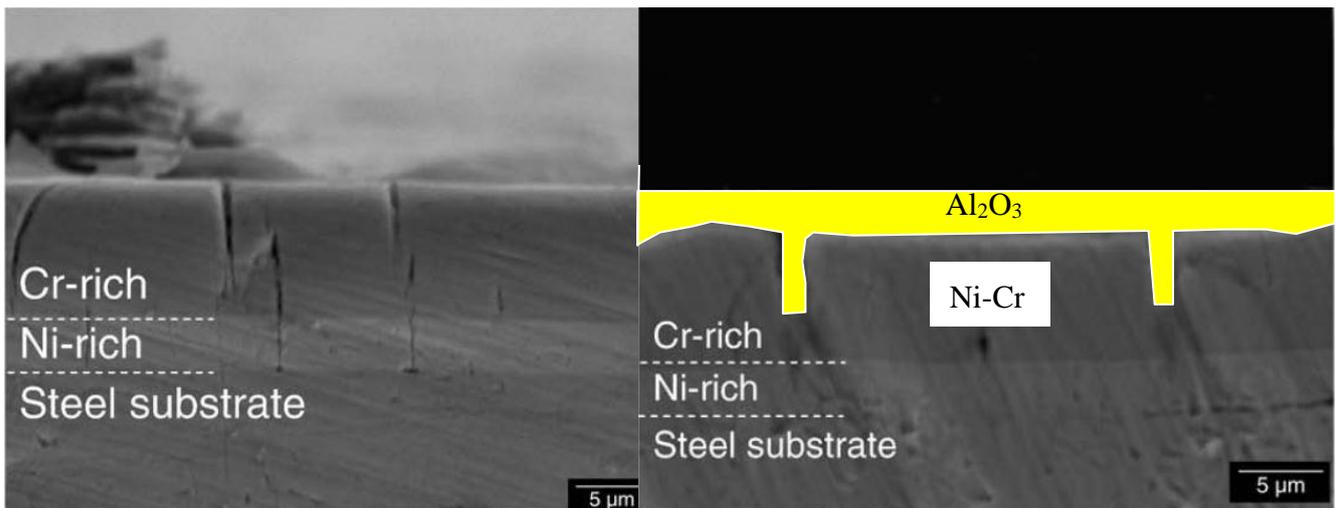


圖 38、氧化鋁燒結後的 electrolytic deposited ceramic film 也可考慮作為 Cr 鍍膜的耐磨擦沖蝕兼抗腐蝕的表保護層

本計畫同步進行金屬氧化物複合塗層之技術開發，本研究初步以有機矽烷類材料塗佈於 304 不鏽鋼基板上，有機矽烷試劑由於其獨特的表面特性，可與基材表面之 OH 官能基進行脫水縮合反應，如圖 39 所示；其單層自組裝已被廣泛用於在基礎研究和工程應用。本實驗於室溫下進行塗布之程序，並進行不同階段之熱處理，最終可於 500°C 以上熱處理後達到均勻之結構，其塗層厚度約達 300nm 以上，如圖 40 所示。

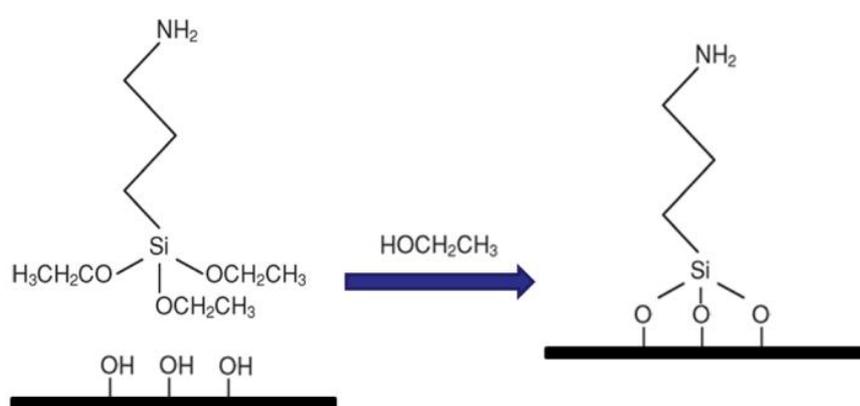


圖 39、有機矽烷試劑與 OH 官能基進行縮合反應示意圖

以有機矽烷類材料複合金屬氧化物顆粒後塗佈於 304 不鏽鋼基板上，並亦於 500°C 以上熱處理後，吾人發現添加陶瓷顆粒後可改善改善塗層表面之緻密性。然而，將此附有金屬氧化物複合塗層之基板置於模擬現地混酸 (Cl⁻:0.76M, SO₄²⁻:0.29M, NH₄⁺:0.42M) 常溫環境下進行塔弗 (Tafel) 試驗，發現進行 Tafel 測試時，matrix 矽烷材料發生溶解之現象，推測為可能為 matrix 矽烷材料與基板之脫水縮合之鍵結反應未完全接合完成，進而使金屬氧化物複合塗層於酸液中溶解出現之現象。因此，未來將嘗試改變有機矽烷材料 matrix 之選用與混合搭配的方式，以進一步改善此問題。目前已完成新一代改良鍍層，可通過實驗室 Tafel 測試，目前正於現

地進行實地測試，初步結果表面並未產生腐蝕剝落現象，將持續進行評估中。

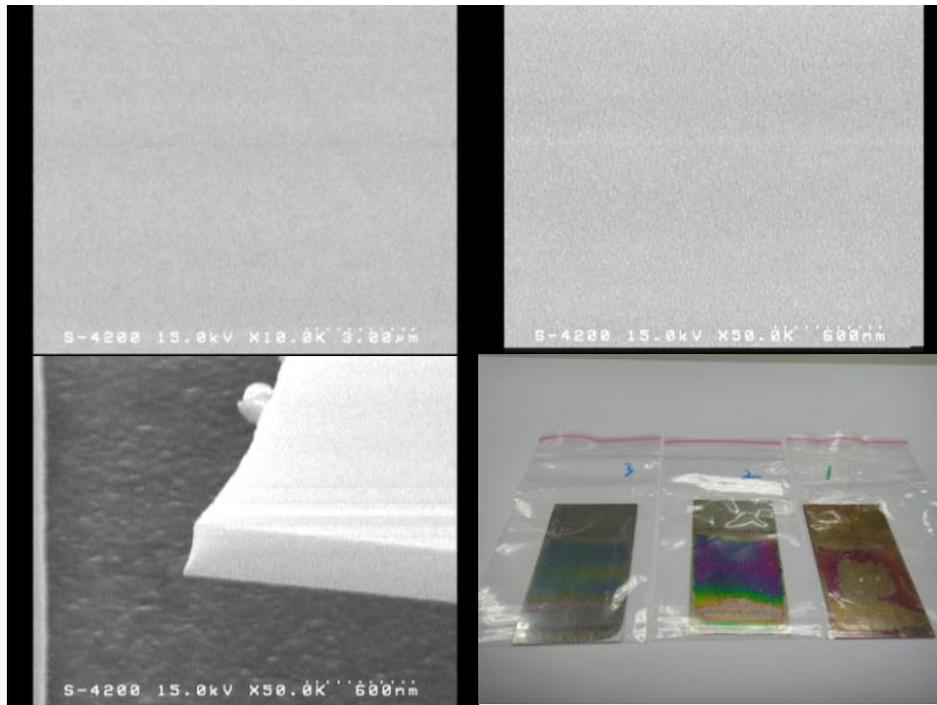


圖 40、矽烷類材料塗佈於 304 不鏽鋼基板上

1.1.2.2 儲集層監控管理技術

本項研究為突破傳統地熱資源探測時，解析度與探測深度無法兼得的限制，乃研發兼具軟硬體設施，結合自動地電阻監測系統之流體運動層析成像技術，以提高對含水裂隙探測之精度，掌握流體流動行為，並期能應用在地熱資源的開發與監測管理上。本研究以循序漸方式，預定以三年時程，從基礎理論的推導與驗證開始、隨之進行電腦程式模擬與開發，進而開發一套可同時量測自然電位與人工電位的高精度電探系統，以建置本土化自主的量測系統與層析成像技術，提升國內地熱資源開發與監測的能力。本年度計畫主要研究工作在於進行線源理論的推導、數值模擬與量測系統之規劃，研究內容與成果說明如下：

(1) 線源理論推導

所謂的線型源場概念，有兩種體現方式，最直接的是在很多現地環境中，有限長度的金屬套管本就不可以傳統地表電極般視為點電流源，而必須視為一長直導線電源予以模擬。另一種線源概念則較受人忽略，但卻很容易在深層地熱發電過程中，出現在補注的流體系統裡。當流體注入一孔隙介質(儲集層)的裂隙時，裂隙常是流體流動擴散的通道。儲集層中所有開放裂隙均可視為一點源或線源，根據位能理論和疊加原理，使用累加的點電流源或線電流源條件，推導總電位能，一旦在地表上採集相關電位資料，再藉由非線性最小平方方法的自動化疊代過程，引用類似馬奎達演算法來逆推實際測量到的自然電位資料，即可利用地表的電場觀測，推導地下流體移棲樣貌。

假設一三維等向電性地層的電導率(電阻率的倒數)分布為 σ (r)，則因一位於 r_s 、強度為 I 的點電流源所建立的電位場 $U(r)$ 滿足如下的泊松方程式：

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla U) = -I \delta(r - r_s) \quad (1)$$

其中 δ 為狄拉克函數。同時，電位場在地表滿足諾伊曼邊界條件

$$\frac{\partial U}{\partial n} = 0 \quad (2)$$

在數值模擬的其他邊界則滿足狄利克雷邊界條件

$$U = 0 \quad (3)$$

或柯西邊界條件

$$\frac{\partial U}{\partial n} + \lambda U = 0 \quad (4)$$

其中 $\lambda = r \cdot n / r^2$ ，且 n 為面元素上指向外的單位法向量。

如以一般工程鑽井的不鏽鋼套管作為一發射電流線源，可利用耗損介質中傳輸線源理論進行模擬，將充電的金屬套管視

為一線電流源，並假設其上的電流密度為定值。如此，在一均質地層中地表的電位將近似一長度無限長、直徑無限小的垂直導電體所建立的電位，並具下式所示的解析解

$$U_p = \frac{\rho I}{4\pi l} \ln \left[\frac{(l + \sqrt{l^2 + r_p^2})^2}{r_p^2} \right] \quad (5)$$

其中 ρ 為地層平均電阻率、 I 為發射電流、 l 為電極長度、 r_p 為電位測量點與金屬套管之水平距離。如將長直金屬套管電極離散化成一堆具極低電阻值的網格，並在地表出露點施以一電流源，則可進一步透過有限差分法，探討不同套管直徑下的電位分布情形。令套管長度 l 、直徑 d ，則對一電阻率為 ρ 的半無限空間地層，以套管中心點為原點，則地表 (x, y) 座標點的電位將為

$$u = \frac{\rho I}{4\pi e} \ln \frac{e + \sqrt{x^2 + y^2 + e^2}}{-e + \sqrt{x^2 + y^2 + e^2}} \quad (6)$$

其中 $e = \sqrt{l^2 + \frac{d^2}{4}}$ 。明顯地，當 l 遠大於 d 時，(6) 式將等價於 (5) 式。

建立了數學函數後，若要進行複雜地層模型的計算，勢必要建立數值模擬工具，而測試數值模擬工具，通常以簡單環境試驗之。本研究以一兩層之水平層狀地層模型，檢驗所採行之模擬工具。就兩層之水平層狀地層模型論，地面一點電流源所建立之地表 x 處的電位分布解析解為

$$u(x) = \int_0^\infty \frac{\rho_1 I}{2\pi} \left[1 + 2 \frac{k_{12} e^{-2\lambda h_1}}{1 - k_{12} e^{-2\lambda h_1}} \right] J_0(\lambda x) d\lambda \quad (7)$$

其中 $k_{12} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$ ， J_0 為零階貝賽爾函數。

(2) 數值模擬與驗證

以 ρ_1 為 50 歐姆米， ρ_2 為 500 歐姆米(圖 41)，表 11 列出本研究發展之模擬器的計算結果與理論解的比較。整體來說，除離源較近的區域(三米內)，數值解因計算資源有限致使網格切分不夠精細外，絕對誤差值普遍皆小於 0.3%。透過上述點源模擬確認了本研究所採用模擬器的計算成效後，後續將以之作為線源計算工具。

在線源數值模擬上，首先使用了均質地質模型及二維簡化層狀地層模型，除進一步測試本研究使用的數值工具外，更可直覺判釋其模擬結果是否符合物理直觀理解。以下針對均質地層模型以及水平層狀模型，分別闡述本研究的模擬結果。

表11、本研究發展的數值解工具與理論解之比較

| 距離 (m) | 理論解 (V) | 數值解 (V) | 絕對誤差 |
|--------|---------|---------|---------|
| 2 | 6.6631 | 6.64971 | 0.01339 |
| 3 | 5.3026 | 5.30128 | 0.00132 |
| 5 | 4.1448 | 4.14215 | 0.00262 |
| 10 | 3.0464 | 3.04395 | 0.00245 |
| 20 | 2.1500 | 2.14754 | 0.00246 |
| 50 | 1.2035 | 1.20102 | 0.00248 |

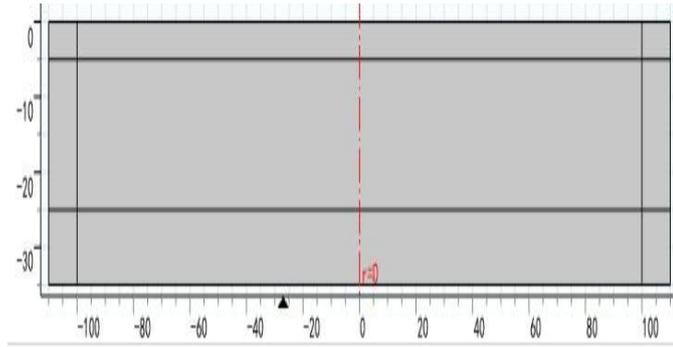


圖41、淺層 50 歐姆米與深層 500 歐姆米之兩層水平層狀地層模型值

A. 均質地層

假設一背景地層電阻率為 $100\Omega\text{m}$ ，其中鑽置了一長 44 公尺、厚 0.2 公尺的井孔，並設有長直金屬管。圖 42 為在不同位置的觀測點，所量測到的電阻值(即以電流為 1 單位時的電壓值)。不論是傳輸線解與線源差分解所得的結果，幾乎一致的，並且與解析解的相對誤差最大不超過 4%。這說明了我們可以精確掌握線源計算的正確度。

茲進一步地將金屬套管線源，誇張地通以 1000 安培電流，建立一人工電場進行模擬(圖 43)。注意此處以 1000 安培的誇張電流進行計算，目的僅在測試數值模擬的穩定性，真實施測條件絕無可能出現如此之大電流。圖 43(左圖)所示即為距離井中心 1 米遠處，所量測到之電流密度隨深度的變化，可以發現接近金屬套管下端的電流密度顯著上升，這是由於電流沿著高導電性套管，迅速地向下流動，並在套管末端以尖端放電形式所衍生的現象。我們可以進一步計算電流在地層間的大小及其流動方向，如圖三右圖所示。其中箭頭標明了電流密度的大小及方向，此圖中我們以同時顏色表示金屬套管所在周圍之地層間的電位大小，由此可以清楚得知電位分布及電流密度的流向。此

圖明白顯示，電流方向與電位梯度遵循著相同的方向，也具體顯示了套管末端強烈的尖點放電情況。

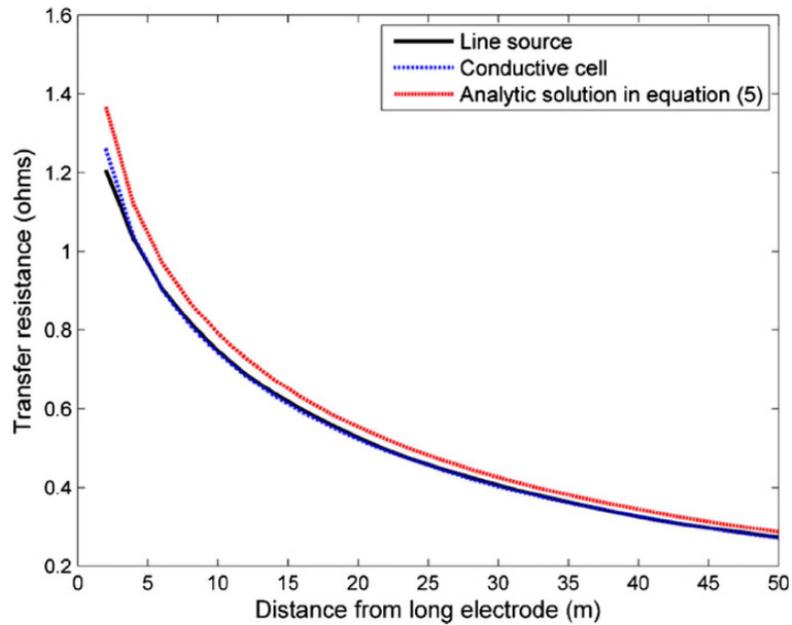


圖42、長直電流線源在電阻率為 $100\Omega\text{m}$ 介質中所模擬之量測電阻值

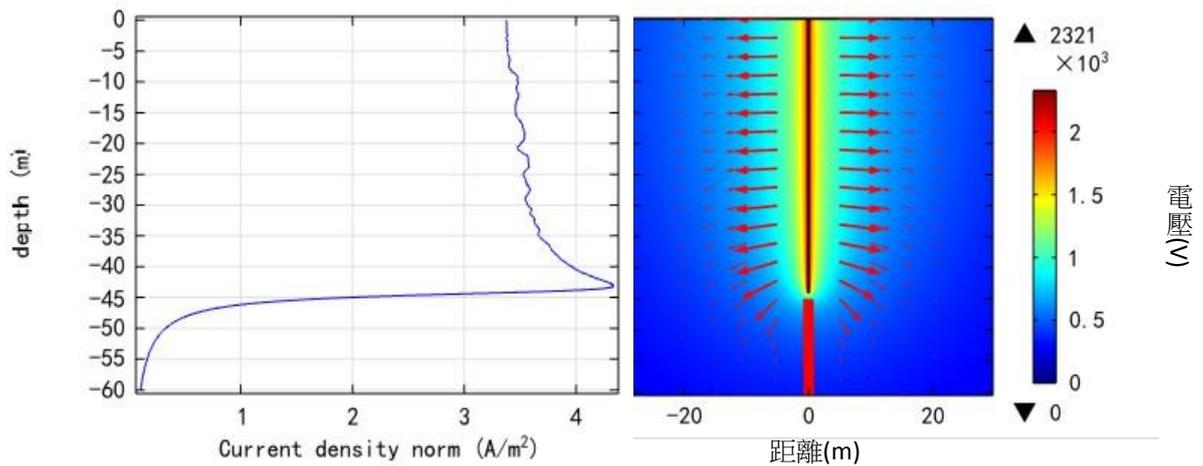


圖43、均質地層中金屬套管線源模擬之電流密度及電位分布圖

註：地層電阻率為 $100\Omega\text{m}$ ，右圖箭頭標明電流密度之大小及其方向，顏色色階則標示線源周圍地層之電位大小。注意到線源最深端點的電流密度相對地大。

B. 水平層狀地層

假設地層的電阻率由淺至深依序為 $30\Omega\text{m}$ 、 $10\Omega\text{m}$ 、 $30\Omega\text{m}$ ，前兩層地層厚度皆為 300 米厚，以模擬三層水平層狀地層間線源電場情況。地層中則鑽置一長 800 米、厚 2 米的井孔。同樣地，於井壁周圍套製一長直金屬管，並通以 1 安培的直流電，觀察電流在地層間的大小及其流動方向（圖 44）。

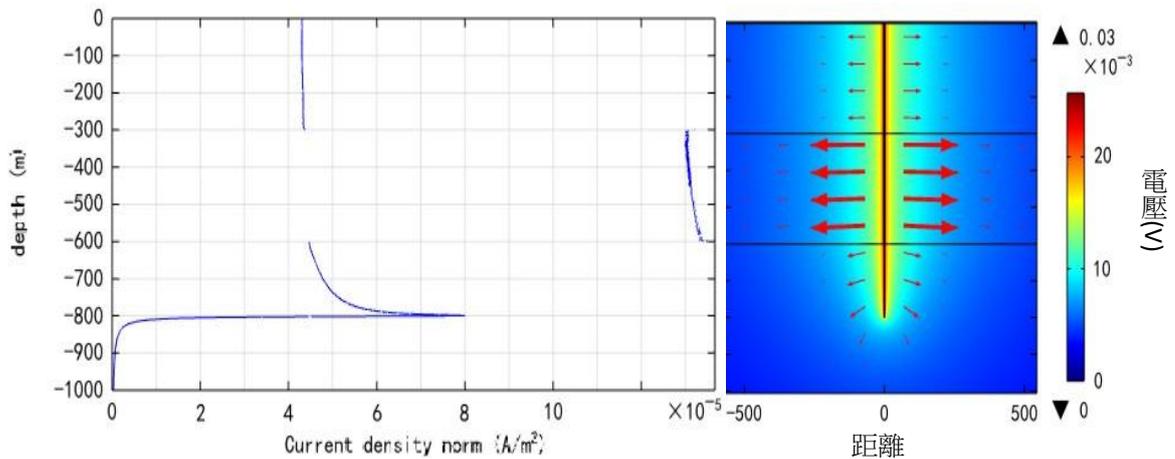


圖 44、水平地層中金屬套管線源模擬之電流密度及電位分布圖

註：三層水平地層由上至下的電阻率依序為 $30\Omega\text{m}$ 、 $10\Omega\text{m}$ 、 $30\Omega\text{m}$ 。右圖的箭頭則標明了電流密度的大小及其方向。另外，顏色色階標示金屬管線周圍的電位大小。注意到深度在300至600米間的第二層，由於導電性較佳，聚集了較多的電流，因而有較高的電流密度。

圖 44的左圖所示為距離井中心2.5米遠處，所量測之電流密度隨深度的變化，與均質地層之狀況相同地可以發現接近金屬套管下端的電流密度明顯地上升，但相較於前例，因為電流強度降為一般野外常見之施測條件一安培，因此電流密度整體下降許多。此案例有兩點特別值得說明。其

一、由於地層模型之第二層的電阻率較低，因此會出現大的電流密度，更精確地說，由於電導率（電阻率之倒數）為上下地層之三倍，所以該層間的電流密度亦為上下兩層的三倍；其二、長直金屬套管線源建立的電流密度，可以沿著高導電性的金屬線源，以極緩慢甚至不衰減的狀況，直向深部地層穿透，這似乎在暗示線源所具有的強大測深能力。

而電流在地層間的大小及其流動方向之計算，如圖 44 的右圖所示，其中箭頭標明了電流密度的大小及其方向，又圖中色階同樣地表示了金屬套管所在周圍之地層間的電位大小。據此，我們可以清楚地得知電位分布及電流密度的流向，其中，電流方向與電位梯度遵循著相同的方向。特別地注意到在金屬套管線源穿透過的第一、二層水平地層間，指示電流密度流向的箭頭，幾乎皆平行於地層，水平地自金屬套管線源向四周地層射出。這對線源條件下的主動式電位探勘，構成了一個重要的暗示。也就是在這些深度範圍內，係屬於平面場源之擴散方式，因此在各深度的衰減，基本上將只是以線源軸心距離為變數之函數，不依深度而異，此相較於點源之衰減，將相對地緩慢。

由於在實際的野外工作中，通常電位極主要配置於地表，用以量測地表各處的電位分布，我們乃計算了前述均質與層狀地層的地表電位。如圖 45 所示，左、右兩圖分別為均質地層與水平層狀地層條件下，地表各點的電位分布情形，其中橫軸為測量點至井孔中心間之距離。注意到線源在地表上所建立的電位場強度，隨離源中心之距離的增大，衰減的速率比點源（參照表 11）情況下緩慢許多。此點與圖 44 之觀察實為相互呼應。

上述均質及層狀地層模型在地層間的電流密度及電位分布，頗符合研究的物理直觀，顯示本數值模擬器可以展現符合預期之計算能力，因而確認了線源數值模擬的可靠度。緊接著本研究繼續關注當地層中出現低電阻異常體（如地熱流體、金屬導體等物質）時，其對地下電場的影響。

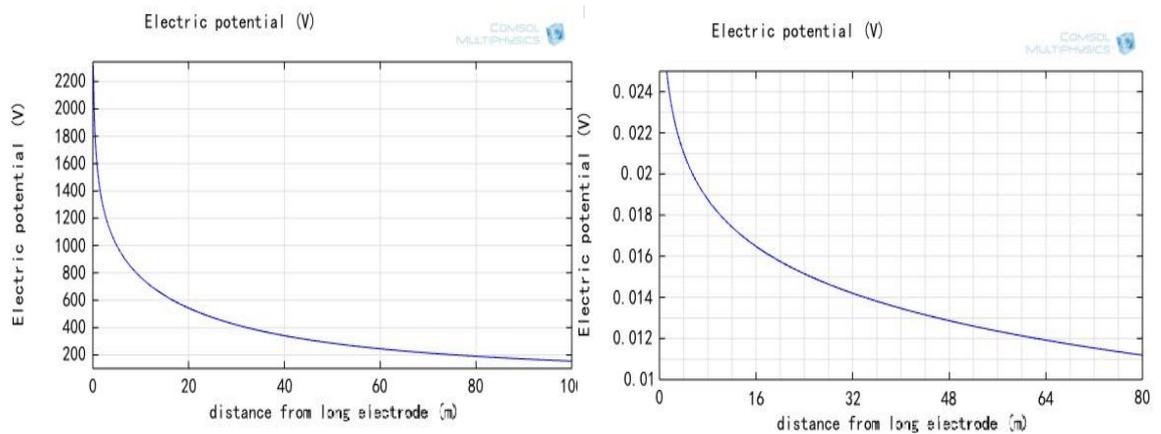


圖45、均質（左）及水平層狀（右）地層模擬之地表電位分布圖

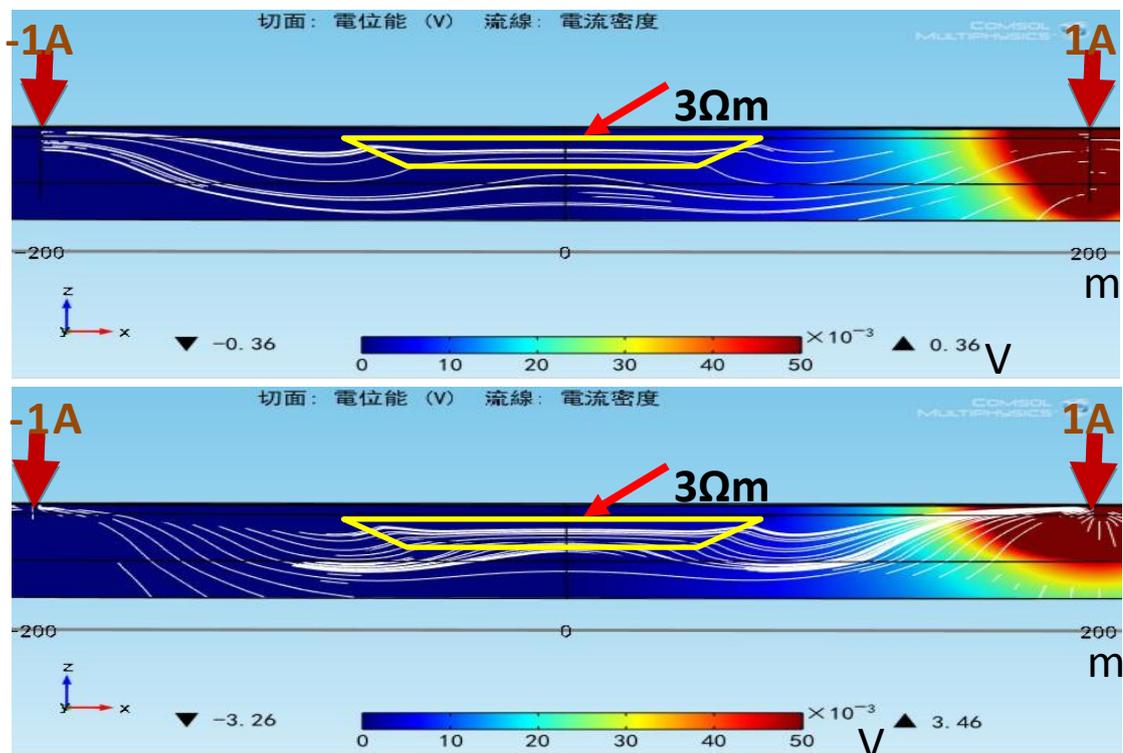
注意左圖電流為1000安培，右圖為1安培

C. 低電阻異常體

本研究建立了一個背景為三層之水平地層模型，其電阻率由淺至深分別為 10 歐姆米、30 歐姆米及 10 歐姆米，地層界面則位於深度 5 米、30 米處。其中高電阻的第二層間，隱含了一電阻率為 3 歐姆米上寬下窄的梯形盆地狀結構，盆地上邊長為 160 米、下邊長則為 100 米（參見圖 46）。

對此假想隱含低電阻區之地層，施加 1 安培的人工電流源於橫向座標 200 米處，並於 -200 米處匯聚回電流源場。

利用人工電流場源屬線源及點源兩種條件下，觀察了此兩場源配置對地層電位及地表電位偶極量測之結果（參見圖46、圖47）。圖46的上圖是以人工線源所建立之電場，下圖則是以人工點源建立之電場。觀察兩者所建立之電位及電流密度，在地層剖面中，受黃框區域之低電阻異常區影響的電流密度，皆比外圍高電阻區塊相對地高，亦即黃框區域內的白色電流線相對地密集。又電位分布上，可約略看出沿剖面上較為深處的電位，在線源條件下比點源條件來得高，亦即上圖線源情形之色階較為偏向暖色系。後續



我們會另行從靈敏度的角度，進一步細探此一現象。

圖46、地層中異常低電阻體對地下電場之影響

圖中顏色標示電位強度分布，色階強調了0至50毫伏間的電位分布範圍。上、下圖分別為人工線源、人工點源條件下，施加一安培之電流灌注於地層間。

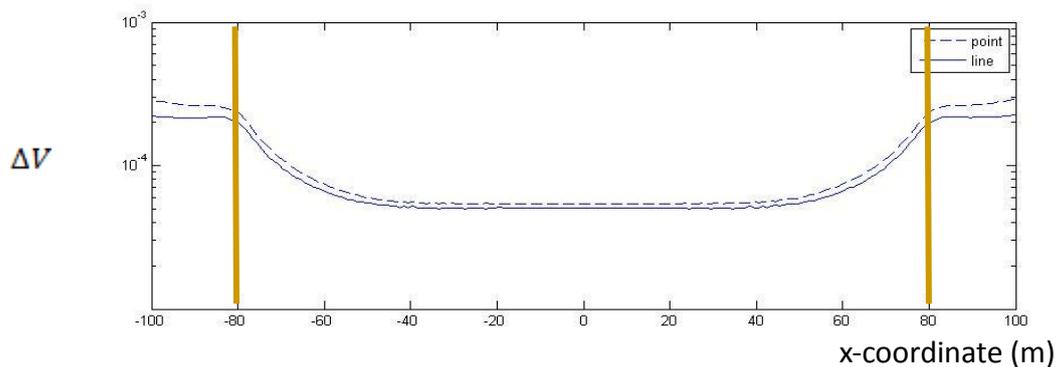


圖47、低電阻異常體於地表所測得之電位差分布圖

低電阻異常體（參照圖六）在人工線源與點源條件下，於地表各處以一對電位偶極探針，所測得之電位差分布。兩垂直線標示異常體所在之範圍。虛線與實線分別代表點源與線源的觀測結果。

同樣地，基於地表電位觀測的實際野外工作境況，圖 47 是在人工點源與線源條件下，以一組電位偶極進行量測地表上各處所得之電位差（ ΔV ）的分布情形。由於電流固定，故所測得之電位差，可近似地反映地層電阻率（一般稱此為視電阻率）。明顯地，不論場源是線源或點源，施測結果都可反映低電阻異常區的存在，但是細觀人工線源條件下，在異常體邊界處的視電阻率，相對地不受場源的擴散幾何因子之影響。理論上，幾何因子是一個電位測量位置與場源間距離的函數，在傳統點源施測條件下，很容易因場源與接收電位間之距離改變，而扭曲了視電阻率。圖 47 因此清楚地指出了人工電流源為線源的條件下，對於地層異常體的定位工作將顯得相對容易。此圖中兩垂直線標記低電阻異常區兩側的邊界，可以發現異常體邊界處，也正是視電阻率出現會巨大轉折的位置。

觀察完地表上的電位差後，我們可以進一步地檢視在深度方向的電位量測情況。現在已有越來越多的井下地電阻施測工作，將地電阻影像法的電極設置於井孔內進行探測

的方法，稱作井內地電阻影像法（Borehole Electrical Resistivity Tomography），如此配置的最初目的是為了瞭解井和井之間的電阻率影像（Cross-Borehole Imaging），而為了與地表的探測技術區隔，且強調成像的目的在於井和井之間，所以井內的地電阻影像法常見以跨孔式地電阻影像法（Cross-Hole / Borehole Electrical Resistivity Tomography, CHERT）名之。

如圖 48所示為人工點源與線源條件下，在離場源水平距離 5.3 公尺處，以一口 40 米深的電位觀測井，所量測到之電位隨深度的變化情形。明顯地，線源條件下的電位梯度變化，即電位差變化，相較於點源條件下來得劇烈，暗示信號強度相對較強。圖中兩水平黃線一方面標記了低電阻異常區所在深度，一方面也是電位梯度出現轉折的深度，尤以 20 米深處的轉折特別顯著，此深度同時也對應低電阻異常體下部邊界處。

彙整前述模擬結果，比較了人工線源與人工點源條件下各種電位計算圖表後，可以總結出長直金屬套管線源有機會作為主動式電探調查技術之場源，且其好處可小結如下：

- a. 探測深度較深。
- b. 相對不受幾何因子的影響，在異常體的定位上相對容易。
- c. 電位梯度變化較劇烈，暗示信號強度相對較強。

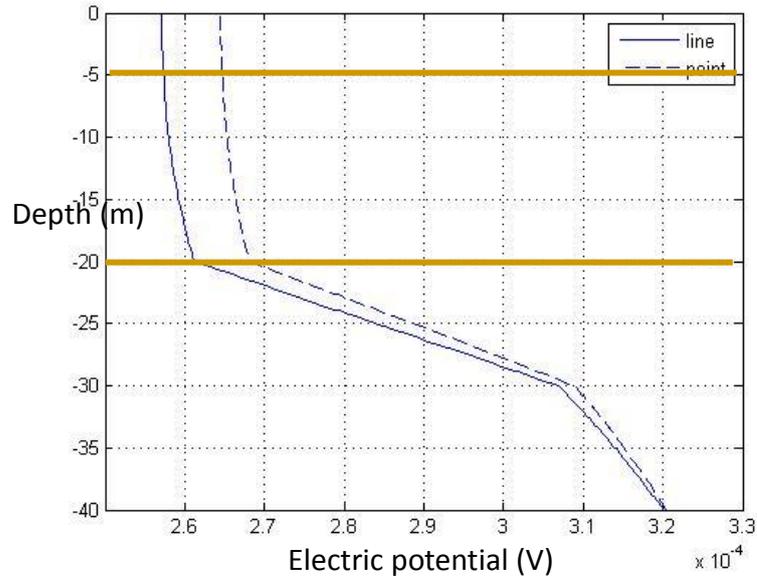


圖48、低電阻異常體於豎井所測得之電位差分布圖

低電阻異常體（參照圖六）在人工線源與點源條件下，於鄰近5.3米處豎井所測得之電位差分布圖。兩水平線標示異常體所在之深度範圍。虛線與實線分別代表點源與線源的觀測結果。

(3) 反演解算程式開發

A. 靈敏度分析

以上研究皆基於正演模擬結果闡論之，實則野外觀測資料通常係利用反演算法求出地層電性結構及其變異。在進一步處理反演計算前，通常需要事先推求靈敏度矩陣(圖 49)。

本研究採用靈敏度之定義為 $\frac{\partial V}{\partial \rho}$ ，即是將空間中各地點的電阻率，做一微小改變，並計算所量測到的電位在此微小改變下之變化幅值。靈敏度矩陣有很多應用，譬如可以應用於比較人工線源及人工點源條件下，對地層內異常導體的辨別能力或是測深能力。

在靈敏度計算上，我們假設一背景均質地層，其電阻率為 10 歐姆米，並於橫向座標 -20 米處，對此均質地層施加 1 安培的人工電流點源（圖 49下方兩圖中的黑點），同時於

20 米處匯聚回電流點場源。至於人工線源（圖 49 上方兩圖中的黑線）條件，則是在此兩處，各設置一深達 20 米的金屬套管，作為線源傳導媒介。我們同時計算了電位量測偶極（圖 49 各子圖中的白點），位於地表座標位置為 $(0, 0)$ 與 $(5, 0)$ 處，及位於井內座標位置為 $(5, -15)$ 與 $(5, -10)$ 處之觀測情境。所有計算條件如上述決定後，靈敏度計算便開始針對地層模型各電阻率網格點，進行電阻率參數的微擾，微擾強度設為 1 歐姆米，並求其電位反應之變異量。

圖 49 所示，即為電阻率模型各處網格，靈敏度微擾計算後的電位反應強弱。一般來說，場源及電位測量偶極探針所在的位置處，都會有較大的靈敏度，所以深紅色區塊普遍集中在圖 49 的黑線、黑點等電流場源處及白點等電位偶極探針處。基於圖 49 靈敏度之計算，圖 50 進一步比較了地表電位測量偶極與井下電位測量偶極配置，在點源與線源條件下，對地層中異常體之偵測能力強弱。圖 50 左方的靈敏度差異圖為地表電位測量偶極配置，右方則為井下電位測量偶極配置方式。其中紅、藍區塊分別顯示剖面上線源、點源相對靈敏之區域，紅色表線源較為靈敏者，藍色則表點

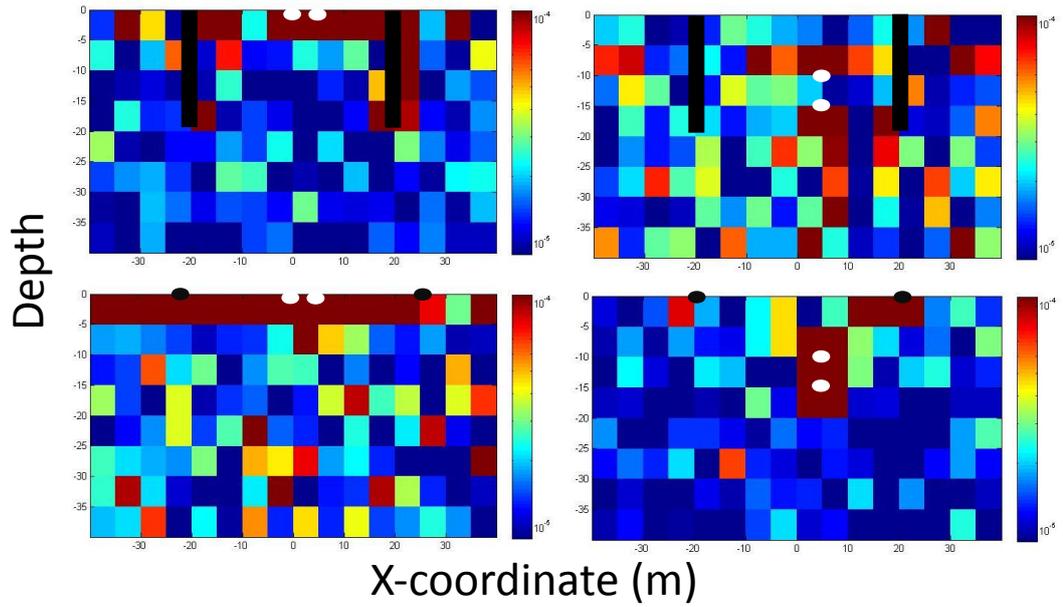


圖49、線源（上圖）與點源（下圖）條件下之靈敏度分布圖

左、右圖分別為電位偶極（圖中白點）位於地表及位於井中之觀測情境。色階代表靈敏度之相對強弱，暖色系表相對強之靈敏度，冷色系則為相對弱之靈敏度。

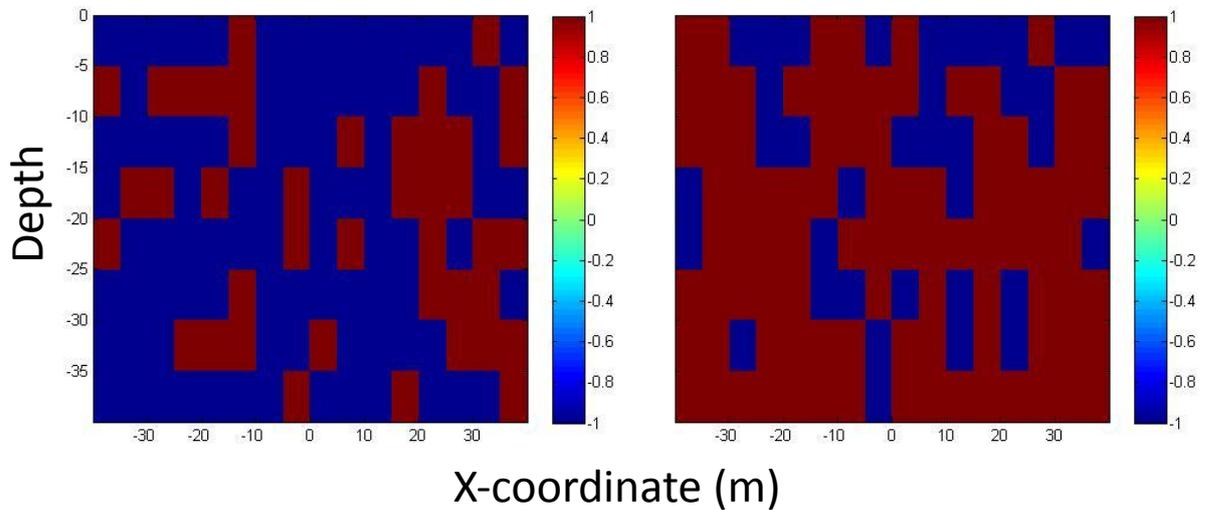


圖50、線源與點源條件之靈敏度差異圖

左圖為地表觀測電位偶極對之比較結果，右圖則為井下觀測電位偶極對之比較結果。紅色區塊代表線源施測較為靈敏，藍色區塊則以點源施測相對靈敏。

源較為靈敏者。此圖清楚地表明了，當電位極安置於井下時，線源的施測條件對地層電阻率的變異，可提供較強的辨識能力（參見圖 50 右圖），但當電位極裝置於地表時，點源與線源兩種施測條件對地層變異的辨別能力則是不相上下。

值得一提的是，圖 50 僅考量了一組電位測量偶極配對情況，但實際的施測程序，基本上是多達百組以上的量測偶極配對之結合。同時，一種結合井下與地表電位測量偶極配置的互補作法，也常見於電探施測的電位量測陣列，因而足可提供完整的觀測覆蓋程度與全面的地層解析能力。

而由人工線源及人工點源的靈敏度測試（圖 50），我們初步判釋在此兩類的場源條件下，測深與解析能力皆略以長直導線線源為優秀。這個結果作為了本研究後續將以線源、甚至結合點源作為室內實驗與野外現場施測條件之基礎。

B. 反演解算技術

透過前述數值模擬與靈敏度矩陣等計算，我們將繼續發展一套反演解算技術。反演解算是從觀測數據，透過模型正演算及優化迭代過程，推算物體本身所具有之物理特性的數值演算程序，此處我們所關注的物理特性即為地下地層所具有的電學量，亦即電阻率構造。為了測試我們所發展的反演解算程序，本研究將先從簡單的二維點源模型出發，最終目標則是開發出完整的三維地電阻線源條件之反演程序。

作為電阻率構造之反演解算程序發展中的指標測試，我們首先建立了一電阻率為 $10 \Omega\text{m}$ 的均質地層模型，並在橫向

座標 (-20, 0) 與 (20, 0) 處設置了電流偶極，並沿地表其餘每間格 10 米處設置一電位量測電極，據此模型及電位電極、電流電極配置執行正演算，產生一批電位數據，並將之稱為正演電位。在製造出正演電位數據後，反演程序上，我們刻意給定一電阻率為 $1 \Omega\text{m}$ 的均質地層模型，作為反演解算之初始模型，並執行有線元素優化解算程序，優化目標是盡可能地透過迭代改變模型各網格的電阻率參數，以求取一反演電位分布最近似於正演電位分布之電阻率模型。

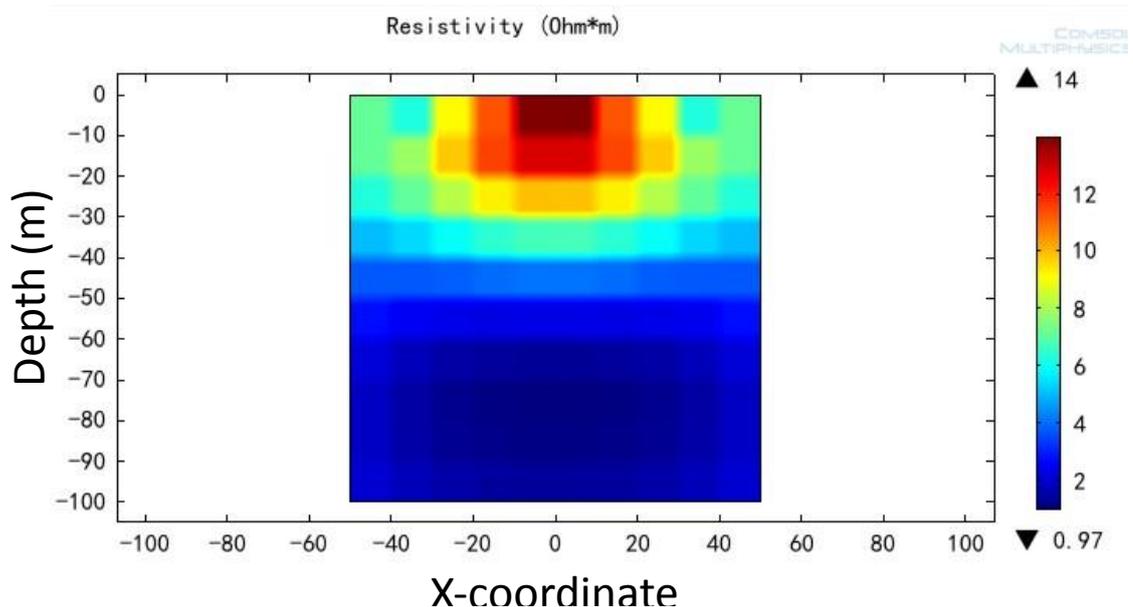


圖51、單組地表電流點源之反演解算結果

反演解算使用了表三的十組假想之量測電位。反演解算之初始模型為電阻率 $1 \Omega\text{m}$ 的均質地層模型，理論模型之電阻率值則為 $10 \Omega\text{m}$ 。注意到解算的測深能力約為測線長度的四分之一。圖 51 即為本研究之反演程序解算結果。在如前述的少量單組電流偶極對數據前提下，該圖顯示本研究使用之程序，可以合理地解算出深度約 25 米內之地層電阻率值，且解算所得之電阻率確實遠離了初始假設值，並逐步逼近理論模型之 $10 \Omega\text{m}$ 電阻率值。值得注意的是，以一長約一百米的地電阻測線，

一般測深能力約為測線四分之一，亦即 25 米左右，因此本反演解算程序在此點上可謂符合預期。表 12 所列則為前述計算流程所得之正演電位與反演電位，兩者極為相近，均方根誤差只有 1 毫伏，驗證此反演解算程序運作良好。

表 12、單組地表點電流源之反演數據

| x (m) | z (m) | 正演電位 (V) | 反演電位 (V) |
|-------|-------|----------|----------|
| -45 | 0 | 0.196145 | 0.194373 |
| -35 | 0 | 0.673755 | 0.674142 |
| -25 | 0 | 2.922175 | 2.921767 |
| -15 | 0 | 2.880158 | 2.880471 |
| -5 | 0 | 0.482111 | 0.480699 |
| 5 | 0 | -0.48211 | -0.48071 |
| 15 | 0 | -2.88016 | -2.88046 |
| 25 | 0 | -2.92218 | -2.92178 |
| 35 | 0 | -0.67377 | -0.67412 |
| -45 | 0 | 0.196145 | 0.194373 |

前兩列為電位量測偶極之座標。正演電位所列表為一電阻率為 $10 \Omega\text{m}$ 的均質地層模型，在電流偶極位於座標 $(-20, 0)$ 與 $(20, 0)$ 處之模擬觀測值。反演電位則是本研究之反演解算程序計算所得。兩組電位之均方根誤差為 1 毫伏。

本研究再進一步測試多組地表點電流源施測數據之反演解算效果，以作為本軟體進一步發展解算程序之重要指標。在考量解算之 CPU 資源耗費時間下，並為顧及測線各部分之解析能力，在此先就電流點源置於測線左方(表 13)、中間(表 14)、右方(表 15)所測獲之假想正演電位數據進行反演，以達到有利地降低 CPU 運算時間之成效。

圖 52 針對三組地表點電流源數據，具體地展現了本研究發展之反演解算程序，混合解算地層電阻率構造的能力。反演的初始模型一樣地假設為 1 歐姆米的均質地層模型，而

理論電阻值則為 10 歐姆米。相較於圖 51，本組混合數據仍如預期地達到約 25 米深解算深度，但是在左、中、右三組點電流源的施測條件下，剖面各處的電阻率解析能力大大地獲得了改善，注意到測線 25 米深度內，整體的電阻率值都逼近了 10 歐姆米。這再次印證我們建立的反演解算程序良好之解算成效。

表13、三組地表點電流源之左方電流源計算數據

| x (m) | z (m) | 正演電位 (V) | 反演電位 (V) |
|-------|-------|-----------|----------|
| -45 | 0 | -- | -- |
| -35 | 0 | 1.22958 | 1.238679 |
| -25 | 0 | -8.53E-06 | -0.01402 |
| -20 | 0 | -0.48211 | -0.5009 |
| -15 | 0 | -1.22959 | -1.28744 |
| -5 | 0 | -- | -- |
| 5 | 0 | -1.32842 | -1.28966 |
| 15 | 0 | -0.35858 | -0.41317 |
| 20 | 0 | -0.19615 | -0.26176 |
| 25 | 0 | -0.10922 | -0.15941 |
| 35 | 0 | -0.03505 | -0.05744 |
| 45 | 0 | -0.01159 | -0.02208 |

前兩列為各電極座標。正演模型同為一電阻率 $10 \Omega\text{m}$ 的均質地層模型，反演電位則是本研究之反演解算程序計算所得。

表14、三組地表點電流源之中間電流源計算數據

| x (m) | z (m) | 正演電位 (V) | 反演電位 (V) |
|-------|-------|----------|----------|
| -45 | 0 | 0.196145 | 0.20128 |
| -35 | 0 | 0.673755 | 0.666942 |
| -25 | 0 | 2.922175 | 2.912041 |
| -20 | 0 | -- | -- |
| -15 | 0 | 2.880158 | 2.887186 |
| -5 | 0 | 0.482111 | 0.440421 |
| 5 | 0 | -0.48211 | -0.46756 |

| | | | |
|----|---|----------|----------|
| 15 | 0 | -2.88016 | -2.86502 |
| 20 | 0 | -- | -- |
| 25 | 0 | -2.92218 | -2.91623 |
| 35 | 0 | -0.67377 | -0.62788 |
| 45 | 0 | -0.19615 | -0.18992 |

前兩列為各電極座標。正演模型同為一電阻率 $10 \Omega\text{m}$ 的均質地層模型，反演電位則是本研究之反演解算程序計算所得。

表15、三組地表點電流源之右方電流源計算數據

| x (m) | z (m) | 正演電位 (V) | 反演電位 (V) |
|-------|-------|-----------|----------|
| -45 | 0 | 0.011586 | -0.00118 |
| -35 | 0 | 0.035052 | 0.020101 |
| -25 | 0 | 0.10922 | 0.113116 |
| -20 | 0 | 0.196144 | 0.199719 |
| -15 | 0 | 0.358573 | 0.32898 |
| -5 | 0 | 1.328417 | 1.266401 |
| 5 | 0 | -- | -- |
| 15 | 0 | 1.229586 | 1.228196 |
| 20 | 0 | 0.482109 | 0.477363 |
| 25 | 0 | -5.64E-07 | -0.01417 |
| 35 | 0 | -1.22959 | -1.22341 |
| 45 | 0 | -- | -- |

前兩列為各電極座標。正演模型同為一電阻率 $10 \Omega\text{m}$ 的均質地層模型，反演電位則是本研究之反演解算程序計算所得。

表 13、表 14、表 15 列示了配置在不同位置的地表點電流源條件下，測線各處所量測到電位資料，及其反演解算所得的電位數據。其中，正、反演電位欄位以斜線刪去的方格，其對應的座標為地表點電流源所在之位置，其餘電極位置則皆為電位量測極，可因而量測或解算出電位數值。正演電位是經由一電阻率為 $10 \Omega\text{m}$ 的均質地層模擬算出；反

演電位則是以一初始模型為 1 歐姆米均質地層，經由反演解算程序優化求得。

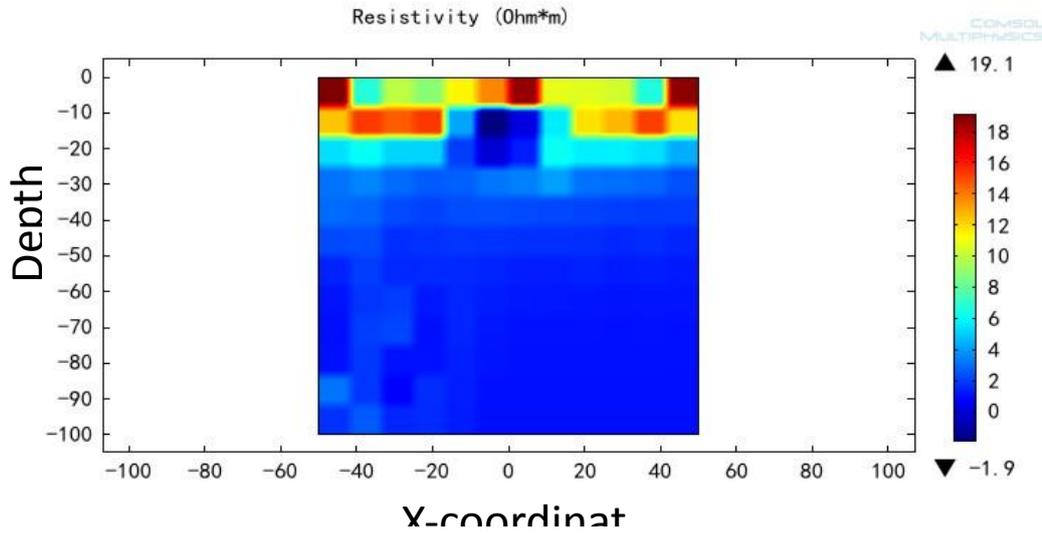


圖 52、三組地表點電流源之反演解算結果

反演解算使用了的三十組假想之量測電位。反演解算之初始模型為電阻率 $1 \Omega\text{m}$ 的均質地層模型，理論模型之電阻率值則為 $10 \Omega\text{m}$ 。注意到使用三組地表點電流源可大大地增加測線各處的電阻率模型解析能力。

比對表 13 至表 15 所示之正、反演電位，可以看出兩者擬合良好，說明反演解算的地層電阻率模型，經由三組對應位置的地表點電流源通電後，在各電位極所預測的電位數值頗為接近假想之量測值，顯示反演解算程序收斂良好。三組數據結合反演後，整體電位的均方根誤差則為 29 毫伏。特別注意的是，由於我們僅設定了相對小範圍的地電阻模型，因此當點電流源位於模型中央時，反演的電阻值似乎較為準確。推測部份原因，可能因為離模型邊界相對較遠，致使邊界效應影響相對地小。另外，反演程序的收斂停止條件，也可能影響最終解算之電阻值。後續仍值得針對本研究之反演解算程序持續精進、改良。

我們可以進一步比對地表點電流源位置及初始模型設定，對反演解算程序之影響。圖 53 左圖為點電流源配置於 (5, 0) 與 (45, 0) 兩處，其餘地表每十米處設置一電位量測電極，並使初始均質模型之電阻率值為 1 歐姆米；右圖則配置點電流源於 (-5, 0) 與 (-45, 0) 兩處，並設初始均質模型之電阻率為 100 歐姆米，其餘地表同樣每十米處設置電位量測電極。兩模型之理論電阻率值皆為 10 歐姆米。

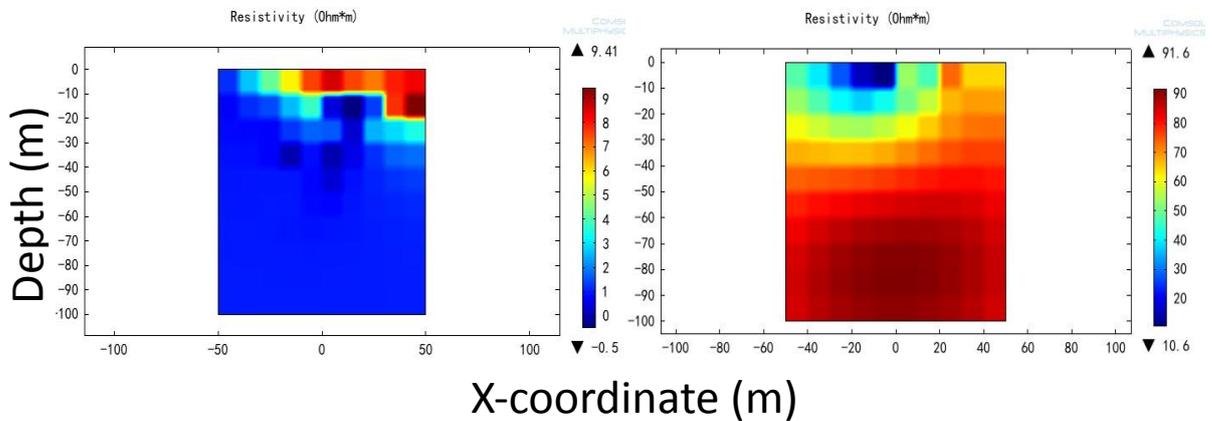


圖 53、點電流源位置與初始模型設定對反演解算結果之影響

左圖點電流源配置測線右方，右圖點電流源則配置於左方。反演結果符合靈敏度分析之特性，表現在點電流源位置處有較佳之模型解算能力。至於初始模型電阻值之設定，則對解算結果影響相對地小。

圖 53 除同時確認了反演解算程式的合理與良好運作情況外，也說明了野外現場在佈設電流源場時，以點電流源施測可能引起的困擾處。後續我們將結合線電流源與點電流源的模擬數據，進行地層電阻率模型之併合反演解算，根據前述靈敏度分析結果，預期併合反演解算將能大幅提升地層模型各處，特別是深部之解析能力。

(4) 砂箱實驗設計

完成數值模擬與量測後，本研究將先在室內進行砂箱實驗，進一步瞭解線源建立之電場對於目標物的解析能力。砂箱線源的建立可用一條長金屬導線垂直放進材料介質，模擬野外井壁的形狀，使用訊號產生器將電流或電壓送進金屬導線，建立線源電場，在砂箱模型較為深部的地方置入低電阻率的物質，模擬利用線源電場關測地熱的案例。

(5) 自動雙工監測系統設計

本研究案三年期的工作目標中，除前述理論與數值模擬工作外，尚有另一重點，即在開發一套可適用於地熱流體監測工作的儀器軟、硬體系統。地電阻探查 (geo-electrical survey) 是地球物理探勘 (geophysical prospecting) 技術中調查地下電阻率 (electrical resistivity) 或相關電性構造的一支，其中包含前述主動源 (active source) 的地電阻影像剖面 (electrical resistivity tomography, 簡稱 ERT) 法，也有所謂被動源 (passive source) 的自然電位 (self-potential, 簡稱 SP) 法。此謂主動源與被動源，是指探查過程中是否以人工方式提供訊號源之意。因此被動源之 SP 法接收的是自然界地面以下地球本體就存在的電壓差，而主動源之 ERT 法則是在地表向地面下通入電流，另行製造出一人工電場，並據此收集地表各處因該人工電場而反應出之人造場電壓差資料。如前模擬盡皆屬於主動源之 ERT 法。

目前既有的電探儀器，在收集主動源之 ERT 數據與被動源之 SP 數據皆獨立行之，不能做到同時採集兩類探查技術之數據。再者，現有之儀器所提供之電壓差資料，也都

為短時間僅數小時內之單次施測結果，尚未提供長時間達數天之連續監測數據。本研究案為因應地熱流體監測需求，因此提出將 SP 與 ERT 兩者結合在一起量測的儀器系統概念，並將建立從所採集之混合訊號中，分別拆離出 SP 與 ERT 信號的方法。

具體監測作業流程（圖 54）包含了：(1)測線位置規劃與非極化電極埋設（包括銲接隔離線及電極防水包覆）工作；(2) SP 及 ERT 觀測設備參數設定，包括電極放電排列順序、電極放電時間序列排程、資料壓縮及回傳程序；(3)待收集了數十赫茲高頻率之 SP 及 ERT 混合資料後，並進行資料格式轉換程序，以便分離 SP 與 ERT 混合信號；(4)後續並將分離後之資料分別進行反演算處理，ERT 資料經逆推後可完成地電阻影像剖面，SP 資料則可繪製成各電極每小時變化以及鄰近電極每小時變化之剖面。

透過不同時間之 ERT 影像剖面結果分析比較，可以得到地下電阻率隨時間或雨量、溫度、流體含量等因素影響所造成的變化，自然電位則可分析地下電場源隨時間之改變。結合兩項地下電性構造探查技術在同一時間所採集的數據，可具體提高野外現場所調查資料的數量，以至於後續地下電性構造之解算，可以有效率且同時地擁有兩種數據之約束，提高電性模型的可信度。同時本雙工系統之設計，提供了一種併合 ERT、SP 的連續密集監測概念，透過本雙工系統分離出訊號中人工電場部分的資訊，視測線施測時間而定，可固定時段頻繁地採集 ERT 資料，藉之解算地表下的電阻率構造變化，密集地監視地表下目標物物理狀態（如含水量、汙染物濃度等）的連續改變；而在 SP 連續監測上，藉由資料擷取模組具備數十赫茲的採樣頻率，

並透過網路即時傳輸功能，可讓使用者隨時隨地監看受測場址的天然電場變化。

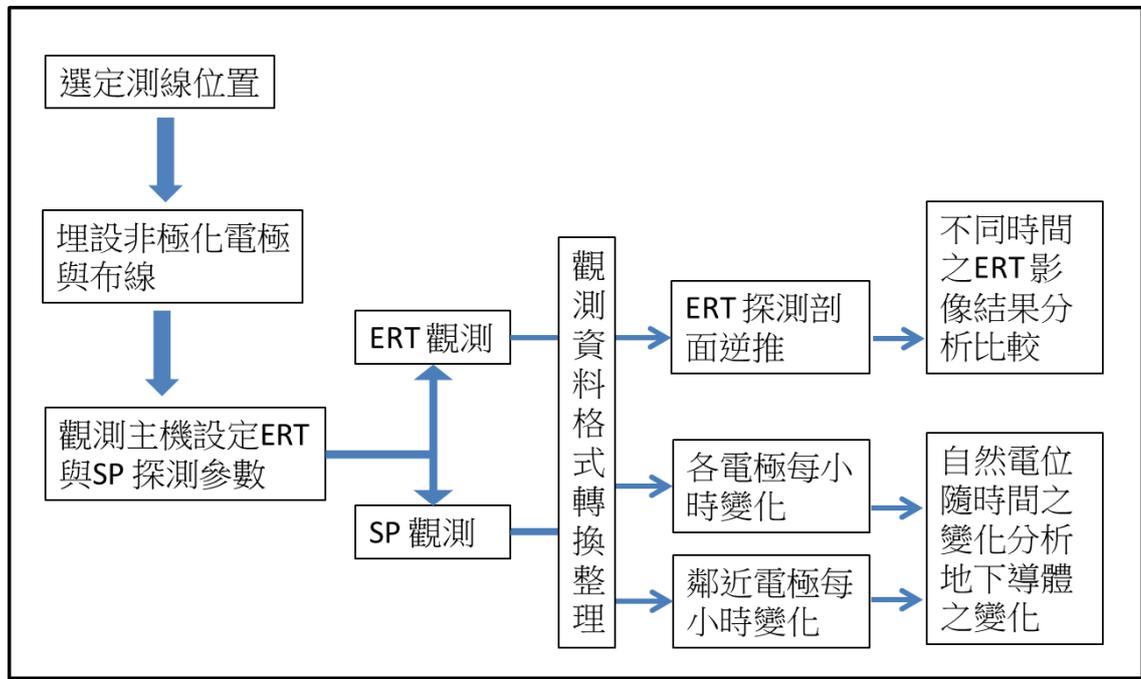


圖54、多波道直流電阻與自然電位法全自動監測系統工作流程

(6) 研究成果

本研究本年度已完成線源理論之推導、數值模擬與量測系統設計等工作，將可建立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後續擬開發的雙工多波道地電量測系統，預期可以有效地觀測、解析地熱流體生產時所產生的流動電位與其移棲樣貌，以建置本土化自主的量測系統與技術，提升國內地熱資源開發與監測的能力。本年度計畫主要在於進行線源理論的推導、數值模擬與量測系統之規劃，研究成果說明如下：

A. 線源理論推導

假設三維等向電性地層，以一般工程鑽井的金屬套管作為一發射電流線源，利用耗損介質中傳輸線源理論進行模擬推導，將充電的金屬套管視為一線電流源，並假設其上的電流密度為定值，完成電位場分布解析之推導。當金屬套管之長度遠大於直徑時，在均質地層中地表的電位將近似一長度無限長、直徑無限小的垂直導電體所建立的電位。除了建立了線源理論數學函數外，並建立數值模擬工具，以進行後續地層模型的模擬與計算。

B. 數值模擬成果

在線源數值模擬上，本計畫針對均質地層模型以及水平層狀模型進行測試，並探討地層中出現低電阻異常體（如地熱流體、金屬導體等物質）時，其對地下電場的影響。

(A) 均質地層模型模擬方面，同時比較了線源部分的解析解、傳輸線理論與線源有限差分法的計算結果，顯示傳輸線解與線源差分計算所解得的結果幾乎一致，並且與解析解的相對誤差最大不超過 4%。驗證了本研究可以精確掌握線源計算的正確度。

(B) 由水平地層模型模擬結果顯示，長直金屬套管線源建立的電流密度，可以沿著高導電性的金屬線源，以極緩慢甚至不衰減的狀況，直向深部地層穿透，顯示線源所具有的强大測深能力。金屬套管線源之電流密度流向幾乎皆平行於地層，水平地自金屬套管線源向四周地層射出，顯示套管深度範圍內，係屬於平面場源之擴散方式，因此在各深度的衰減，基本上將只是以

線源軸心距離為變數之函數，不依深度而異，此相較於點源之衰減，將相對地緩慢。

- (C) 透過均質及層狀地層模型在地層間的電流密度及電位分布模擬結果，顯示本研究數值模擬可以展現符合預期之計算能力，並確認了線源數值模擬的可靠度。
- (D) 就地層中出現低電阻異常體之模擬方面，比較人工電流線源及點源兩種條件下之結果顯示，長直金屬套管線源有機會作為主動式電探調查技術之場源，且具有探測深度較深，相對不受幾何因子的影響，在異常體的定位上相對容易之優點。且其電位梯度變化較劇烈，顯示信號強度相對較強。

C. 反演解算成果

(A) 靈敏度分析

野外觀測資料通常係利用反演算法求出地層電性結構及其變異。在進一步處理反演計算前，通常需要事先推求靈敏度矩陣。依據靈敏度分析結果顯示，當電位極安置於井下時，線源的施測條件對地層電阻率的變異，可提供較強的辨識能力。但當電位極裝置於地表時，點源與線源兩種施測條件對地層變異的辨別能力則是不相上下。整體而言，測深與解析能力皆以長直導線線源較為優秀。

(B) 反演解算程式

本研究反演解算程式開發係從簡單的二維點源模型出

發，逐漸測試發展，最終目標則是開發出完整的三維地電阻線源條件之反演程序。本年度完成以單組電流偶極與多組點電流源之二維反演解算，從單組電流偶極反演解算結果顯示，可以解算出合理深度之地層電阻率值，且解算所得之電阻率遠離了初始假設值，並逐步逼近理論模型之電阻率值。正演電位與反演電位，兩者極為相近，均方根誤差只有 1 毫伏，驗證反演解算程序運作良好。

依據多組地表點電流源之反演解算結果顯示，各正、反演電位均具有良好擬合，顯示反演解算程序收斂良好，再次印證本研究建立的反演解算程序具有良好之解算成效。且剖面各處的電阻率解析能力獲得了大幅改善，展現了本研究發展之反演解算程序，具有混合解算地層電阻率構造的能力。

後續本研究將結合線電流源與點電流源的模擬數據，進行地層電阻率模型之併合反演解算，根據前述靈敏度分析結果，預期併合反演解算將能大幅提升地層模型各處，特別是深部之解析能力。

D. 自動量測系統設計

本研究為因應地熱流體監測需求，提出將 SP 與 ERT 兩者結合在一起量測的儀器系統概念。本量測系統之設計，提供了一種併合 ERT、SP 的連續密集監測概念，透過雙工系統分離出訊號中人工電場部分的資訊，視測線施測時間而定，可固定時段頻繁地採集 ERT 資料，藉之解算地表下的電阻率構造變化，密集地監視地表下目標物物理狀態（如

含水量、汙染物濃度等)的連續改變。而在 SP 連續監測上，藉由資料擷取模組具備數十赫茲的採樣頻率，並透過網路即時傳輸功能，可讓使用者隨時隨地監看受測場址的天然電場變化。

E. 結論

本研究完成之線源理論推導與所建立之人工線源電場數值模型，透過數值模擬確認了線源理論與模擬結果的可靠度。從點電源與人工線源對地層中異常導體(如地下流體)之模擬解析與靈敏度分析結果，顯示不論是人工線源或點源之電場變化，均可反映低電阻異常區的存在。但是人工線源具有探測深度較深、信號強度較強、較顯著的電位梯度變化、較高的靈敏度以及相對不受場源的擴散幾何因子之影響等優點，顯示其對異常體的定位相對較為容易。進一步透過數值模擬與靈敏度矩陣等計算，發展點源與線源之電阻構造反演算技術，完成多組地表點電源探測之反演解算程式之建立。依據正、反演電位比較，顯示兩者擬合良好，反演解算程式具有良好的收斂性與可信度。後續將結合線電流源與點電流源的模擬數據，進行地層電阻率模型之併合反演解算，預期併合反演解算將能大幅提升對地層模型各處之解析，特別是深部地層之解析能力。

透過本年度已完成線源理論之推導、數值模擬與量測系統設計等工作，將可建立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後續擬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，建置本土化自主的量測系統與技術，達到建立地熱流體傳輸 4D 成像技術的解析能力。將可提供地熱探勘生產鑽井位置、

深度之建議以及地熱田營運時對地熱資源的監測管理。

1.2 資源調查與評估

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、且地熱流體之酸性高，開發困難。本計畫上年度已建立大屯火山區初步概念模式，並以四磺子坪-焮子坪區間為目標區，本年度將針對目標區域進行場址級地質構造分析、地表大地電磁探測、土壤氣體分析及微地震監測等項目進行，配合地熱探勘井鑽鑿獲得地下溫度與熱儲集層特性，期更充分掌握地下地熱資源狀況。

1.2.1 地熱場址潛能評估

1.2.1.1 鑽井孔位敘述

(1) 地熱場址評選說明

FY103 年度與美國勞倫斯研究室合作，利用地質、地球物理、地球化學、鑽探及岩心薄片等資訊(工研院，2014)，建立大屯山初步地熱概念模式(圖 55)。針對地熱概念模式之各項要素說明如后：

- A. 熱源:大屯火山以大油坑為噴發中心，向東北之金山及西南新北投地區火山成分漸減。
- B. 水文:以七股-冷水坑一帶分為南坡與北坡兩個獨立水文系統，二地區之水體來源不同。
- C. 蓋層:低電阻帶以七星山-馬槽-大油坑區域為中心，往東北-西南方向帶狀延展且變深，指示地熱潛能區之分布。
- D. 溫度:由氣體地體溫度計算，推測大屯山地區的地下氣體平

衡溫度約在 200-300°C 範圍。

- E. 儲集層:火成岩下方之五指山為潛在的地熱儲集層，由 G501(圖 56)岩心具備碳酸鈣推測，儲集層之地熱流體為中性滷水。

由上述資料初步判定，在四礮子坪地區具備高溫、不酸之中性地熱儲集層可能性。為驗證大屯火山區地熱開發之潛能，本年度以四礮子坪-煥子坪附近、國家公園外圍為目標區域，考量土地取得可行性、坡度及交通等因素，選取探勘井位。

四礮子坪地區之地熱條件初估，由過去地溫梯度井資料(圖 57)估算，要鑽至 200°C 之地熱儲集層，鑽井深度約需 1,000 公尺。由地球物理資料推估，低電阻帶的厚度約 700 公尺(圖 57)。除透過專家決策輔助系統的資料整合圖 57，104 年 6 月 9 日地熱計畫邀請國內專家學者召開「四礮子坪地熱井鑽鑿工作諮詢會議」共同討論後(圖 58)，選定新北市金山區頂中股硫礮子坪小段 148 號為探勘井鑽鑿地點，座標為 (311248, 2787256)(TWD97)。

(2) 工作諮詢會議綜合討論(綜整發言紀要)

- A. 本計畫已蒐集許多前人研究資料並重新整理分析，建立大屯山地熱初步概念模式，實屬不易。惟是否具備開發潛能，仍須藉由實際鑽井與產能試驗來加以驗證。在經費不充裕的情況下，如何用最經濟的方法獲得最多的資訊，為本計畫需再努力的目標。
- B. 從地球物理資料密度仍不足，建議增加 MT 測站，三維探測資料密度要達 100m 才足以繪製場址級地下剖面。未來可依鑽井資料進行修正，提供完整地下地質構造剖面。

- C. 建議可由過去鑽井岩心紀錄控制 DD' 剖面地下岩層之分布。此外，早期顏滄波教授發表的大屯山地下地層分布圖，及近期日本學者 Tsuneomi Kagiya 鍵山恒臣 (Kyoto Univ.) 發表在大屯山研究之論文亦可參考。
- D. 針對選址中之 site 2，鑽井會進入低電阻帶中，若下方為五指山層石英岩，無法提供長石類礦物中和火山的強酸，鑽獲中性地熱流體的機率較小，建議將鑽遇酸性地熱流體可能遭遇的問題納入考量。此外，生產井使用 NaOH 中和酸液亦可考慮。
- E. 未來 BOT 作業必須在公有地上，從目前提供之潛能區分布圖來看 site 2 附近似乎公有地較多，請團隊再補充地表資源探勘資訊，更精確掌握潛能區分布，以利後續地熱潛能區劃設及 BOT 招商作業。
- F. 資源為地熱電廠開發的最重要因素，其次才是投入開發的金額。在經費有限的情況下，建議工研院在鑽井規格制訂上，可考慮 slim hole、鑽井深度較淺及低電阻帶採取岩心等靈活搭配方式進行，以加快鑽井速度及數量，增加對地下資源的掌握。
- G. 以鄰近地熱先進國家開發電廠成功案例來看，並非單 1 探勘井即可驗證潛能，並成功開發電廠。大屯火山地區為我國地熱潛能最豐富之區域，本計畫鑽井工程規劃之經費並不多，建議能源局可再增加鑽井預算，以獲得更完整潛能評估資料，提供新北市進行 BOT 招商作業。

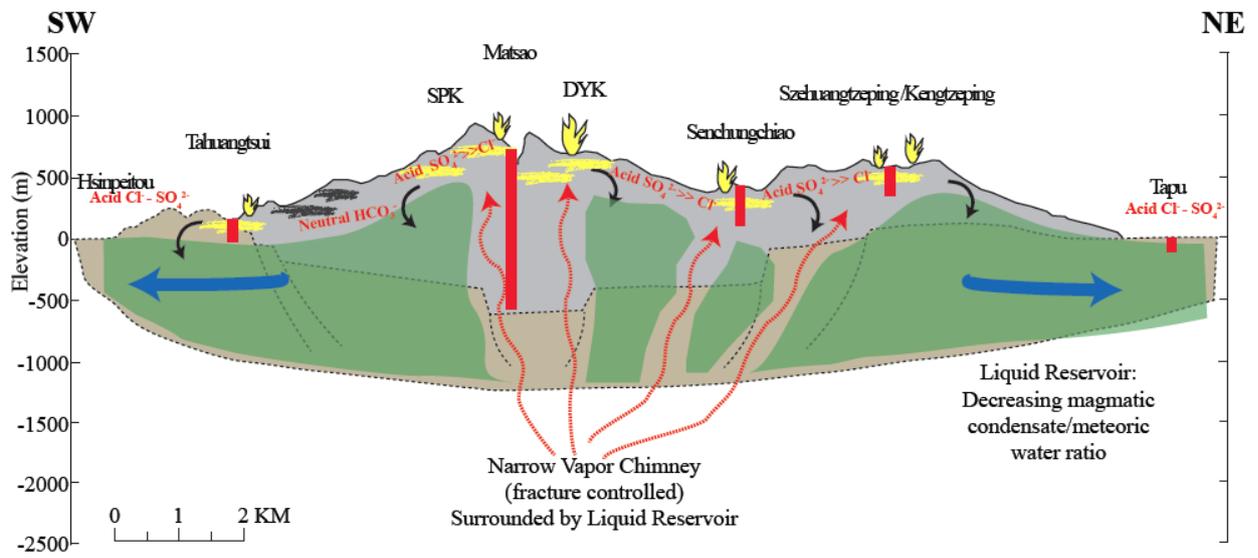


圖 55、大屯山地熱概念模式

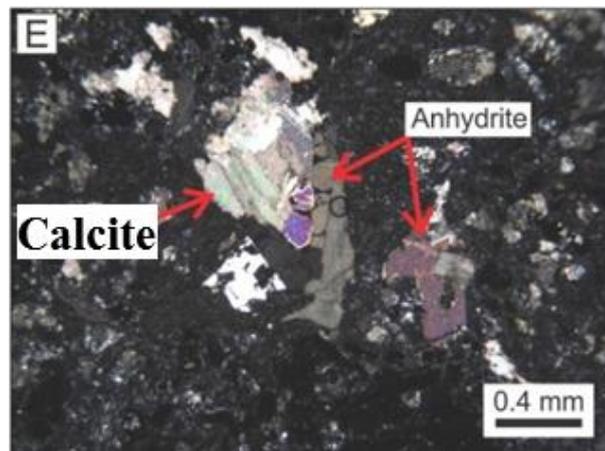


圖 56、G501 深度 589 公尺處岩心薄片

(硬石膏旁邊有碳酸鈣存在)

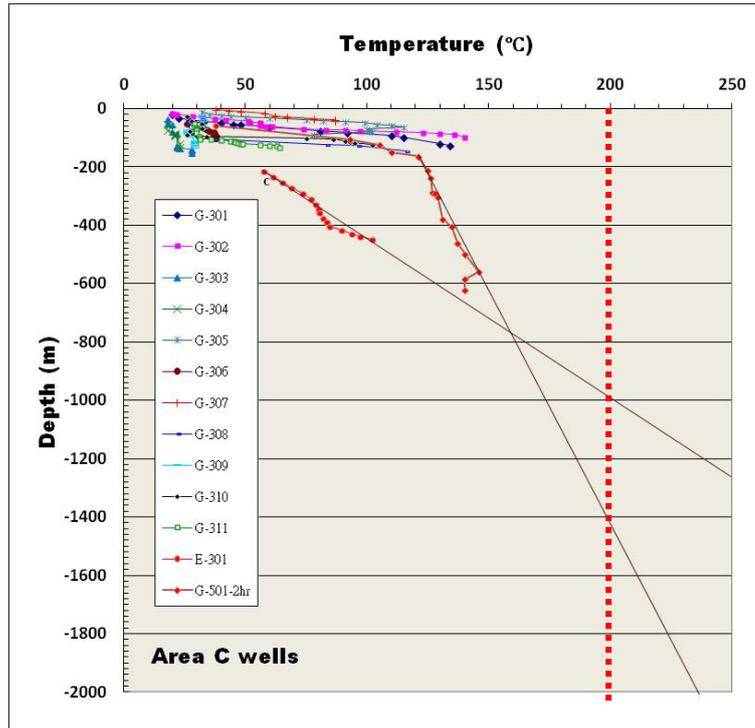


圖 57、四礮子坪地區溫度梯度圖



圖 58、四礮子坪地熱井鑽鑿工作專家諮詢會議

1.2.1.2 試驗井鑽鑿

(1) 鑽井地點說明

探勘井場址為金山區頂中股段硫磺子坪小段 148 地號，基地位於陽金公路里程指標約 6.5 公里處三重橋東側約 1.3 公里處，行政分區所轄為新北市金山區重和里，基地經鄉道北 27、省道臺 2 甲(陽金公路)往北可達金山市區，往南可達臺北市士林地區。

地形上屬於大屯火山區火山熔岩流所構成平台之邊緣，海拔高程 471 公尺，位於磺嘴山北坡麓山帶，西側緊鄰四磺子坪火山爆裂口，東西兩側不遠處分別有庚子坪及八煙火山爆裂口(圖 59)，顯示地熱開發潛能極高。

基地土地使用現況以竹林及草生地為主，探勘井位置東北側緊鄰一處廢棄礦場，該礦場曾以開採安山岩石材，東、南側為產業道路及植生茂密之未開發林地(圖 60)。土地使用分區為山坡地保育區，基地地勢平坦，使用面積約 810 平方公尺。

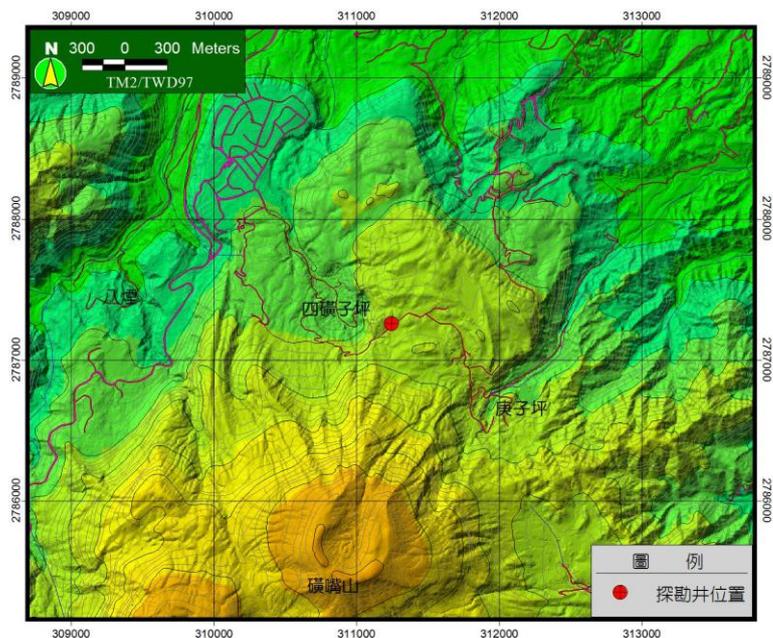


圖 59、四磺子坪探勘井場址地形及地理位置圖



圖 60、四礮子坪探勘井場址現況航照圖

(2) 鑽井規格鑽井作業流程規劃

為獲得大屯山四礮子坪地熱發電潛能之證據，今年度(FY104)鑽鑿探勘井至 600 公尺，明年度(FY105)由原先井位續鑽至預定井位(暫定 1300 公尺，視實際核定經費調整)。鑽井作業流程如圖 61所示，鑽進期程與井體規格如下所示：

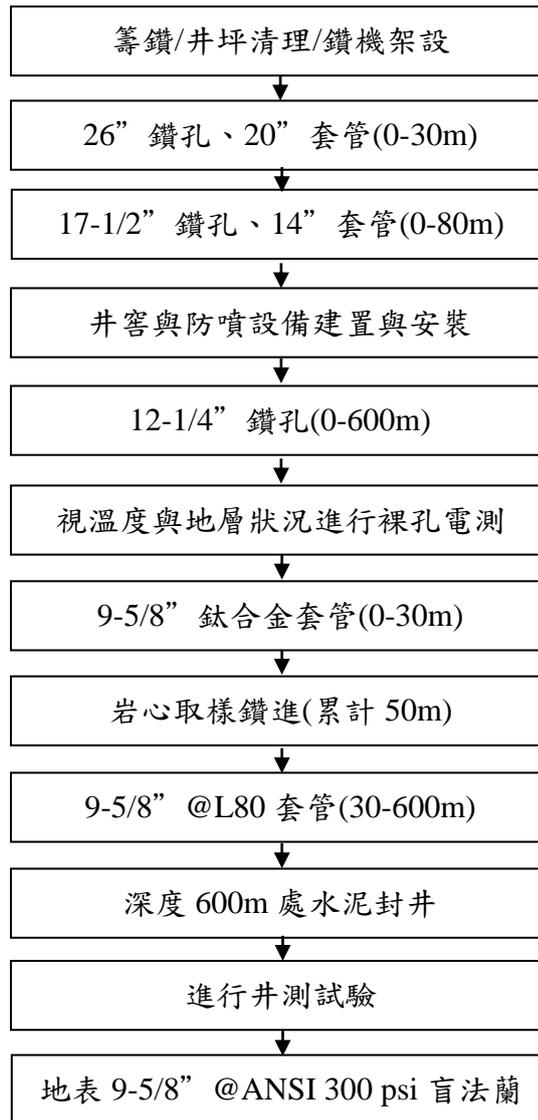
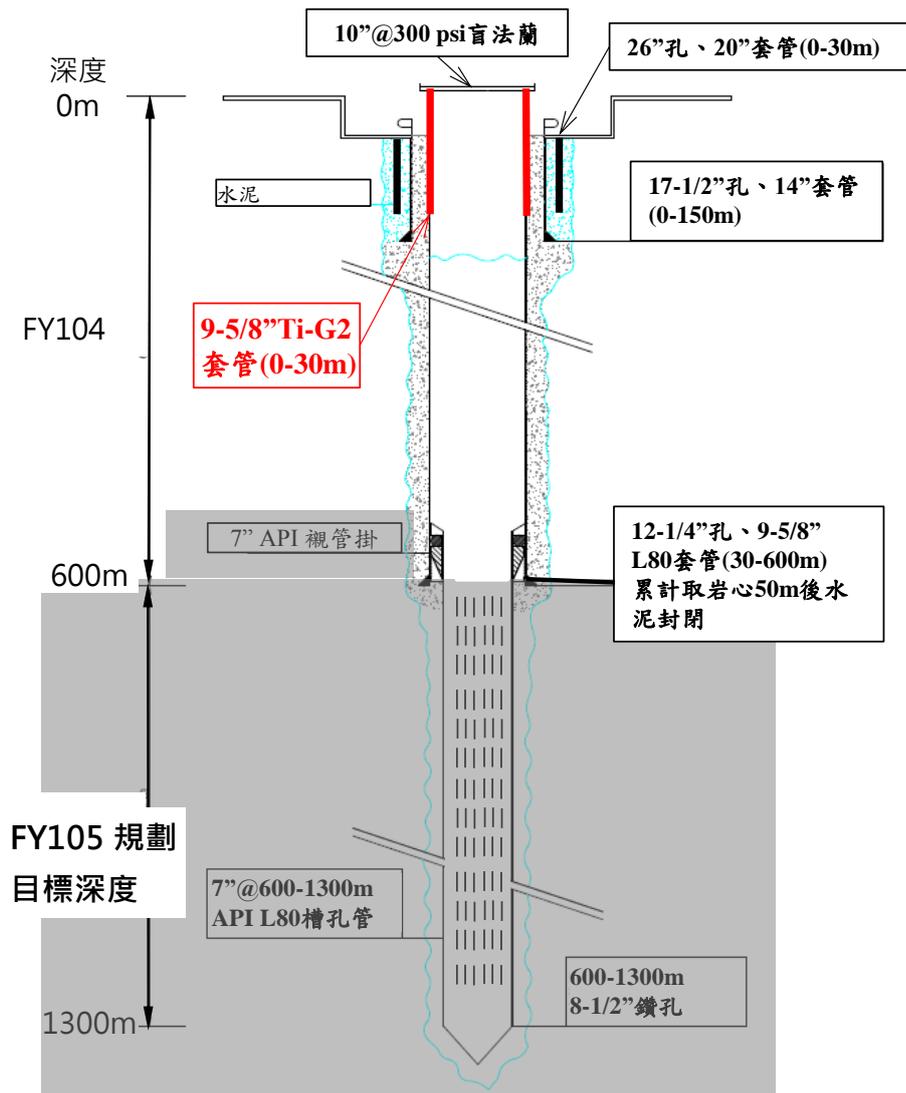


圖 61、工作流程圖

A. 鑽進與套管安放

探勘井預定分三期鑽進並安放套管(圖 62),但各層套管深度將依鑽進之地層情況作適度之調整。



註：600-1300公尺之各層套管深度依鑽進地層情況作適度調整

圖 62、探勘井體構造圖

第一期鑽進與套管：地表至深度 30 公尺，以 26”鑽頭鑽進，安放 20 吋套管，規格為 ASTM A53B 鋼套管(表 16與表 17)。套管與孔壁間以水泥固封。使用耐酸型 ASTM 第 II 型水泥規格。

第二期鑽進與套管：自地表至約 80 公尺處，以 17-1/2”鑽頭鑽進，安放 14”套管，規格為 ASTM A53B 鋼套管。套管與孔壁間以水泥固封。使用耐酸型 ASTM 第 II 型水泥規格。

第三期鑽進與套管：自地表至約 600 公尺處，以 12-1/4”鑽頭鑽進，於地表至 30 公尺處安放 9-5/8”鈦合金套管，30 公尺至 600 公尺安放 API 9-5/8” @L80 套管(表 18)，套管與孔壁間以水泥固封。使用耐酸型 ASTM 第 II 型水泥規格。

B. 岩心與岩屑採樣

鑽進期間應每 5 公尺蒐集岩屑。遇特殊地層鑽取 HQ 尺寸之岩心，累積深度 50 公尺。

C. 盲閥門組

地表安裝 10”@300 psi 盲法蘭，以供 FY105 鑽 8-1/2”鑽頭鑽進、安放 7”槽孔管用。盲法蘭管頭以下設置 2”鈦合金壓井閥並裝置壓力表，以觀測井頭壓力。

表 16、ASTM A53B 鋼管尺寸規格表

| 尺寸 (inch) | 外直徑 (mm) | 厚度 mm/(kg/m) | | | | |
|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| | | SCH10 | SCH20 | SCH30 | STD | SCH40 |
| 14 | 355.6 | 6.35/54.69 | 7.92/67.9 | 9.53/81.33 | 9.5/81.33 | 11.1/94.55 |
| 20 | 508.0 | 6.35/78.55 | 9.53/117.15 | 12.7/155.12 | 9.5/117.15 | 16.1/183.42 |

表 17、ASTM A53B 鋼管化學成分與機械性能規格表

| 化學成分(%) | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 碳 C | 錳 Mn | 磷 P | 硫 S | 鉻 Cr | 鉬 Mo | 鎳 Ni | 銅 Cu | 鈮 V |
| ≤0.30 | ≤1.20 | ≤0.05 | ≤0.045 | ≤0.40 | ≤0.15 | ≤0.40 | ≤0.40 | ≤0.08 |
| 抗拉強度 PSI(MPa)：60,000(≥415) | | | | | | | | |
| 屈服強度 PSI (MPa)：35,000(≥240) | | | | | | | | |

表 18、API L80 鋼管化學成分與機械性能規格表

| 化學成分(%) | | | | | | |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 碳 C | 錳 Mn | 磷 P | 硫 S | 鎳 Ni | 銅 Cu | 矽 Si |
| ≤0.430 | ≤1.900 | ≤0.030 | ≤0.030 | ≤0.250 | ≤0.350 | 0.450 |
| 抗拉強度 PSI(MPa)：95,000(≥655) | | | | | | |
| 屈服強度 PSI (MPa)：80,000(≥552) | | | | | | |

(3) 600 公尺目標深度完工說明

A. 場址整備與 0-30 公尺導孔鑽進

本團隊會同鑽井承包商-豐宇鑽井工程股份有限公司於 2015 年 07 月中至新北市四礮子坪地熱區會勘,確認鑽探工址地號為新北市金山區頂中古段硫磺子坪小段 148 地號,井位之經緯度為東經 121.607615°,北緯 25.192762°,爾後即進行場址整地、圍籬與照明設備架設,如圖 63所示。8 月上旬進行開工儀式,開工照片如圖 64所示;8 月下旬首先完成主井 RC 井坪基地佈設與先導套管安置,並陸續利用衝擊式鑽機完成主井 30 公尺深的先導鑽井,於 2015 年 9 月初完成自地表至 30 公尺 20 吋套管之安置,套管之規格為 ASTM A53B 鋼套管。衝擊式鑽機與導引套管如圖 65所示。



圖 63、場址整地



圖 64、開工儀式彩照



地坪放樣量測



水泥灌漿整平



地坪完成候凝



淺層大口徑鑽鑿用之衝擊式鑽機

圖 65、RC井坪施工與淺層衝鑽

B. 鑽井設備運輸

本計畫進行鑽探之位置，鄰近陽明山國家公園，該區山勢陡峭，聯外道路以磺山產業道路，道路狹小且彎角大，在機具運送過程中遭遇許多困難，如大型板車迴轉半徑不夠，道路坡度過陡等，故於必要之轉彎處進行拓寬，以解決運送機具之問題，減低機具運送可能發生之工安問題，參見圖 66。

C. 井架組立

鑽井架組立階段作業過程，參見圖 67。現地井場地地面鋪設 RC，作為鑽井平台的承載基礎，鑽井平台由塔式井架與箱型底座所組成。井架先於地表組裝，再利用吊車將井架結構吊掛定位與銜接。井架前方開口面積大，通風良好，可降低當發生硫化氫外洩事件時，對現場人員之危害，此外良好的視野有利於吊掛與操作鑽桿及套管。

底座部件進場後，於現場以模塊方式吊裝至定位連結，各段井架組立後平放於地面，接著架設鑽井絞車，再將井架各段、天車、四棚等部件依序吊裝固定，再進行大鉤穿繩作業，以及吊裝各項輔助起降鋼纜。井架起升作業過程，如圖 68 所示。井架組立完成狀況，參見圖 69。主體安裝完成後，接續進行各機件組裝，以及泥漿泵等各管線連結等工作。



道路拓寬工程



道路拓寬工程



颱風後道路整理



道路整理

圖 66、鑽機設備運送與道路整理



圖 67、井台底座組立作業



圖 68、井架起升作業



圖 69、井架組立完成

D. 30~80 公尺鑽進階段

現地自 2015 年 10 月 21 日開始進行深度 30 公尺至 80 公尺鑽進作業，並於 10 月 26 日鑽深達到 80 公尺，隨後進行擴孔鑽進工程，於 11 月 03 日完成擴孔作業，鑽進進度如表 19 所示。並進行 14” ASTM A53B 鋼套管安置與水泥封固作業。鑽進以泥漿循環工法進行，期間，依井內地質狀況，調整泥漿配比、比重、濾失性及流變性能，利用泥漿柱壓平衡井下地層壓力。圖 70 為 30 至 80 公尺鑽進過程之現場作業概況。

鑽進過程中曾遭遇颱風來襲，機具故障維修等因素，且井場位處山區，天氣條件惡劣，僅管如此，仍頂著陰雨綿綿持續進行鑽進，並將遭遇之問題排除，順利完成本階段之任務。

表 19、30 公尺至 80 公尺鑽進進度表

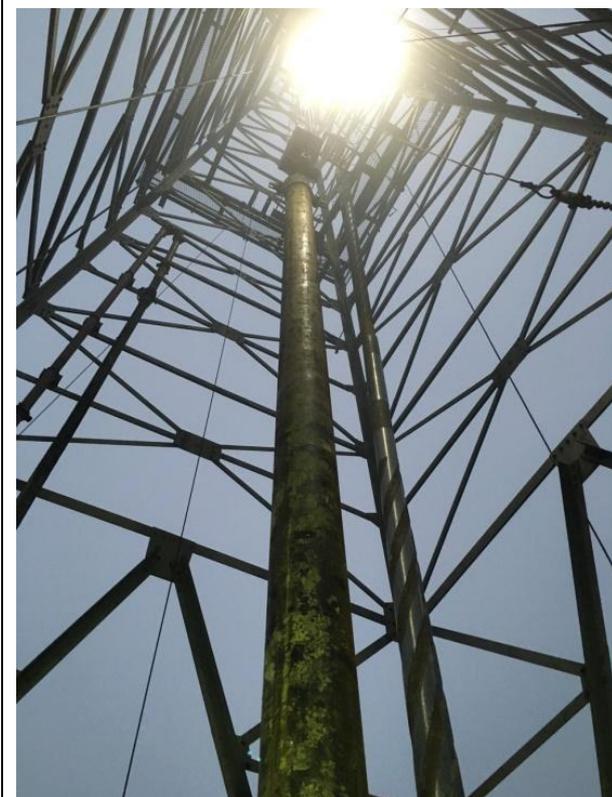
| 日期 | 工班 | 進尺(m) | 累進鑽深(m) |
|------------|----|-----------|---------|
| 2015/10/21 | 日 | 3 | 26 |
| 2015/10/22 | 日 | 4 | 30 |
| 2015/10/24 | 日 | 20 | 50 |
| 2015/10/25 | 日 | 20 | 70 |
| 2015/10/26 | 日 | 10 | 80 |
| 2015/10/29 | 日 | 32/擴孔作業 | 62 |
| 2015/10/30 | 日 | 13 | 75 |
| 2015/10/31 | 日 | 5 | 80 |
| 2015/11/01 | 日 | None/套管下放 | 80 |
| 2015/11/02 | 日 | None/水泥灌漿 | 80 |
| 2015/11/03 | 日 | None/水泥候凝 | 80 |



旋鑽鑽進中



惡劣天候



下放14"套管



鑽進設備整修

圖 70、30 公尺至 80 公尺鑽進過程現場作業

E. 80~600 公尺鑽進階段

現地自 2015 年 10 月 28 日開始進行深度 80 公尺至 600 公尺鑽井作業，於 11 月 19 日起全時鑽進，順利在 11 月 29 日鑽抵 600 公尺，鑽進進度如表 20 所示，並於深度 187.08 公尺與 393.07 公尺連續岩心取樣各 3 公尺，總計 6 公尺的岩心。深度達 600 公尺後，即進行 9-5/8” @ L-80 鈦合金套管安置與環孔水泥封固作業，水泥封固資訊詳見完井作業。圖 71~圖 73 為 80 至 600 公尺鑽進過程之現場作業情況。

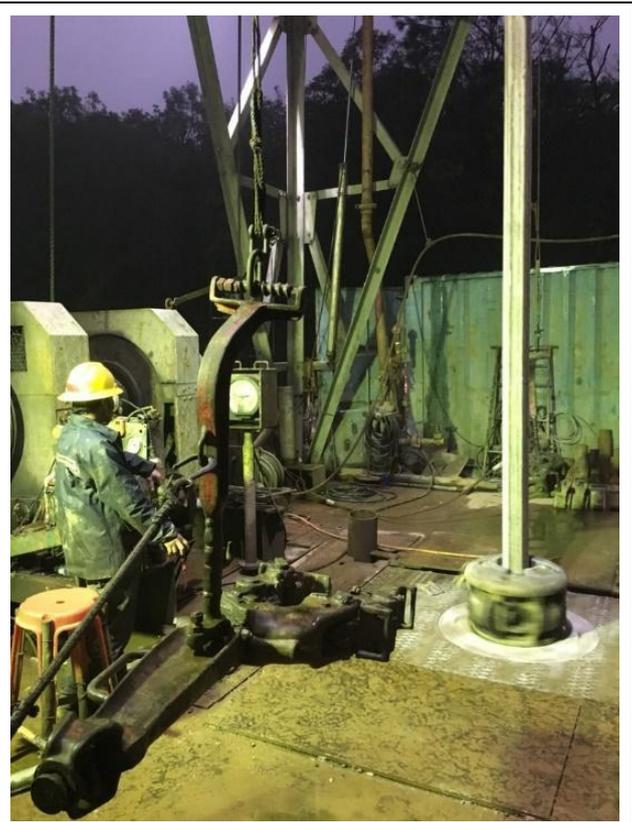
表 20、80 公尺至 600 公尺鑽進進度表

| 日期 | 工班 | 進尺(m) | 累進鑽深(m) | 泥漿比重 | 漏斗黏度(秒) |
|------------|----|---------------|---------|-----------|---------|
| 2015/11/04 | 日 | 7.56 | 87.56 | 1.09 | 72 |
| 2015/11/05 | 日 | 18.14 | 105.70 | 1.08 | 67 |
| 2015/11/06 | 日 | 10.49 | 116.19 | 1.08 | 60 |
| 2015/11/07 | 日 | 17.97 | 134.16 | 1.09~1.12 | 56~63 |
| 2015/11/08 | 日 | 17.91 | 152.07 | 1.12~1.13 | 54~60 |
| 2015/11/09 | 日 | 18.68 | 170.75 | 1.15~1.16 | 55~56 |
| 2015/11/10 | 日 | 15.68 | 186.43 | 1.10 | 59 |
| 2015/11/11 | 日 | None/ 取心作業 | 186.43 | | |
| 2015/11/12 | 日 | None/ 取心作業 | 186.43 | | |
| 2015/11/13 | 日 | None/ 系統保養 | 186.43 | | |
| 2015/11/14 | 日 | None/ 系統保養 | 186.43 | | |
| 2015/11/15 | 日 | None/ 系統保養 | 186.43 | | |
| 2015/11/16 | 日 | None/ 系統檢修 | 186.43 | | |
| 2015/11/17 | 日 | None/ 系統檢修 | 186.43 | | |

| | | | | | |
|------------|---|-----------------------|--------|-----------|-----------|
| 2015/11/18 | 日 | None/ 系統檢修 | 186.43 | | |
| 2015/11/19 | 日 | 36.09 | 222.52 | 1.06~1.10 | 46.3~46.8 |
| | 夜 | 19.20 | 241.72 | 1.11~1.12 | 53~58 |
| 2015/11/20 | 日 | 28.73 | 251.25 | 1.12 | 96 |
| | 夜 | 27.85 | 279.10 | 1.07 | 57~64 |
| 2015/11/21 | 日 | 28.72 | 307.82 | 1.04~1.05 | 43.8~54.6 |
| | 夜 | 9.58 | 317.40 | 1.07 | 43 |
| 2015/11/22 | 日 | 38.6 | 346.42 | 1.06 | 41.6~44.6 |
| | 夜 | 18.34 | 364.76 | 1.07 | 46~48 |
| 2015/11/23 | 日 | 18.66 | 383.42 | 1.08~1.13 | 54.3~61.6 |
| | 夜 | 10.65 | 393.07 | 1.07~1.08 | 47~80 |
| 2015/11/24 | 日 | None/ 取心作業 | 393.07 | | |
| | 夜 | None/ 取心作業 | 393.07 | | |
| 2015/11/26 | 夜 | 19.07 | 412.14 | 1.08~1.10 | 48~55 |
| 2015/11/27 | 日 | 37.84 | 449.98 | 1.12 | 44~47.6 |
| | 夜 | 38.62 | 488.60 | 1.11~1.13 | 57~104 |
| 2015/11/28 | 日 | 38.49 | 527.09 | 1.10~1.12 | 52.3 |
| | 夜 | 36.68 | 563.77 | 1.12~1.16 | 45~5 |
| 2015/11/29 | 日 | 36.8 | 600.57 | 1.12~1.16 | 45~73 |
| | 夜 | None/ 套管下放 | 600.57 | | |
| 2015/11/30 | 日 | None/ 套管下放 水泥灌漿 | 600.57 | | |



井場夜間照明



夜間鑽進



轉盤鑽進中

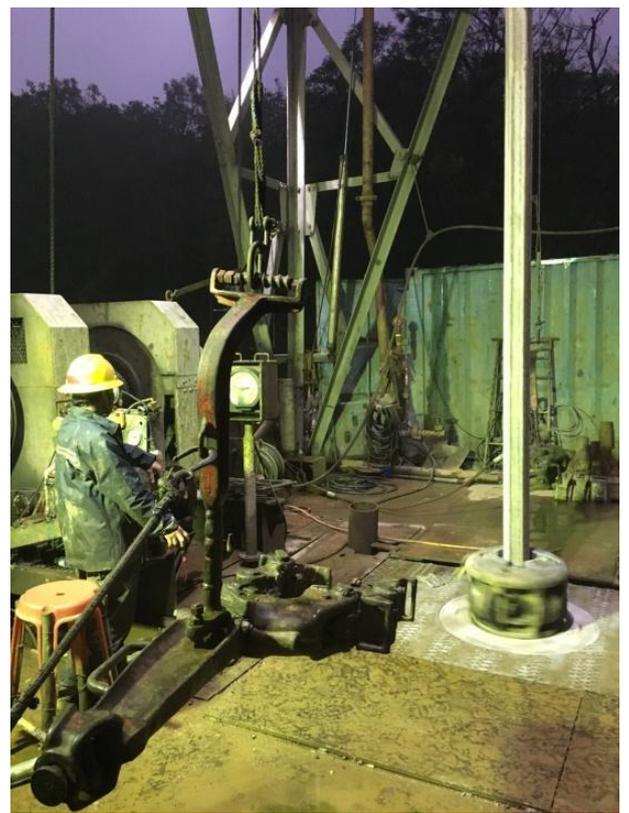


鑽桿銜接

圖 71、80公尺至600公尺鑽進過程(1)



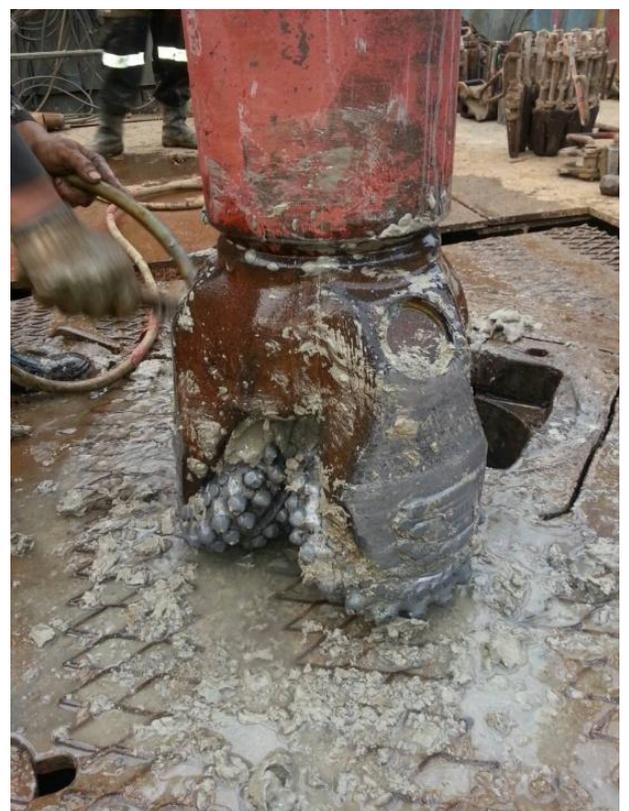
起鑽作業



夜間鑽進



管材銜接

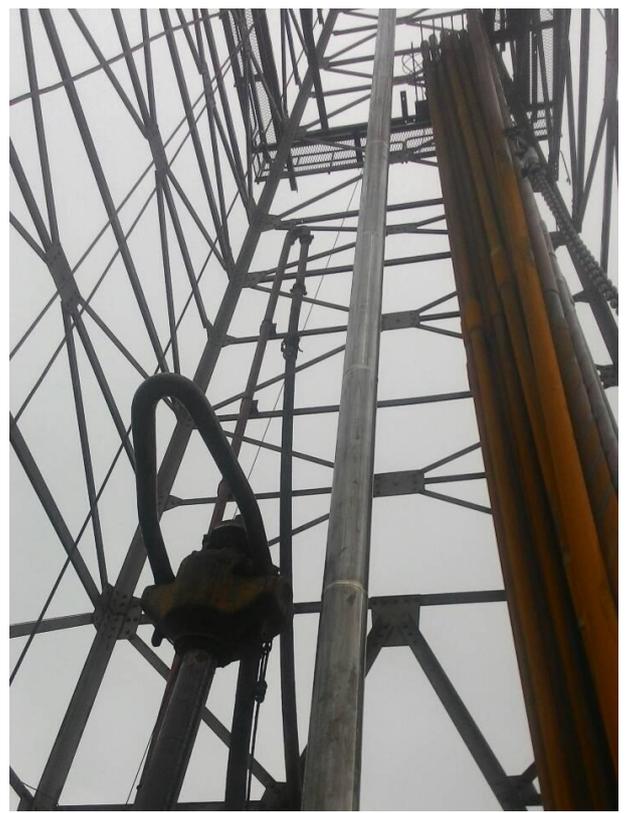


12-1/4'' 鑽頭

圖 72、80公尺至600公尺鑽進過程(2)



9-5/8"套管與置中器下放



鈦管下放



鈦管現場焊接



鈦管與API-L80鋼管對鎖

圖 73、9-5/8"套管下放作業

F. 泥漿工法

一般而言，泥漿的主要功用為沖浮井底鑽屑；冷卻潤滑鑽頭，保持鑽頭清潔；在井壁表面造成薄泥，可提升井孔穩定；支持套管或鑽串之一部份重量；壓制地下高壓氣層、水層，防止噴發及其他意外。現地泥漿循環系統以及固控設備之彩照，如圖 74所示。



固控設備



泥漿泵



調配泥漿



維修震動篩

圖 74、現地泥漿循環系統以及固控設備

G. 岩心取樣

本計畫採用拉線式取心工法，其基本工作原理乃是在每次鑽心完成後，只要將拋射器(Overshot)拖曳著細鋼索由鑽桿之鑽串內直接拋入，待其到達鑽串之最底部，使其能與已取得岩心之內管總成嵌卡扣結後，再利用高速之油壓式捲揚機，以高速率捲動將鋼索捲回，同時亦一併連同岩心內管總成拉回到地表面外，最後再將岩心內管總成分解後，以高壓水將所取得之岩心退出管外，並放入剖半之 PVC 管內，待經過必要之量測與清洗程序後，再轉置入岩心箱內保存。

由於拉線式工法在整個鑽探取樣過程中，不須要將整個鑽串全部撤除，其提取岩心之方式乃是由鑽串內部經由連結之拋射器(Overshot)直接取出，因此本工法可節省許多重複且繁瑣的傳統取樣程序，因而大大提升了整體施工效率。由於施工之鑽串並未在鑽孔內頻繁進出，因此使得鑽孔壁體未受過度擾動，況且鑽串所連結之管串本體亦兼具有套管作用功能，因此鑽孔壁獲得最佳穩定性同時亦可取得連續且完整之高品質岩心樣品。取心作業示意圖請參見圖 75。

本計畫於共取兩次岩心，深度分別為 187.08 公尺至 190.08 公尺，以及 393.07 公尺 396.07 公尺，總長度為 6 公尺。岩心取得後，經過清洗後，置入岩心箱保存。現場取心照片請詳圖 76與圖 77。

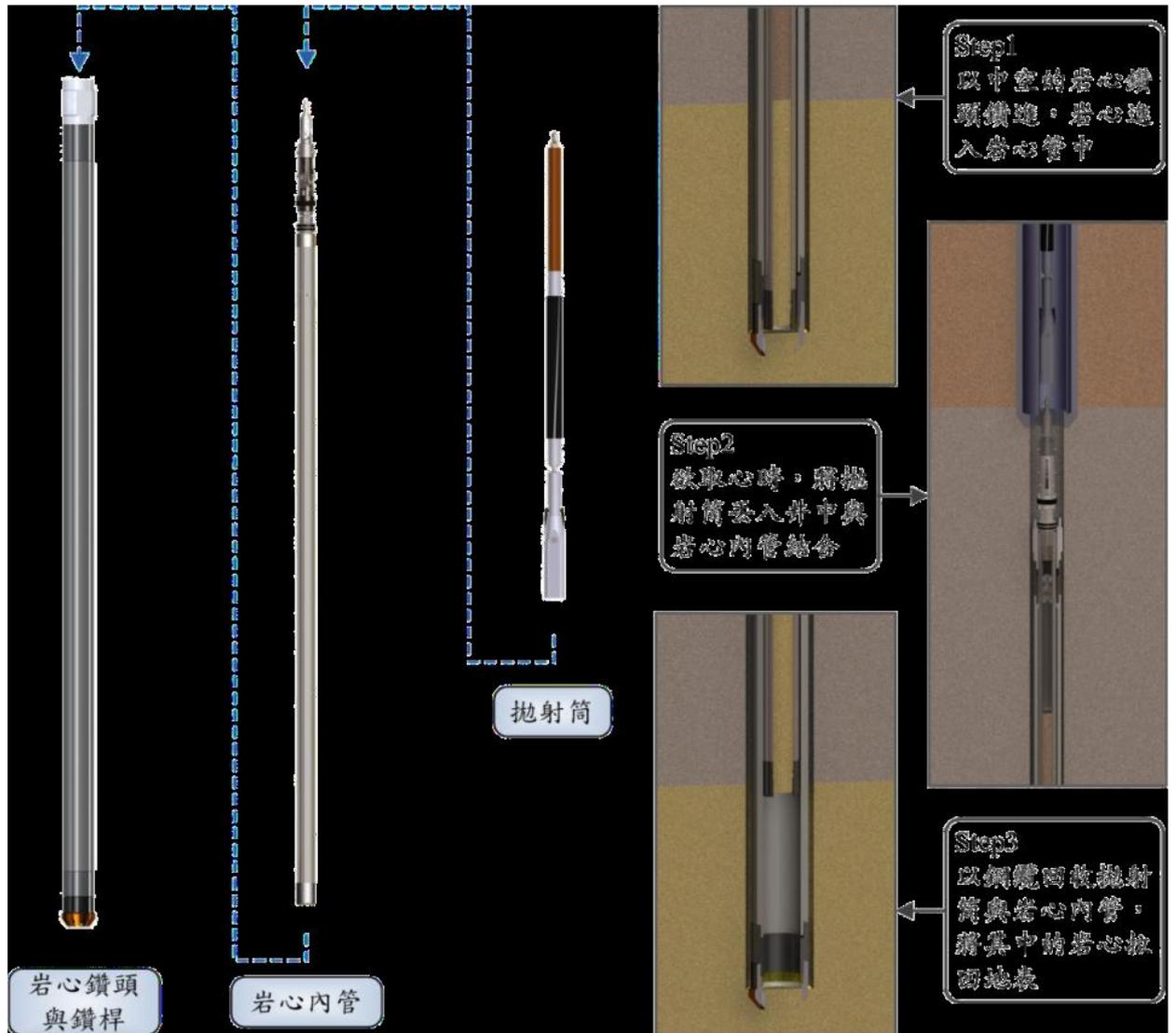


圖 75、取芯作業示意圖(豐宇鑽井公司)



取芯準備工作



取芯鑽進作業



3公尺取芯桿提出地表



深度187.08-190.08公尺之岩芯

圖 76、深度187-190公尺之取芯作業



取芯鑽進作業



深度393-396公尺之岩芯



深度393-396公尺之岩芯近照(1)



深度393-396公尺之岩芯近照(2)

圖 77、深度393-396公尺之取芯作業

H. 水泥漿封固作業

本計畫所使用的水泥漿係經過豐宇鑽井有限公司特殊設計，配合鑽井區域地質特性，專門供為本深鑽井計畫使用，內含各式添加劑且經多次試驗已達最佳配比，其包含脫液改良、緩凝、優化流變性等功用，分別概述如下：

(A) 脫液改良劑 (fluid loss control additives) 與分散劑 (dispersants)

水泥漿在高壓狀態下會產生水份自水泥漿脫離的現象，使水泥發生閃凝(flash set)，於環孔形成腰塞(bridge)及結節(node)，導致水泥漿流動阻塞，泵送困難，終致無法達成理想水泥封固效果。根據地質資料顯示，本區存在許多破碎岩層，其提供了水泥漿水份漏失的通道。為防止此脫水現象，本案選用陰離子型高分子為脫液改良劑，以濕式混合法與水泥混拌製備水泥漿。此高分子在特定濃度的環境下會形成三維高分子網狀結構(3D polymer network)，限制水的流動，阻隔水份自水泥漿脫離。並附著於井壁上填塞水泥顆粒間之空隙，於井壁形成緻密的阻水層，達到防止水份漏失進入地層之目的。根據脫液量測量試驗，灌漿作業之水泥漿脫液量均控制在 100 毫升以下。而此陰離子高分子也是 API 油井水泥的分散劑，可明顯改善水泥漿的流動性，使用注漿流度儀量測水泥漿流動度，全程灌漿作業中，水泥漿流動度均可控制在 30 s 以下，相當於稠化值(consistency)小 30 BG。

(B) 緩凝劑(retarders)

為延長水泥初凝時間，使水泥漿封固作業有足夠的時間混拌與灌注水泥漿，在水泥漿中加入木質素磺酸鹽控制緩凝時間，並使用維克針試驗儀量測水泥漿初終凝時間以符合工況要求。水泥漿性能均採符合 API 與 ASTM 規範之儀器量測。

本探勘井屬火山安山岩地質，鄰近許多硫氣孔，硫化氫含量高，可能入侵水泥環並造成水泥酸性腐蝕，導致水泥石強度下降。為了解水泥石的抗酸強度，本案使用之水泥漿添加二氧化矽材料，運用提高水泥顆粒最密堆積與改變矽鈣比之原理，及透過實驗逐步優化級配比例，以達到增強水泥石抗酸能力之目的。由於二氧化矽材料，有細顆粒、表面積大及水化反應佳等特性，可有效填充水泥石內的孔隙與氣孔，使水泥石變的密實、滲透率下降，進而強度提高、降低自由水、防止氣竄、阻止外部腐蝕、穩定漿體等優點。

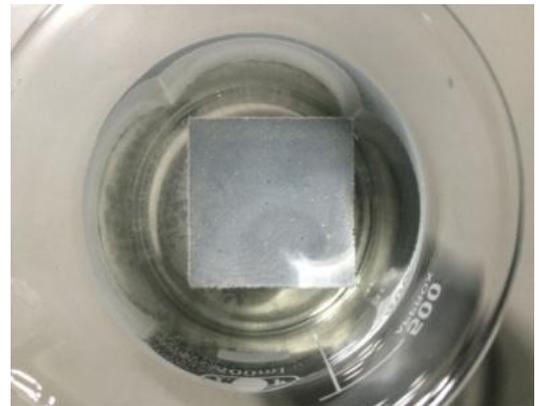
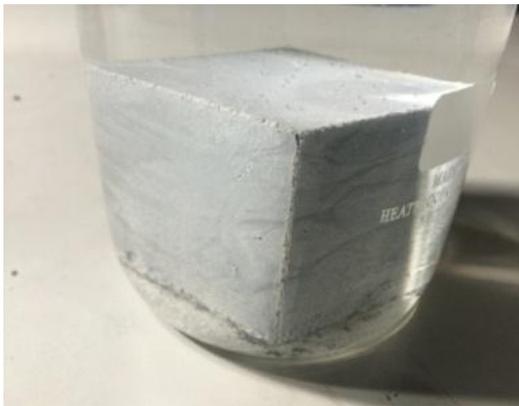
實驗過程首先製作不同配方之水泥石樣品，將製作好的水泥石樣品浸泡至已調好的稀硫酸溶液中進行酸蝕實驗，並需保持 pH 值遠小於 1 的酸性環境，持續觀察樣品酸蝕狀況，待浸泡一段時間後取出水泥石樣品烘乾秤重，計算水泥石浸酸後之重量損耗率，完成實驗步驟後，可依此實驗結果協助優化級配比例，完成試驗水泥石抗酸能力。試驗情形如圖 78 所示。



水泥石樣品製作



水泥石樣品稱重



水泥石樣品浸酸



水泥石浸酸實驗中

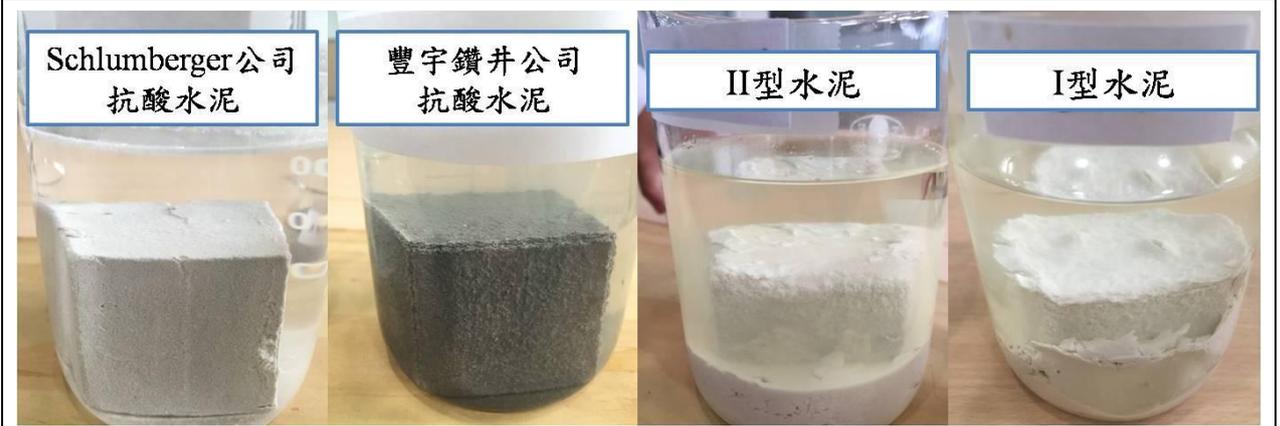


圖 78、抗酸蝕水泥試驗情形(豐宇鑽井公司)

在水泥灌漿過程時需在擠注水泥前先預注前置液，其包含清洗液與隔絕液，目的是要分隔泥漿與水泥漿，達到隔離、緩衝與清洗作用，可明顯提升水泥封固品質。其中清洗液的比重約 1.0，具有很低的塑性黏度(plastic viscosity)、良好的流動性能與低剪切率(shear stress)，使清洗液在低泵速下達到紊流，有效的去除井壁與套管壁上的泥餅。清洗液與泥漿、水泥漿均應具有良好的互溶性，基於此，本灌漿作業之清洗液使用丙烯酸類高分子水溶液。其性能符合上述要求且具有抗脫水特性，降低在灌漿過程中清洗液的脫液效應。而隔絕液可防止不能共溶的泥漿與水泥漿相遇，避免混合後產生堵塞。隔絕液為高黏度液體，具有較高的剪切率，產生較高的浮力與拖曳力，形成類似活塞的效果，達到頂替泥漿與置換水泥漿的目的，其比重應介於泥漿與水泥漿之間。因重晶石(barite)具有極佳的化學惰性，不溶於水、酸鹼與有機溶劑，在灌漿作業前均完成設計與測試，確立隔絕液的流變性質，諸如隔絕液的比重、流動度及重晶石的懸浮穩定性。

水泥灌漿流程與設備配置依照 API 油井作業方式處理，整個系統包含井下水泥擠注裝置與地表泵送、混拌系統。井下裝置由套管鞋(casing shoe)、逆止閥、套管串(casing string)所組成。泵送系統包含泥漿泵浦(mud pump)與雙塞式水泥頭(double plug cement head)，內含底塞與頂塞。混拌系統，由水泥儲存槽、水泥添加劑混合水槽、噴射式混合器(jet mixer)、二次水泥混合槽與前置液預拌槽所組成。

進行下套管作業時，已預在首支套管的底部與其中分別安置

套管鞋與逆止閥，並隨著套管串一起下放至井底。用於灌漿作業的流體包含清洗液(wash)、隔絕液(spacer)、水泥漿(slurry)、後送隔絕液與後送泥漿，各流體在水泥頭的注入口與頂、底塞位置關係標示於圖 79。

進行水泥混拌作業時，要將水泥儲存桶中的水泥置入水泥混合器中進行混拌，隨後水泥漿進入配有攪拌器與回饋管路(feedback loop)的二次混合槽(recirculating blender)，並使用比重計與注漿流度儀量測水泥漿特性，當水泥漿達到設計性能時，將水泥漿送入泥漿泵浦，隨即將水泥漿泵入套管內。

在進行灌漿流程時，首先注入配製好的清洗液，稀釋泥漿並清洗井壁與套管上殘存的泥餅，使井壁與套管表面具有親水性(hydrophilic)，此特性可使水泥漿與井壁和套管緊密結合。接著泵入隔絕液，有效隔絕泥漿與水泥漿。之後在底塞上方泵入水泥漿，底塞持續壓迫清洗液與隔絕液通過套管鞋，置換井內泥漿。當底塞到達井底，且壓力持續不斷上升，水泥漿會穿破底塞並灌入環孔，將隔絕液進一步經環孔向地表推擠。泵入預定體積之水泥漿後，緊接著在頂塞上方注入後送隔絕液與泥漿，排除環孔內泥漿並置換成水泥漿。現地水泥灌漿請參見圖 80。

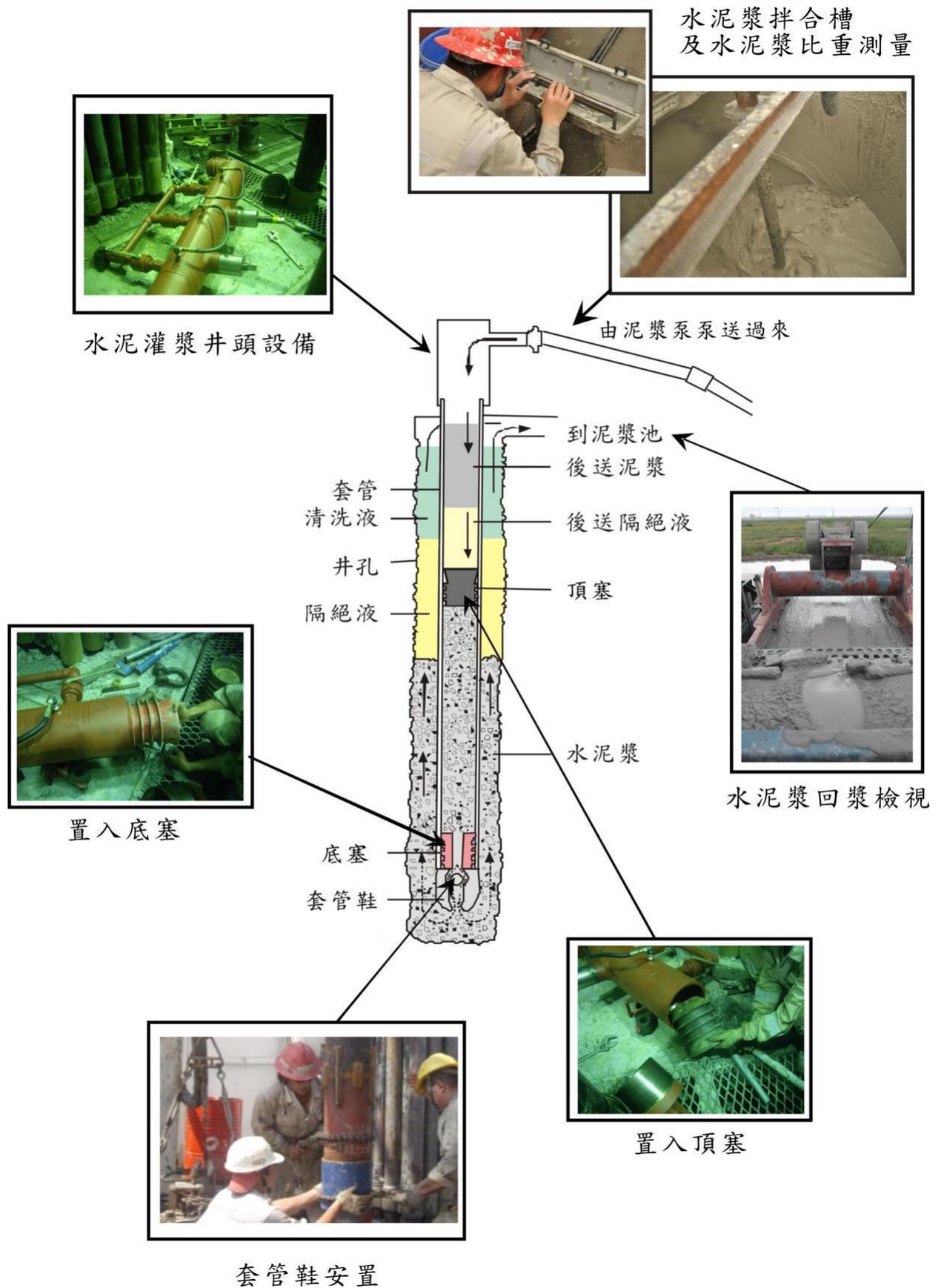


圖 79、水泥混拌及灌漿流程圖



灌漿設備架設



灌漿設備架設



水泥漿配製



水泥漿泵送

圖 80、現地水泥灌漿情形

(4) 產能測試

A. 試驗目的

針對新地熱井於鑽進完成後進行相關試驗，以取得新井之噴流特性及孔內之溫度、壓力曲線，並進行地熱流體地球化學特性分析，藉以逐步釐清各地熱井之生產特性與行為，作為發電潛能評估、發電廠初期規劃設計、結垢抑制系統設計之依據。完整試驗工作包括恢復試驗、噴流試驗、壓力回升試驗，其工作流程如圖 81所示。

為配合鑽井作業之跨年度兩期鑽進，本年度將於第一期鑽井完成後(600 公尺深度)，先進行溫度恢復試驗，推估上部地層破碎帶，並評估深部地層溫度，作為下年度(FY105)鑽進之作業參考，其他如噴流試驗、地熱流體採樣分析、壓力回升試驗等較詳細之試驗分析，待 FY105 完井後再行施測。

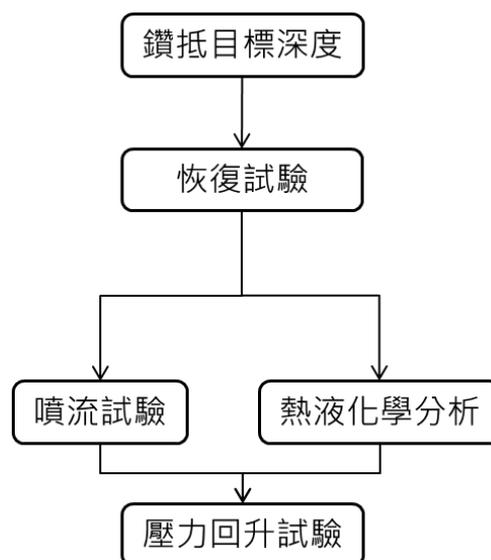


圖 81、產能測試作業流程規劃

B. 探測棒

井下溫度與壓力測棒為美國 KUSTER 公司製造之 K-10(GS5056)壓力/溫度探測棒(PT probe)，可供高溫地熱井孔內連續記錄，規格參考表 21及圖 82。

表 21、PT 探測棒規格

| | | |
|-----|---|--|
| (1) | 一般說明 | |
| | 探測棒為電子式，同時具備可在地熱井內探測溫度、壓力、流速等特性參數，並配備記錄器以同時記錄各項探測數據及探測深度。 | |
| (2) | 探測棒之規格： | |
| | 探棒尺寸 | 外徑1.75英吋 長度66英吋 |
| | 記錄器單元 | 可記錄探測數據達1,400,000組(含以上)；探測數據記錄時間間隔最低可達1秒。 |
| | 耐壓力極限 | 5,000 psi。 |
| | 溫度探測單元 | 精確度：達全幅(Full Scale)探測範圍之±0.015%。 解析度：達全幅(Full Scale)探測範圍之±0.002%。 探測溫度在300°C以內達6小時。 探測溫度在350°C以內達4小時。 |
| | 壓力探測單元 | 精確度：達全幅(Full Scale)探測範圍之±0.05%。 解析度：達全幅(Full Scale)探測範圍之±0.0003%。 壓力探測範圍：0至5,000 psi。 |
| | 流速探測單元 | 外徑2又1/8英吋。 探測數據包含流速與流向之紀錄。 感測元件：Magnetic 解析度：0.8 RPS 流速(FLOW RATE)範圍：1 (Min)~20,000 (Max) rpm |



圖 82、PT Geothermal probe 外觀(含Centralizer)

C. 現場作業

四磺子坪地熱探勘井 2015/12/01 鑽抵目標深度 600 公尺，20:30 循環幫浦停泵，12/02 開始進行 3 次溫度恢復試驗，作業摘要表測試設施參考表 22，現場作業情況請參考(圖 83、圖 84)。

表 22、溫度恢復試驗作業摘要

| 試驗次 | 作業時間 | 說明 |
|-----|------------------|-----------|
| 第1次 | 2015/12/02 10:00 | 停泵13.5 小時 |
| 第2次 | 2015/12/02 14:00 | 停泵17.5 小時 |
| 第3次 | 2015/12/03 08:30 | 停泵36 小時 |



圖 83、恢復試驗現場作業(1)

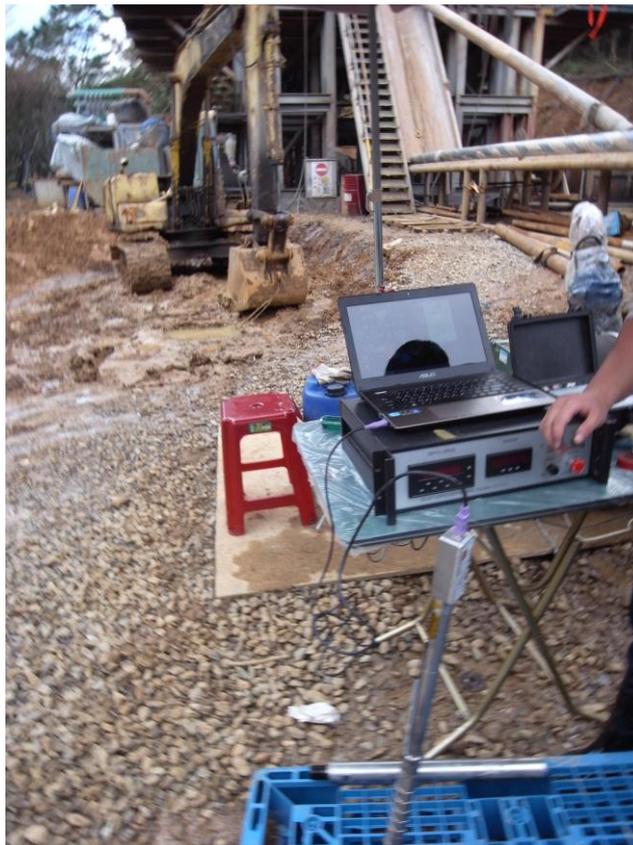


圖 84、恢復試驗現場作業(2)

D. 溫度恢復試驗結果

在停泵 13.5、17.5 及 36 小時後三次溫度量測之結果如圖 85 所示，井底最高溫度分別為 105.7°C、109.7°C 與 117.9°C。由初步之溫度剖面判釋，230~240 公尺出現可能之破碎帶，580~600 公尺間是否尚有另一破碎帶，由於該處位於井孔底部，尚無法得知。整體而言，600 公尺之概略地層溫度梯度約為 81°C/km，在目前鑽進範圍內第溫梯度仍持續穩定上升，推估目前鑽進之 600 公尺深度尚在蓋層之內，還未到達熱水儲集層，明年度續鑽進度可獲得更完整之資訊供進一步判釋。

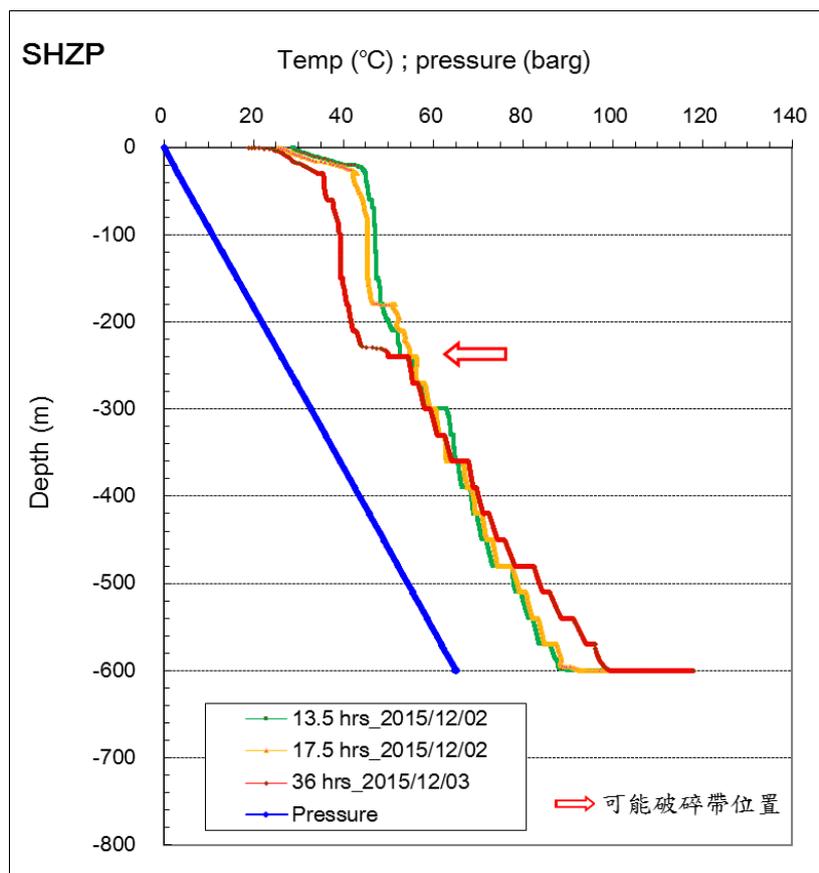


圖 85、四礮子坪地熱探勘井恢復試驗溫度剖面

1.2.2 地熱場址調查與監測

1.2.2.1 場址調查與構造分析

為充分掌握本年度大屯山試驗井設置場址的地下地熱資源狀況，本工作規劃進行地質調查、地球物理探測與地球化學調查等相關作業，以建立場址地下地質模型，評估地熱儲集構造與蘊藏潛能。並配合試驗鑽井資料的取得與比對，提供地熱潛能評估與未來評選試驗探勘井與生產井位之重要參考依據。

(1) 地球物理補充調查_大地電磁探測

A. 測勘佈置

本年度大地電磁探測主要針對大屯火山區東北側之試驗井設置場址，進行測勘調查，以獲得試驗場址區域較詳細的地質構造與地熱資源資訊。測點大致採網格與測線方式布置，以進行二維電阻剖面分析，與更新三維電阻模型，提供鑽探井位評選及未來地熱開發潛能評估之重要參考資料。總計於大屯山東北側試驗井設置場址周圍區域完成了 15 個測點，測點分布如圖 86，測點座標如表 23，野外探測作業情形如圖 87。

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 88 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

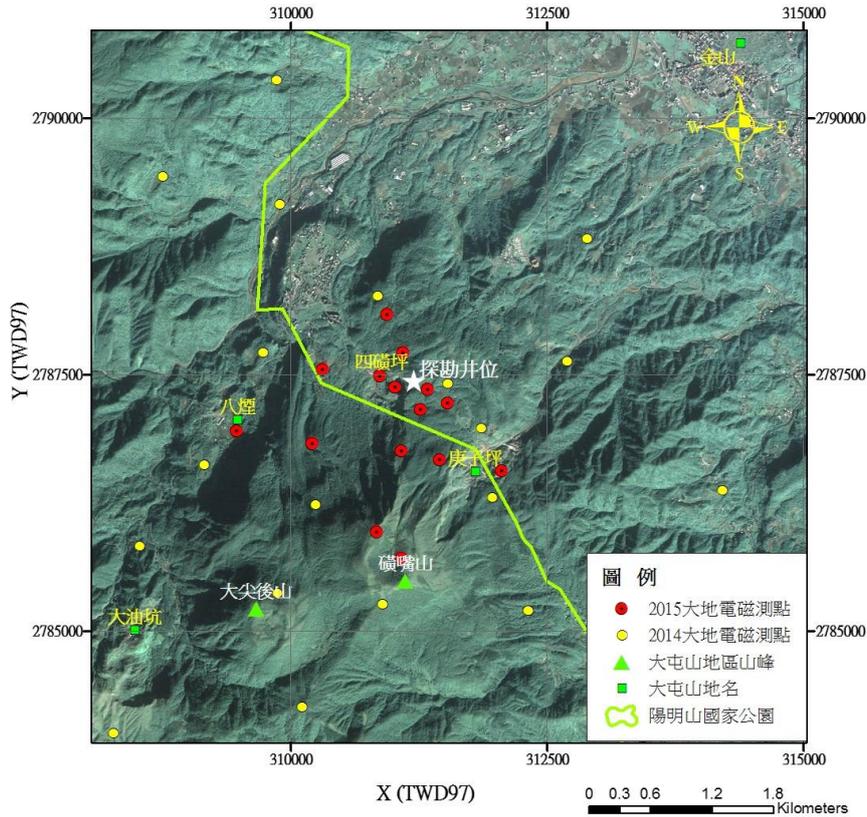


圖 86、大屯山試驗場址周圍區域大地電磁測點分布圖

表 23、大屯山試驗場址周圍區域大地電磁測點座標

| 測點編號 | 座標 (TWD97) | | 座標 (WGS84) | |
|------|------------|---------|----------------|---------------|
| | X | Y | 經度 | 緯度 |
| N01 | 311260 | 2787152 | 121° 36' 28.2" | 25° 11' 30.2" |
| N02 | 311435 | 2787376 | 121° 36' 34.5" | 25° 11' 37.5" |
| N03 | 311021 | 2787381 | 121° 36' 19.7" | 25° 11' 37.7" |
| N04 | 310863 | 2787492 | 121° 36' 14.1" | 25° 11' 41.3" |
| N05 | 310308 | 2787553 | 121° 36' 54.3" | 25° 11' 43.4" |
| N06 | 311078 | 2787723 | 121° 36' 21.8" | 25° 11' 48.8" |
| N07 | 310934 | 2788086 | 121° 36' 16.7" | 25° 12' 00.6" |
| N08 | 312055 | 2786564 | 121° 36' 56.5" | 25° 11' 11.0" |
| N09 | 311444 | 2786663 | 121° 36' 34.7" | 25° 11' 14.3" |
| N10 | 311074 | 2786757 | 121° 36' 21.5" | 25° 11' 17.4" |
| N11 | 310209 | 2786830 | 121° 35' 50.6" | 25° 11' 19.9" |
| N12 | 309468 | 2786948 | 121° 35' 24.2" | 25° 11' 23.8" |
| N13 | 311072 | 2785712 | 121° 36' 21.3" | 25° 10' 43.4" |
| N14 | 310829 | 2785970 | 121° 36' 12.6" | 25° 10' 51.9" |
| N15 | 311330 | 2787357 | 121° 36' 30.7" | 25° 11' 36.9" |



(a)方位量測與電極展距標定



(b)磁場量測之磁力感測器設置



(c)電場量測之電極設置



(d)量測參數設定與啟動

圖 87、大地電磁現場探測作業情形

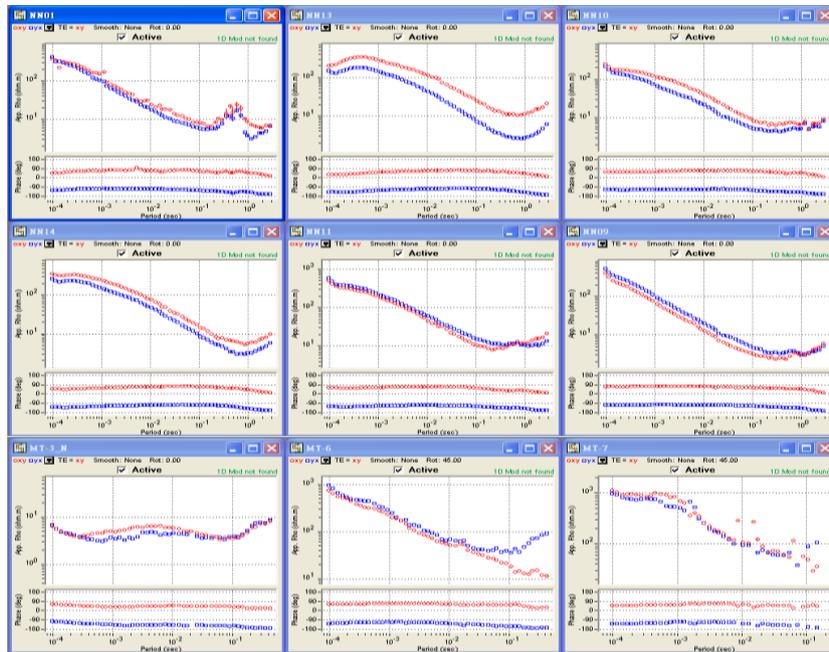


圖 88、大地電磁測勘結果之視電阻率與相位曲線

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. 二維逆推剖面

根據大地電磁測點分布，選取通過試驗鑽探井位附近，自四礮子坪延伸至庚子坪之西北-東南向剖面，進行二維電阻剖面分析，其成果如圖 89。據以解析試驗場址之地下地質構造與地熱資源蘊藏分布等資訊，提供鑽探井位評選之參考。由圖 89之電阻分布型態顯示，剖面兩側之四礮子坪與庚子坪地區於淺部即呈現低電阻特徵，為地層受熱液換質的表現。而剖面中段區域約在深度 500 公尺以下，亦具有一地層電阻率小於 20-30 Ωm 之低電阻帶，並與剖面兩側低電阻帶相連接，研判亦屬於熱液換質帶，而共同形成一低電阻特徵的地熱蓋層構造。推估預定試驗鑽井約於深度 450 公尺以下，可能鑽遇厚層的熱液換質帶，深度 750 至 800 公尺以下應逐漸進入地熱儲集層。

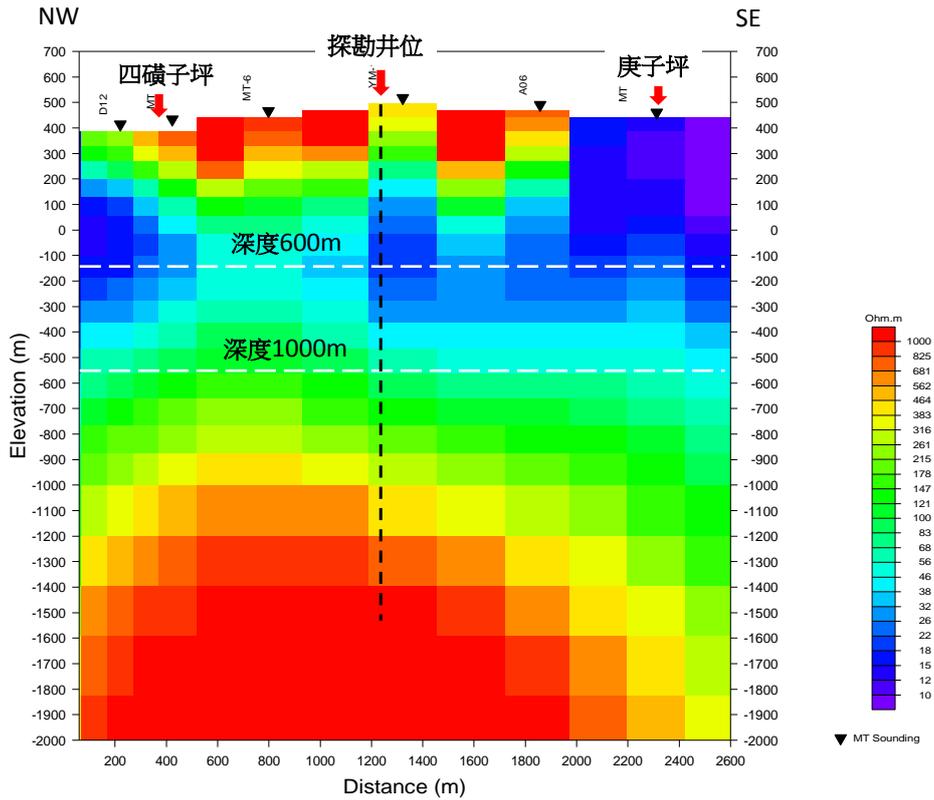


圖 89、四礮子坪至庚子坪地區之二維電阻剖面

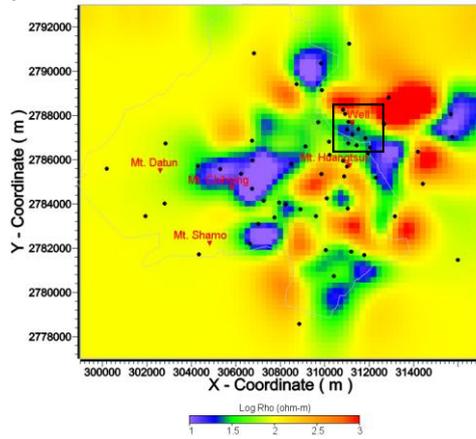
D. 三維電阻模型

整合上年度與本年度調查資料，進行三維逆推處理，以更新三維電阻模型。圖 90至圖 92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)，一般而言，火山型地熱區之地層，因受到火山熱液換質作用所形成的黏土化地層，會呈現相當低的電阻值(一般在 $10 \Omega m$ 左右)，在地熱儲集構造中形成蓋層構造，而將熱能封阻儲集於下方地層，形成高潛能之地熱田。因此，本大屯火山區之低電阻率地層，約可對應為受到熱液作用的換質帶。

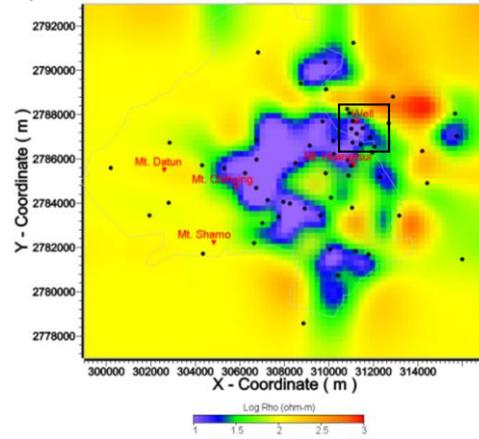
由本年度探測區域與探勘井位置(圖中黑框區域)之電阻分布情形顯示，探測區域之南半部普遍出現低電阻徵兆，此

低電阻約呈西北-東南向延伸，於深度約 300 公尺以下與大屯火山區的大範圍低電阻帶相互連接，顯示為熱液換質帶的分布。約自深度 800 公尺以下，地層電阻變高，研判可能逐漸進入潛在的地熱儲集層。本年度所鑽設的探勘井係位於上述之低電阻帶分布範圍內，就鑽探深度 600 公尺而言，目前仍屬於受熱液影響的換質帶，預估鑽探深度達到 800 公尺以下，可逐漸進入地熱儲集層。

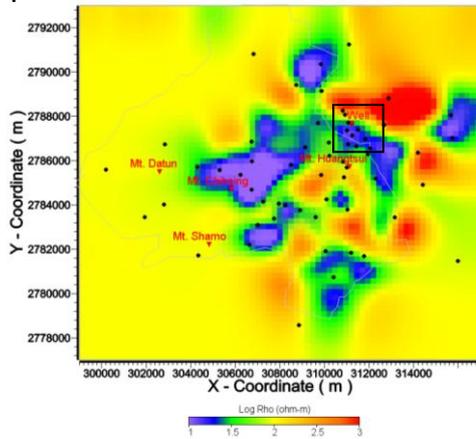
Depth = 0 m



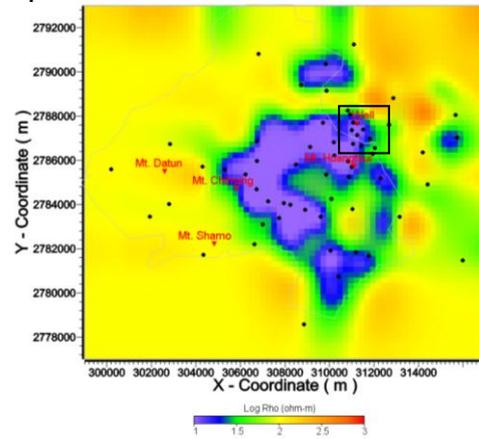
Depth = 300 m



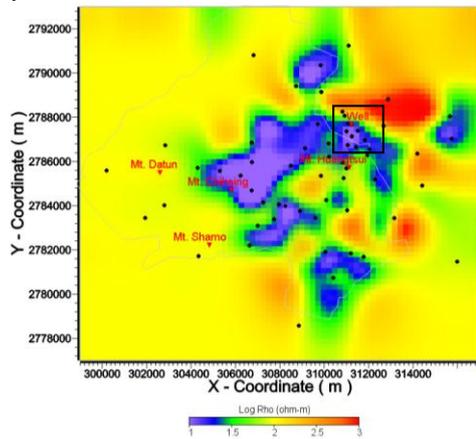
Depth = 100 m



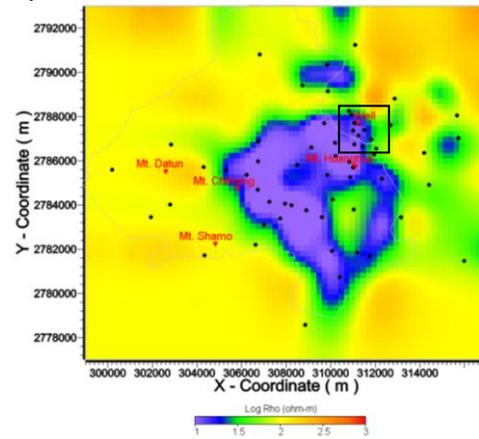
Depth = 400 m



Depth = 200 m



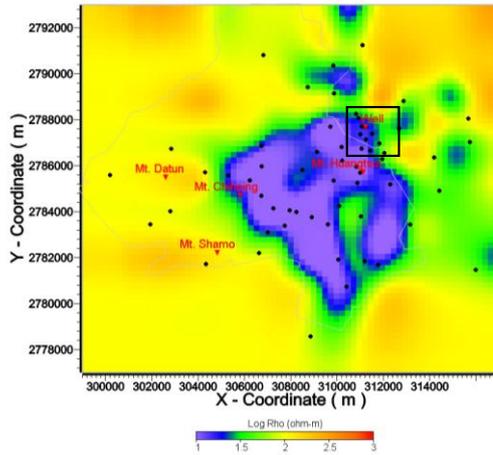
Depth = 500 m



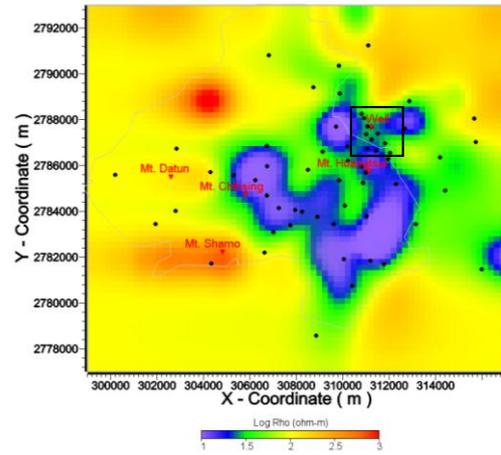
註:黑色點為大地電磁測點，灰色框為國家公園範圍，黑色框為本年度探勘井與探測區域

圖 90、大屯火山區三維電阻模型之等深度切片圖(0-500m)

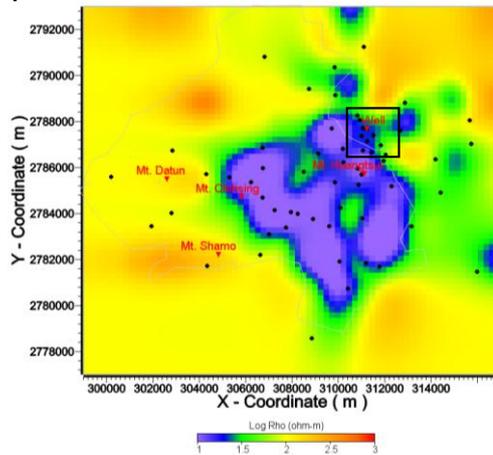
Depth = 600 m



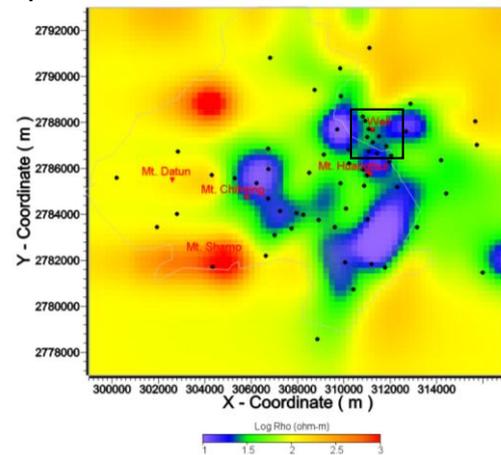
Depth = 900 m



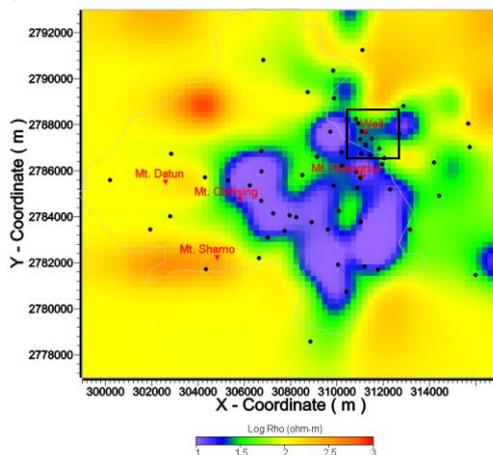
Depth = 700 m



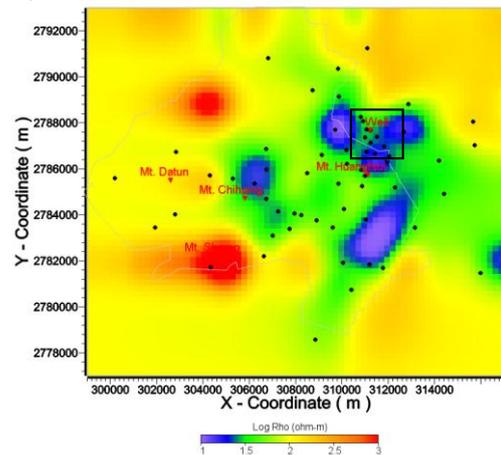
Depth = 1000 m



Depth = 800 m



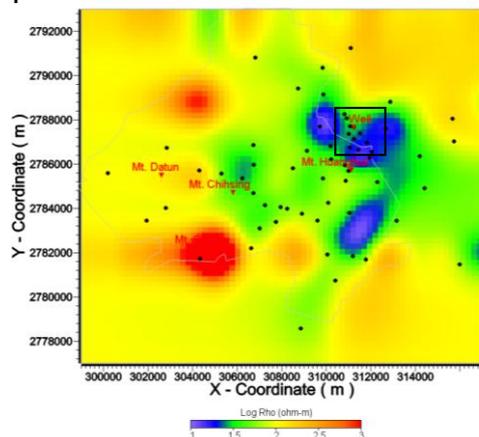
Depth = 1100 m



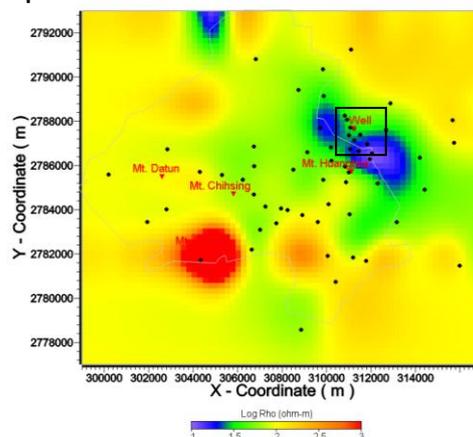
註:黑色點為大地電磁測點，灰色框為國家公園範圍，黑色框為本年度探勘井與探測區域

圖 91、大屯火山區三維電阻模型之等深度切片圖(600-1100m)

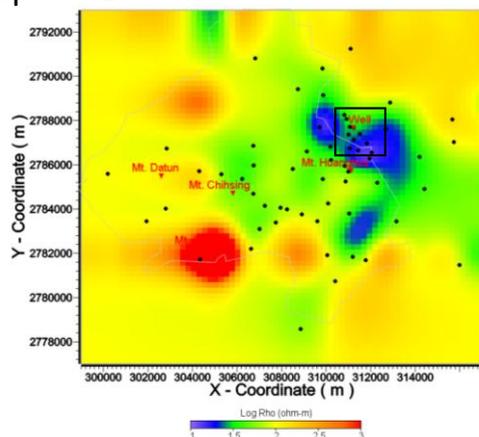
Depth = 1200 m



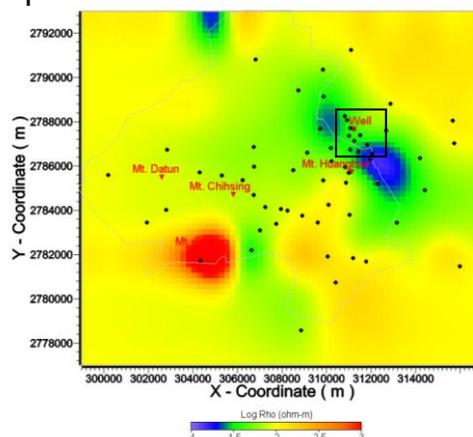
Depth = 1500 m



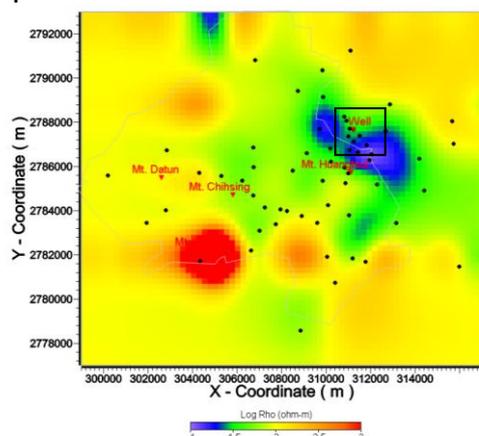
Depth = 1300 m



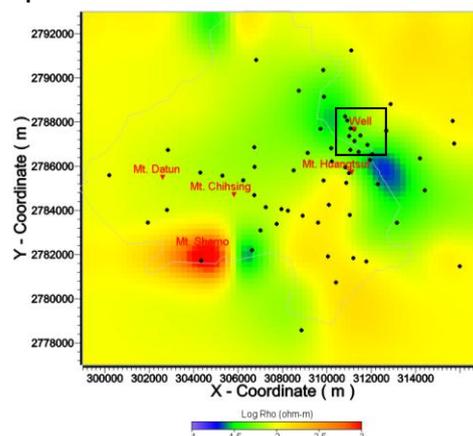
Depth = 1800 m



Depth = 1400 m



Depth = 2000 m



註:黑色點為大地電磁測點，灰色框為國家公園範圍，黑色框為本年度探勘井與探測區域

圖 92、大屯火山區三維電阻模型之等深度切片圖(1200-2000m)

(2) 火山噴氣孔地球化學分析

A. 火山噴氣/土壤氣體成份分析原理與儀器方法

由過去文獻中可以得知大屯火山群的噴氣組成以水氣為主，除水後以 CO_2 為主，其次為硫化物，為一典型低溫火山氣體組成(楊燦堯等，2003)。長久以來，各國火山氣體研究學者利用吉氏採樣瓶(Giggenbach Bottle)來採集火山氣體並分析其氣體成份，當氣體進入吉氏瓶時，鹼液便可以富集火山氣體中的 H_2O 、 CO_2 、 H_2S 、 SO_2 、 HCl 等氣體，使之溶解於鹼液中，而其它不易溶解於鹼液的氣體，如 CH_4 、 N_2 、 H_2 、 He 、 Ar 、 CO 等，則可相對富集於採樣瓶上方部分的空間中。本研究也使用此種採樣與分析方法，並為了區分硫化物中 H_2S 和 SO_2 的各別含量，另外使用碘液來收集火山氣體，藉以得到 H_2S 和 SO_2 的比例。火山噴氣採樣流程如下：

- (A) 在容積約 200 ml 的吉氏採樣瓶中置入調配好的 4N NaOH 溶液 50 ml，將採樣瓶抽成真空後倒置，避免空氣進入污染。
- (B) 在採樣前先測量此時吉氏採樣瓶重量，採樣之後再測量一次重量，便可以得到所採集的標本重量。
- (C) 為避免火山氣體和管線間產生反應，使用約一米長的鈦金屬管或不鏽鋼管直接插入火山噴氣口，在溫度較高、噴氣量較大的地點，連接不鏽鋼的導管需較長，以免溫度過高發生危險。以手動幫浦先將導管內的空氣抽淨，減少空氣污染的比例，待火山氣體充滿導管後，便可打開吉氏瓶閥門收集氣體帶回實驗室分析。
- (D) 在離心管中裝入約 20 ml 0.05M 的碘液，當火山噴氣通過碘液時，便可將 H_2S 和 SO_2 收集下來。將樣品攜回實驗室，以氣相層析儀和離子層析儀和滴定儀分析氣體組成。

先使用氣相層析儀來分析非溶解性氣體，之後再把瓶中鹼液取出。使用的氣相層析儀(GC)型號為 SRI 8610C，其中共有 3 個偵測器；火焰離子化偵測器(FID)與 2 個熱傳導偵測器(TCD)。其中 FID 和 1 個 TCD 偵測器使用 H₂ 作為載流氣體，管柱分別為 MS-13X 和 Hayesep-D，可分析樣品中 CH₄、C₂H₆、CO、CO₂、Ar 和 N₂ 的成分；另 1 個 TCD 偵測器則是使用 Ar 作為載流氣體，管柱為 MS-5A，可用來分析 H₂、He 和 O₂。

當分析完非溶解性氣體後，將吉氏瓶中的鹼液取出。鹼液中主要的溶解氣體成份有 H₂O、CO₂、H₂S、SO₂、SO₃、HCl 等。在鹼液中分次加入 5 ml H₂O₂ 並放置一晚使其可以充分反應，再加熱趕出過多的 H₂O₂。之後將溶液稀釋至 100 ml，以離子層析儀(IC, Metrohm 790 Personal)來分析溶液中的氯離子和硫酸根離子濃度。

鹼液中的 CO₂ 的濃度是使用自動滴定儀來測定，型號為 Metrohm 702 SM Titrion。CO₂ 在鹼液中會溶解形成 CO₃²⁻，因為



當 pH 值介於 3.8-8.3 時，反應以(1)為主，CO₂ 在溶液中以 HCO₃⁻ 存在。而當 pH 值>8.3 時則以(2)反應式為主，CO₂ 在溶液中以 CO₃²⁻ 形式存在。我們使用 0.1N HCl 來滴定 pH=8.3 至 3.8 的 HCO₃⁻ 含量，因此可以推算出溶入鹼液中的 CO₂ 的含量。

B. 火山噴氣/土壤氣體成份採樣位置

(A) 火山氣體採樣位置

針對四礮子坪與煥子坪地熱區，進行火山噴氣氣體採樣，預計每一地熱區採集 7 處測點，如圖 93 所示。氣體成分分析項目包括：Ar、N₂、CO、CH₄、C₂H₆、He、H₂、O₂、HCl、H₂S、SO₂、CO₂ 與 ³He/⁴He。同時記錄噴氣口溫度，詳細點位及拍攝現場照片。目前於五月、六月、八月以及十月進行火山噴氣採集工作，已完成 2 地熱區共 56 個採樣點，座標如表 24。

表 24、四礮子坪與煥子坪採樣點座標紀錄表

| Name | X(twd97) | Y(twd97) | 高程(m) | 溫度 |
|-------|----------|----------|-------|-------|
| SHP-1 | 310753 | 2787558 | 311 | 98.4 |
| SHP-2 | 310773 | 2787532 | 317 | 98.8 |
| SHP-3 | 310820 | 2787486 | 328 | 98.5 |
| SHP-4 | 310834 | 2787377 | 338 | 97.9 |
| SHP-5 | 310853 | 2787354 | 340 | 98.2 |
| SHP-6 | 310861 | 2787305 | 344 | 97.2 |
| SHP-7 | 311002 | 2787241 | 369 | 97.6 |
| GTP-1 | 311871 | 2786797 | 416 | 97.6 |
| GTP-2 | 311817 | 2786624 | 437 | 98.3 |
| GTP-3 | 311750 | 2786640 | 448 | 98.2 |
| GTP-4 | 311771 | 2786594 | 447 | 98.3 |
| GTP-5 | 311757 | 2786564 | 450 | 105.6 |
| GTP-6 | 311820 | 2786558 | 448 | 98.0 |
| GTP-7 | 311818 | 2786506 | 455 | 98.4 |

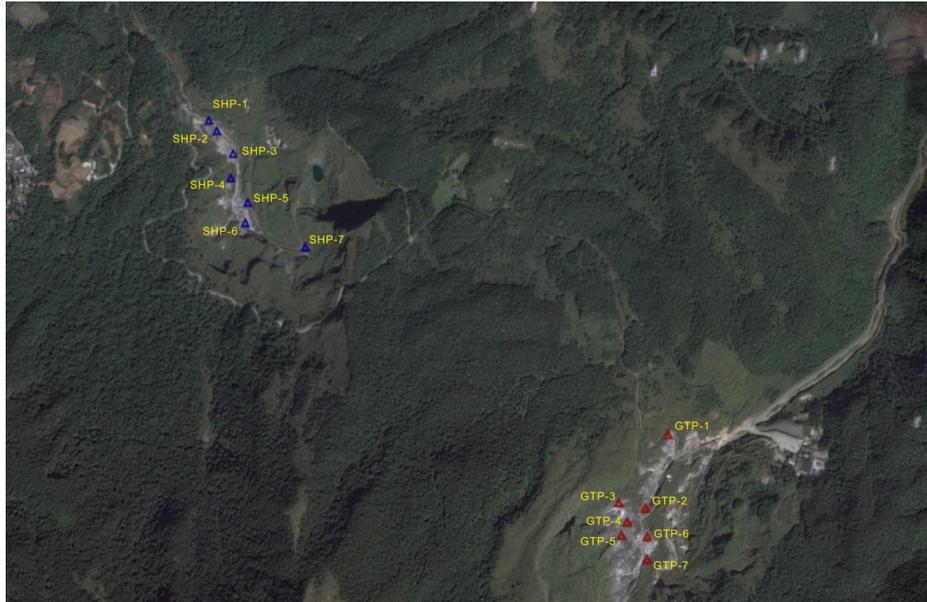


圖 93、四礮子坪及煥子坪採樣點位置圖
SHP：四礮子坪，GTP：煥子坪

(B) 土壤氣體採樣位置

本年度土壤氣體通量與成分量測分析集中於四礮子坪及煥子坪兩噴氣孔及中間區域，共規劃 56 個測點(圖 94、表 25)，每個測點進行：(1)土壤氣體氣袋採集；(2)現地土壤氣體 CO₂ 通量量測；(3)實驗室內土壤氣體成分分析：採取之土壤氣樣攜回至實驗室，分析項目包括：He、N₂、O₂、Ar、CO₂、H₂、H₂S、CO 與 Rn。由於土壤氣體通量深受降雨影響，降雨過後土壤含水量增加，明顯造成土壤氣體逸散通道受阻，故必須於天氣晴朗時方能進行調查。目前亦於四月、六月、八月和十月完成 4 次共 224 個測點。

表 25、土壤氣體採樣點座標紀錄表

| 編號 | X(twd97) | Y(twd97) | 編號 | X(twd97) | Y(twd97) |
|-----|----------|----------|-----|----------|----------|
| Z01 | 310903 | 2787301 | Z29 | 311063 | 2787557 |
| Z02 | 310883 | 2787323 | Z30 | 311457 | 2787304 |
| Z03 | 310852 | 2787390 | Z31 | 311417 | 2787259 |
| Z04 | 310842 | 2787445 | Z32 | 311377 | 2787226 |
| Z05 | 310862 | 2787500 | Z33 | 311337 | 2787170 |
| Z06 | 310811 | 2787544 | Z34 | 311317 | 2787104 |
| Z07 | 310761 | 2787555 | Z35 | 311398 | 2787060 |
| Z08 | 310730 | 2787577 | Z36 | 311478 | 2787093 |
| Z09 | 310700 | 2787599 | Z37 | 311498 | 2787171 |
| Z10 | 310690 | 2787533 | Z38 | 311468 | 2787237 |
| Z11 | 310721 | 2787489 | Z39 | 311417 | 2787171 |
| Z12 | 310751 | 2787444 | Z40 | 311588 | 2787271 |
| Z13 | 310721 | 2787411 | Z41 | 311619 | 2787194 |
| Z14 | 310701 | 2787367 | Z42 | 311579 | 2787127 |
| Z15 | 310641 | 2787322 | Z43 | 311670 | 2787105 |
| Z16 | 310621 | 2787267 | Z44 | 311720 | 2787028 |
| Z17 | 310641 | 2787211 | Z45 | 311781 | 2786940 |
| Z18 | 310722 | 2787167 | Z46 | 311842 | 2786973 |
| Z19 | 310803 | 2787123 | Z47 | 311802 | 2786851 |
| Z20 | 310884 | 2787102 | Z48 | 311802 | 2786751 |
| Z21 | 311004 | 2787113 | Z49 | 311893 | 2786840 |
| Z22 | 311105 | 2787158 | Z50 | 311943 | 2786774 |
| Z23 | 311206 | 2787214 | Z51 | 312024 | 2786808 |
| Z24 | 311266 | 2787258 | Z52 | 312034 | 2786741 |
| Z25 | 311356 | 2787347 | Z53 | 311984 | 2786664 |
| Z26 | 311255 | 2787380 | Z54 | 311944 | 2786597 |
| Z27 | 311174 | 2787435 | Z55 | 311884 | 2786541 |
| Z28 | 311114 | 2787501 | Z56 | 311833 | 2786552 |



圖 94、土壤氣體通量量測及氣體採集點

C. 分析結果與討論

(A) 火山噴氣

四礮子坪及煨子坪火山噴氣成分之分析結果顯示如表所示。整體來說噴氣組成以水氣為主，而噴氣除水後成分則以 CO_2 為主(詳附件四)。從圖 95 來看，大多數的標本都落在島弧型態氣體組成成分和空氣的混合區間。整體上來說，煨子坪的標本比四礮子坪的標本有較多非空氣來源的 N_2 ，意謂著可能在煨子坪地區有較多與隱沒相關的沉積物質加入系統之中，提供了額外的 N_2 來源。15/06 SHP-5 的落點源離了大多數標本，這是因為標本中含有較多的 He。

兩個地熱區的表現模式相近，皆以水氣為主；除水後以 CO_2 為主要成分，其次為硫化物，以 H_2S 為主；另外還

有 N_2 與 CH_4 。由於 HCl 極容易受到水的影響，在採樣過程中便容易造成 HCl 逸失或富集，所以變動較大而無規律性，但是兩處地熱區都有出現 HCl 富集的點位，特別是點位 GTP-5，同時也是採樣區中擁有最高溫度的點位。圖 96 是利用 CO_2 、總硫量以及 HCl 作圖。圖中可以把氣體初步分為岩漿性來源及熱水來源兩種。一般而言，若是岩漿來源的氣體會較多的硫化物，而熱水來源則幾乎以二氧化碳為主，硫化物相較稀少。HCl 是另一相關指示物，除了 GTP-5 因具有較高濃度的 HCl 造成偏離圖形之外，其他的標本都沿 S Total / CO_2 座標軸移動，並可以大略分作兩群。其中 SHP-5、7 以及 GTP-1、3、7 都具有較強烈的岩漿性氣體來源的訊號。其中 SHP-7 是兩個地區中本次氦同位素數值最高的一點，達到 6.82 Ra。SHP-5 採樣點則在六月採樣時有較高濃度的 He，雖然沒有作氦同位素分析，可以初步判斷此處亦相當活躍。

HCl 富集的原因一般認為有兩者，一是因為圍岩和熱水交換作用生成，通常發生在溫度較高的地區。另一個來源則代表為原始岩漿的成分。由於這點位(GTP-5)的氦同位素的分析結果顯示為 6.74Ra (見表 26) 顯示底下的岩漿訊號較為強烈。整體來說，GTP-5 是調查區內最具有岩漿源特徵的點位，可能仍有岩漿庫在其底下或是通道較為順暢。

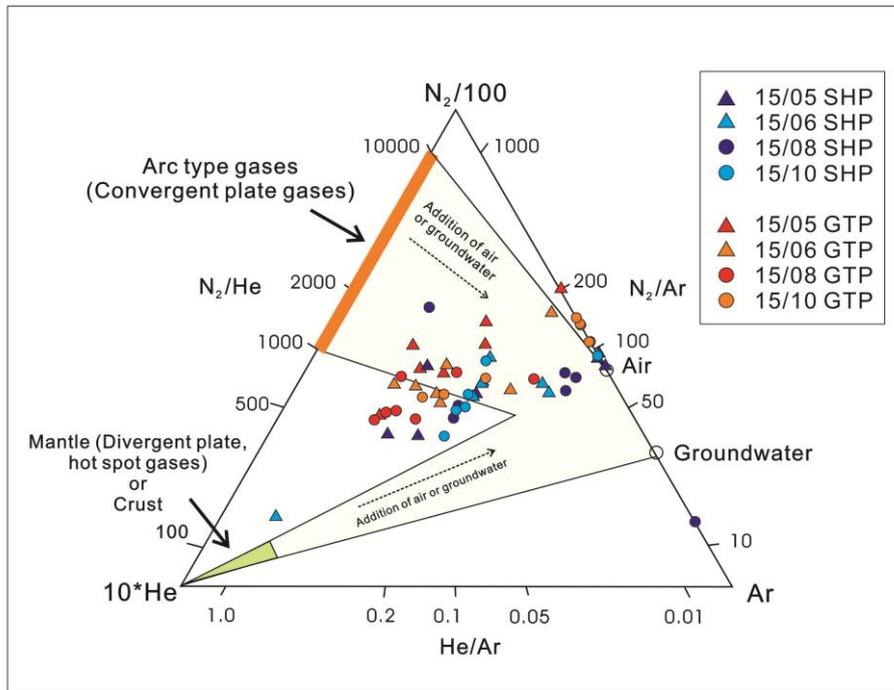


圖 95、氮氣、氦氣及氬氣之三成份比例圖

圖中可見大多數標本主要落在島弧型態氣體組成成分和空氣的混合區間(from Giggenbach, 1996)，少部分標本具有較高的氦氣

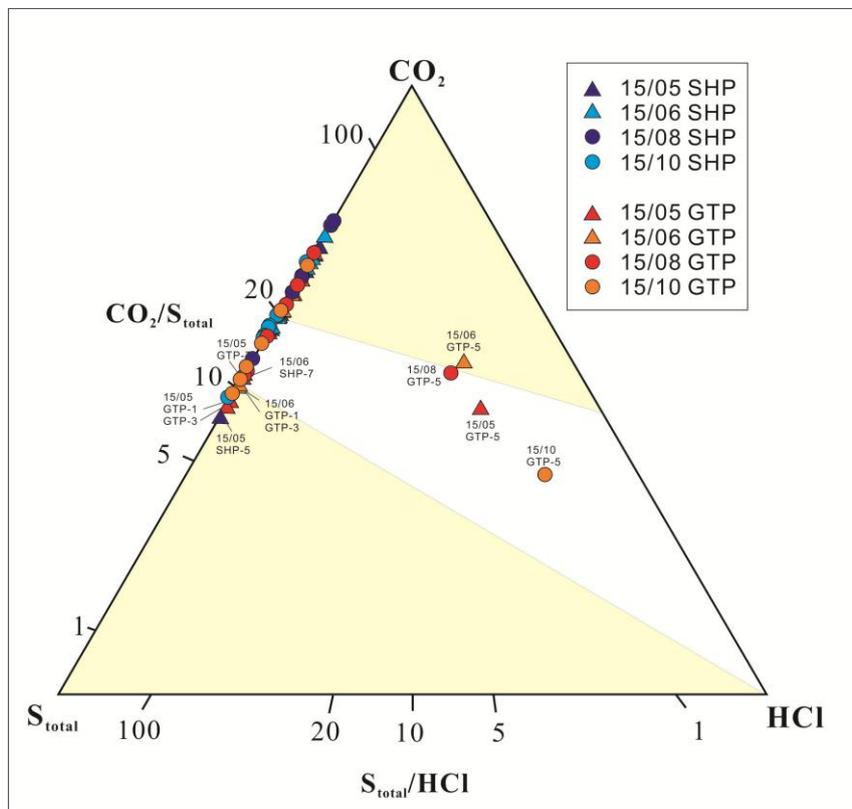


圖 96、噴氣氣體成份來源分布圖

四磺子坪和煥子坪的氣體可粗分為兩群(from Giggenbach, 1996)。

表 26：火山噴氣的氦同位素值分析結果。

| 標本位置/編號 | $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ | $^3\text{He}/^4\text{He}$ | Ra | $(\text{Ra})_c$ | $\pm 1\sigma$ | [He]ppm | 備註 |
|------------|------------------------------|---------------------------|------|-----------------|---------------|---------|------|
| 1505-GTP-4 | 54.925 | 8.98E-06 | 6.46 | 6.49 | 0.12 | 11.45 | |
| 1505-GTP-5 | 0.362 | 2.15E-06 | 1.55 | 5.64 | 0.14 | 7.64 | 空氣混染 |
| 1505-GTP-7 | 36.968 | 6.86E-06 | 6.36 | 4.97 | 0.11 | 11.04 | |
| 1506-GTP-4 | 0.864 | 5.01E-06 | 3.6 | 5.12 | 0.19 | 8.22 | |
| 1506-GTP-5 | 71.281 | 9.34E-06 | 6.72 | 6.74 | 0.13 | 15.24 | |
| 1508-GTP-5 | 0.343 | 1.39E-06 | 1.00 | 0.96 | 0.02 | 5.98 | 空氣混染 |
| 1508-GTP-6 | 36.968 | 6.86E-06 | 1.02 | 4.97 | 0.11 | 11.04 | |
| 1508-GTP-6 | 36.968 | 6.86E-06 | 1.13 | 4.97 | 0.11 | 11.04 | 重作 |
| 1510-GTP-4 | 17.558 | 8.66E-06 | 6.23 | 6.32 | 0.10 | 16.41 | |
| 1510-GTP-5 | 54.015 | 9.00E-06 | 6.47 | 6.51 | 0.11 | 16.56 | |
| | | | | | | | |
| 1505-SHP-1 | 36.968 | 6.86E-06 | 5.74 | 4.97 | 0.11 | 11.04 | |
| 1505-SHP-7 | 83.897 | 9.45E-06 | 6.80 | 6.82 | 0.10 | 8.74 | |
| 1506-SHP-1 | 4.332 | 5.83E-06 | 4.19 | 4.45 | 0.28 | 8.08 | |
| 1506-SHP-4 | 36.968 | 6.86E-06 | 5.54 | 4.97 | 0.11 | 11.04 | |
| 1508-SHP-3 | 33.567 | 7.88E-06 | 5.67 | 5.72 | 0.09 | 10.12 | |
| 1508-SHP-5 | 13.054 | 8.92E-06 | 6.42 | 6.56 | 0.10 | 11.08 | |
| 1510-SHP-2 | 2.636 | 7.81E-06 | 5.62 | 6.25 | 0.13 | 7.28 | |
| 1510-SHP-3 | 1.899 | 8.57E-06 | 6.17 | 7.21 | 0.16 | 6.47 | |

過去前人曾研究大屯火山地區的碳同位素資料，顯示本區的 CO_2 主要為岩漿來源(謝佩珊，2000)，由於 CO_2 不易發生次級反應(secondary processes)，因此常以各種氣體比例，例如： H_2/CO_2 、 HCl/CO_2 和 St/CO_2 等比值，來討論火山氣體來源。 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 是用來看地函來源相當重要的一個指標，過去前人曾研究大屯火山區的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 顯示噴氣中有 60 % 以上是地函來源(楊燦堯等，2003)。本研究採集火山噴氣之 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 約在 5.1-6.8 倍的大氣比值 $((\text{Ra})_c)$ 之間，呈現出明顯的地函來源訊號，甚至於跟園區

內具有最高氦同位素值的大油坑地區類似(6.82 Ra)。但與氣樣中 He 濃度沒有特別的正相關。表 26 列出已完成之火山噴氣的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 數值。

從四礮子坪及煥子坪的高氦同位素，或許可以提供我們對於整個大屯火山地區的”岩漿庫”分布有另一個看法。根據經驗顯示氦同位值會由岩漿中心往四周遞減。楊燦堯等人(2003)根據大屯火山地區全區的氦同位素值分布發現大油坑地區有全區最高的氦同位素值，並且”大致上”沿山腳斷層往兩旁遞減，判斷岩漿庫最可能存在於大油坑底下。然而也發現了一些不相符的地方，例如馬槽的氦同位素值突減，形成氦同位素值在線性分布上的”陷落”，因而思考大屯火山地區的岩漿為一小包一小包的不連續分布。若是以大油坑為中心點，四礮子坪及煥子坪位於大屯火山地區的較外圍部分，然而卻有如此高的氦同位素值，或許可以做為大屯火山地區岩漿為不連續分布的證據之一。當然這樣的說法仍需要其他的證據來佐證，例如微震資料等。不過就目前在大屯火山地區的微震分布看來，在這兩個地熱區極少有微震發生，因此這樣高的氦同位素值也可僅代表底下通道較其他地方順暢。不過我們也不能排除岩漿可能沿通道上湧的可能，在發展此區的地熱發電時仍須對未來的火山活動抱持高度的注意。

另一個注意的地方是 8 月份的煥子坪的氦同位素值的變化。氦同位素值突然降到接近空氣值，然而看氦氖比 ($^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$) 以及氣體成分組成都顯示標本本身並沒有受到

空氣混染，再經由與四礮子坪標本交叉分析以及標本重新分析，初步排除是儀器問題造成，10月份的標本則又恢復正常。在8月採樣前的重大環境變化因素僅有颱風事件(蘇迪勒)。目前我們仍無法確定是何種機制造成這樣的變化。

(B)土壤氣體通量與成份之分析結果與討論

從四礮子坪到焮子坪地熱區間的土壤氣逸氣結果，四次普查 CO₂ 平均通量在 7~15 g/m²/day 之間(詳附件四)，相較於前人研究之西南部斷層平均通量為低。8月的土壤氣通量可能颱風影響，無論是最高值或是平均值皆低於其他三次調查結果。甲烷通量偏低，但有部分點位的土壤氣出現較高的甲烷含量，可能是受鄰近火山噴氣區域影響，其中八月份和四月份普查結果的氬氣濃度較低，可能受到降雨的影響。

(3)地質構造分析

本探勘井場址位金山區頂中股段硫磺子坪小段 148 地號，地形上屬於大屯火山區火山熔岩流所構成平台之邊緣，海拔高程 471 公尺，位於磺嘴山北坡麓山帶，西側緊鄰四磺子坪火山爆裂口，東西兩側不遠處分別有煖子坪及八煙火山爆裂口。

本區位於臺灣西部褶皺衝斷帶上，主要構造線包括斷層線及構造軸等皆呈東北或東北東方向，有兩條主要構造線為金山斷層及山腳斷層，另在兩大逆斷層間有許多規模較小的平移斷層、重力斷層或構造線分布於其中(圖 97)。各構造線說明如下：

A. 金山斷層

金山斷層為金山地區內之主要斷層構造，約呈東北走向。本斷層在金山西北之磺溪河谷內穿過，全部為金山三角洲之沖積層所掩蓋。東北延伸至大屯火山群，斷層之蹤跡不復可尋。此斷層更向西南可能延經臺北盆地之西緣而與新莊斷層相接。本斷層於金山地區，斷線東南側為五指山層；西北側為南莊層之底部，斷層落差大達三千公尺以上。本斷層推斷可能為逆斷層，斷面傾向東南，接近地面處傾角甚大(黃鑑水，2005)。金山斷層分布探勘井位置西北側約 1.5 公里處。

中央地質調查所於民國 93 年於金山三界橋地區完成 1 孔地質鑽探，鑽探總深度為 642 公尺，除淺部為現代沖積層外，多為安山岩質之火山凝灰角礫岩，底部約在 551 公尺至 642 公尺的深度範圍，鑽遇第三紀基盤岩層之五指山層，以此地層的層位研判，金山斷層之構造運動為五指山層逆衝於中新世地層之上，但金山三界橋地區的鑽探顯示五指山層在地下 551 公尺才出現，因此推斷金山地區應歷經一次巨大的構造沈陷事件，是否與山腳斷層作用

有關，尚待後續更多的調查資料進行分析(盧詩丁等人，2004)。

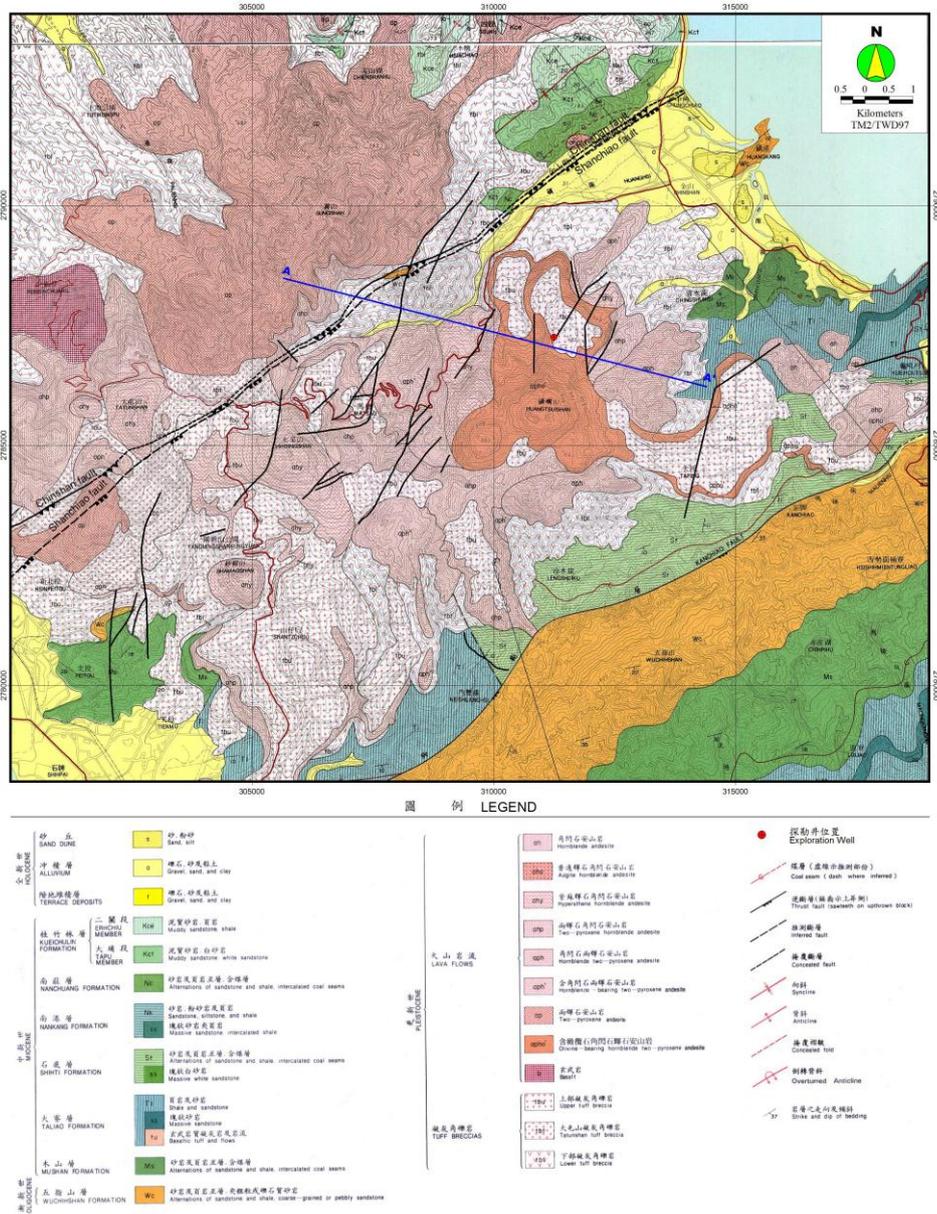


圖 97、探勘井所在區域地質圖

B. 山腳斷層

本斷層為正移斷層，最近一次活動時間，可能在距今約 1 萬年以

前，暫列為第二類活動斷層。呈北北東走向，可以分為 2 段：南段自新北市樹林向北延伸至臺北市北投區，長約 13 公里；北段由北投向北延伸至新北市金山，長約 21 公里；另依中央地質調查所活動斷層研究中指出，南段為第四紀沖積層所掩覆，北段由大屯山火山岩所掩覆，斷層延伸總長度約 40 公里(邱俊穎等人，2008)。

依近期的調查結果，山腳斷層的北段，在大屯火山區，斷層約沿著大屯山與七星山交界的鞍部；在金山地區，斷層約沿著山地與平原的交界；鑽探顯示斷層北段兩側的基盤落差超過 600 公尺。這些基盤的落差可能是山腳斷層的正移斷層作用所造成的，而斷距似乎有由南向北增加的趨勢。

由大地測量結果顯示，山腳斷層兩側並未有明顯的水平位移速度變化，但斷層的上盤有明顯的下陷趨勢；在大屯火山地區，由地形特徵與鑽井結果顯示，下陷區呈現東北走向的槽狀，寬度約數百公尺至 2 公里，因此山腳斷層的上盤可能有另一斷層存在，但仍需後續調查加以驗證(林啟文等人，2007)。山腳斷層平行於金山斷層，分布金山斷層南側，距離探勘井位置約 2.5 公里處。

C. 平移或重力斷層

在上述的兩大逆斷層間之地塊受應力作用，造成許多規模較小的斷層，包含許多平移斷層、重力(正)斷層等小構造，與東北—西南向之裂隙與溫泉活動有密切關係，此為提供地下熱液上升至地表之通路。根據經濟部礦研所 1970 年大屯火山群地熱探勘工作報告之三內容指出，自七星山至金山沖積平原一帶火山岩以下之基盤曾普遍發生陷落，陷落帶長 10 公里以上，寬約 2 公里，其內存在最老之熔岩，但似無下部凝灰角礫岩分布，推測陷落可能發生於火山活動之初期。陷落帶內，在七星山之東南側與西北側及磺

嘴山附近，斷層之分布特別密集(圖 98、圖 99)，熱水換質現象也特別顯著，且溫泉、噴氣孔、與熱水換質作用大都沿著斷層分布，推測這些斷裂帶，可能與大屯山地區地熱與溫泉形成有密切關係。

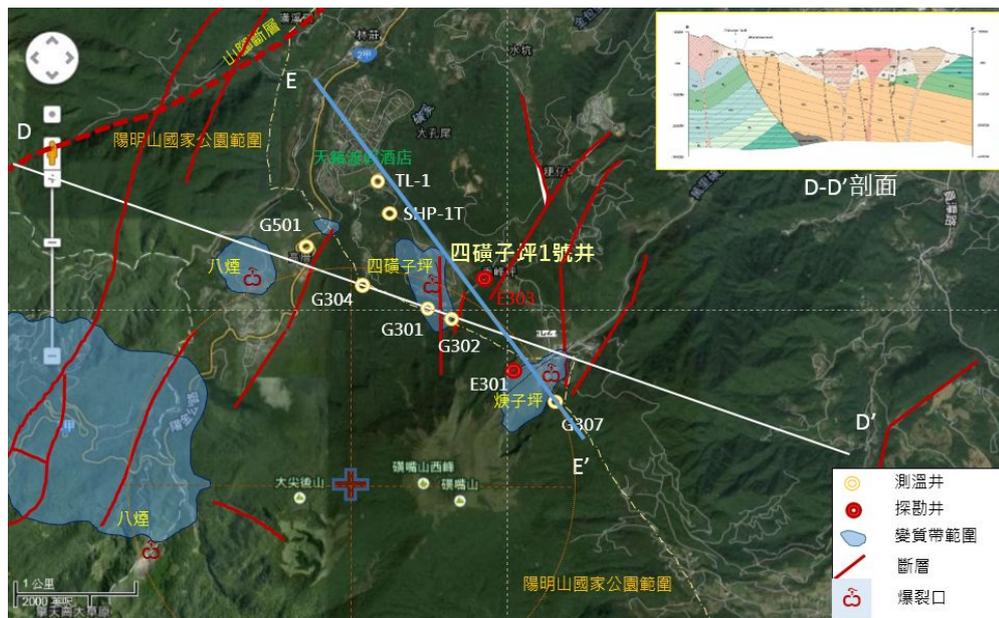


圖 98、四磺子坪探勘井與斷層之關係位置
(斷層資料摘自大屯火山群地熱探勘工作報告之三)

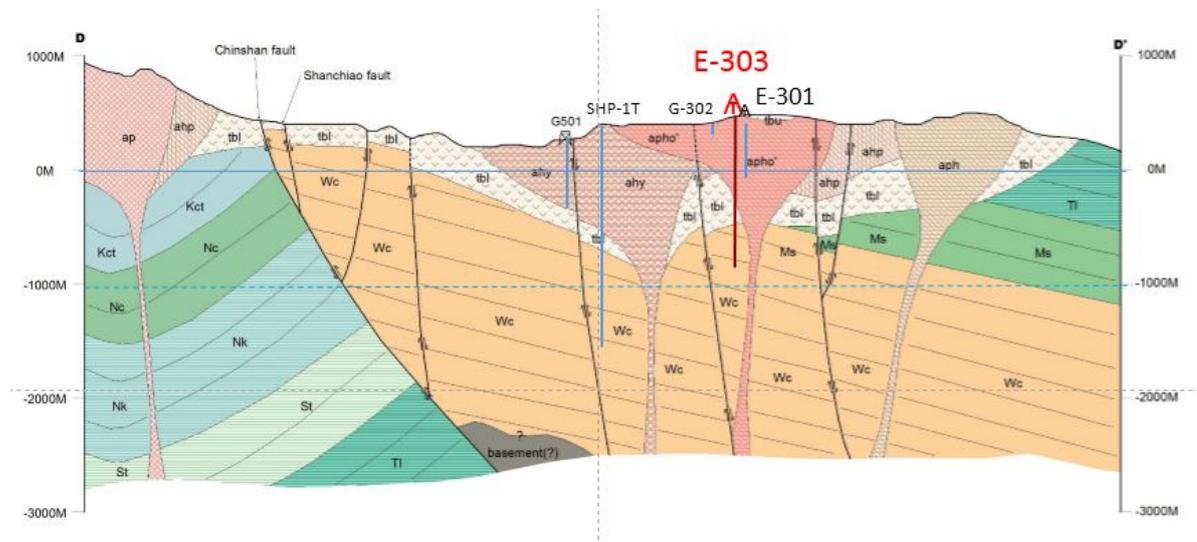


圖 99、上圖 DD'地質剖面剖面標示探勘井相對位置圖

中央研究院詹瑜璋經 LiDAR DTM 數值高程模型判釋後，顯示大屯火山群中存在許多線形構造，這些線形構造反應了大屯火山群地區複雜的斷層與節理系統。根據去除植生的 LiDAR DTM，描繪出保存良好的地形崖，這些地形崖的特點是錯移較為平坦的地形面，包括熔岩平臺，及坡度較緩的坡面等，可能為一次重大地震所造成的地表斷層。(圖 100)

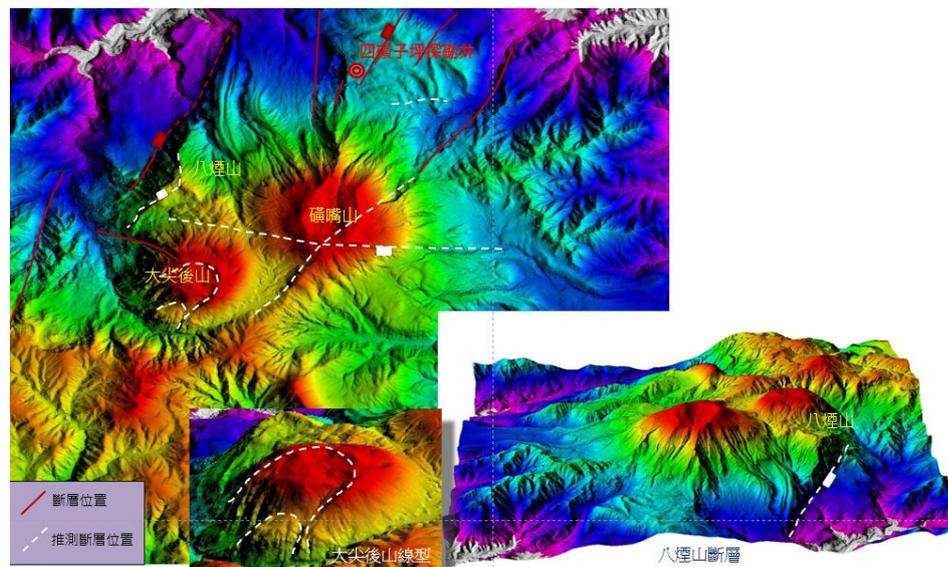


圖 100、利用 LiDAR 資料疊套磺嘴山地區斷層資料判釋結果

1.2.2.2 微震觀測網設置及監測

微震觀測網設置及監測對地熱場址潛能評估工作，主要透過對大屯火山地熱區微震監測，據以解析地下熱液、氣活動區域，並透過逆推技術，將地下空間之裂隙密度、特性及力學參數進行三維成像，提供地熱潛能及生產井規劃之重要參數。

由於震波在發生及傳遞時，不管震波訊號、發震時間及波相等，都帶有地層訊息的優勢。如岩層內的天然應力改變所造成的地層錯動，或因回注而產生的岩層破裂，都會釋放出震動訊號，自岩層破裂處(震

源，epicenter)向四週傳播。「微震監測技術」(micro seismic monitoring)主要是透過適當場域觀測站之布置，連續記錄因壓裂(Hydraulic fracturing)或自然產生之微小震動訊號，藉由定位技術便可掌握這些震源的空間分佈，而透過雙差分定位引入速度逆推成像及剪力波分離技術，可解析區域地質構造、目標岩體重要參數，如速度分布、裂隙密度或方向不均性，甚至孔隙含水徵兆。微震技術運用在地熱領域時，可用以瞭解注儲區域內岩體的結構應力異常帶或裂隙系統等特性；在地熱電廠生產階段，則可用以監控是否因回注操作，引發岩層破裂及其地震叢集分佈，做為地熱田管理之參考。

微震觀測及訊號分析技術的研發，在近年的能源領域應用相當廣泛，如二氧化碳封存、地熱技術或是頁岩氣生產所需儲集層之重要物理參數成像。無論是場址評估或是電廠操作階段，均是關鍵技術之一。而增強型地熱系統(Enhance Geothermal System, EGS)於深部地層之灌注工作流體所引發的地震(induced seismicity)是目前最受關注的議題，在瑞士 Basel 的 EGS 地熱計畫和加州 Geysers 電廠因此而中止或檢討誘發地震技術問題。相同的液裂行為引發地震在頁岩氣、CCS 及地熱生產回注時已獲證實並成為最大隱憂。因此近場微震觀測將成為營運風險技術重要基礎及發展技術項目。EGS 商轉回注操作與營運管理所需之「誘發地震風險評估技術(Probabilistic Seismic Risk Assessment, PSRS)」能在未來透過微震觀測技術的累積建立及數值驗證，期能達到 EGS 商業電廠營運時，能具備誘發地震預測及控管能力。

本項工作技術發展目的主要希望透過微地震監測與資料解析，探討岩體受擾動(如高液壓破裂、構造活動或坑道開挖)時，可能材料因達應力破壞條件而造成岩體內裂隙發育的情況所產生之微震序列及發展。當岩體受擾動時，常因此伴隨次生裂隙，這些裂隙發展行為往往持續直到岩體達平衡才停止，而隨裂隙發展時會在破裂面上產生微震，震央的位置及時序即代表破裂面的發展型態，震波波相中也隱藏

著破裂面的開裂機制及位態信息，因此我們可透過微震網的觀測，以數學運算得到精確的裂隙開裂時間及位置。此項工作需要精度十分高的定位運算技術，才有辦法對裂隙發育線型進行解析。tomoDD 定位及速度成像運算，主要立論於雙差分地震定位法(hypoDD)之基礎上，並引入三維速度模型與波線理論進行疊代運算，解算結果除了使地震叢集中每一地震事件之相對位置更精確之外，同時亦提高絕對位置的精確度(Thurber and Eberhart-Phillips, 1999; Zhang, 2003)。後續將以 tomoDD 進行資料分析之基礎。

(1) 潛能區範圍與土地分析

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，本年度整合大屯火山觀測中心(Taiwan Volcano Observatory - Tatun, TVO; 46stations)、國家地震中心(NCREE, 13 Stations)及工研院(20 Stations)之微震網共 79 站，大幅提升觀測區域及密度。針對研究區域鄰近範圍共同進行解析。希望藉由微震監測系統的建置與彼此資料庫的共享，能夠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，並進行速度成像提供岩體物理特性之資訊。微震網設置儀器型式如圖 101所示。微震網測站座標及型號資料如表 27，測站儀器均為靈敏度極高之寬頻地震儀。站台分布如圖 102所標示位置，已涵蓋金山斷層至崁腳斷層周邊之大屯火山系統。

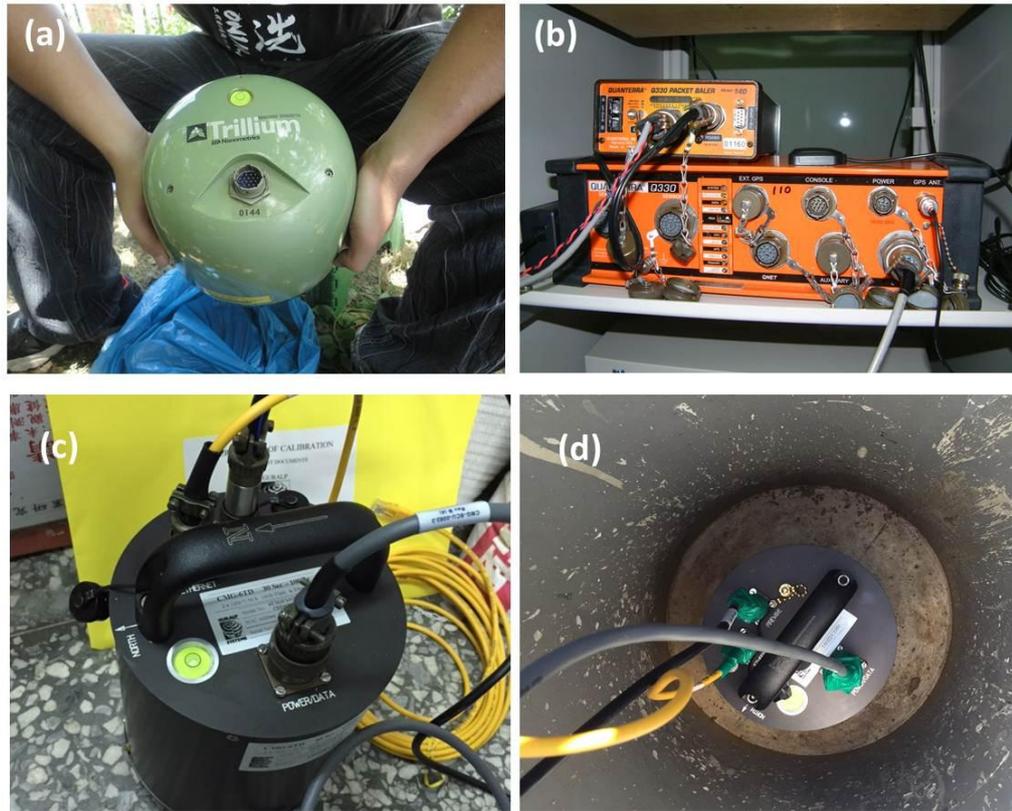


圖 101、本計畫使用之寬頻地震儀

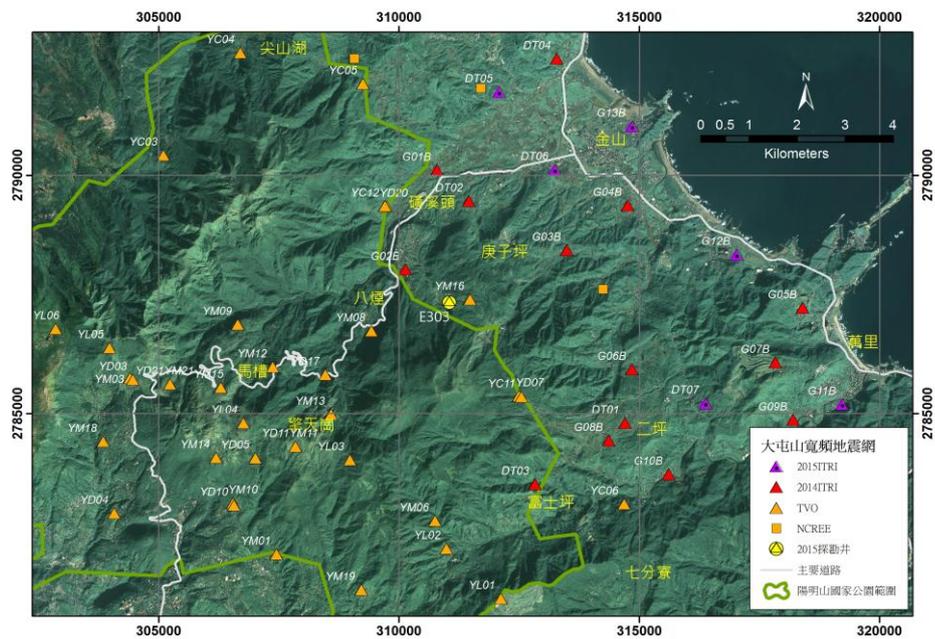


圖 102、大屯火山微震觀測網測站分布與加密觀測區

本網 2015 年整合 NCREE、TVO 及 ITRI 新設站之微震網共 79 站進行地熱活動微震觀測；本計畫設置站台如紫色及紅色三角形標號所標示位置，主要分布於礮嘴山及國家公園東邊界以東至金山萬里海岸。ITRI 微震網於 2013/04/12 開始觀測。

表 27、ITRI 微震網測站座標儀器資料表

| 測站名稱 | 經度(WGS84) | 緯度(WGS84) | 高程(m) | 歸屬單位 | 儀器型號 |
|------|------------|-----------|---------|---------|--------------------------|
| YM01 | 121.569850 | 25.145780 | 459 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YM03 | 121.539700 | 25.179300 | 674 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YM06 | 121.602560 | 25.151980 | 431 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YM08 | 121.589590 | 25.188020 | 329 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YM09 | 121.562043 | 25.189390 | 523 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YM10 | 121.560868 | 25.155507 | 629 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YM11 | 121.573800 | 25.166200 | 770 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YM12 | 121.569230 | 25.181302 | 547 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YM13 | 121.581183 | 25.172267 | 564 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YM14 | 121.557390 | 25.164095 | 876 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YM15 | 121.558485 | 25.177438 | 726 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YM16 | 121.610039 | 25.193910 | 480 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YM18 | 121.534100 | 25.167290 | 615 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YM19 | 121.587280 | 25.138950 | 494 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YM21 | 121.547950 | 25.178130 | 795 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YD03 | 121.540291 | 25.178965 | 704-5.2 | IES-TVO | CMG-DM24S3-EAM CMG-3ESPC |
| YD04 | 121.536360 | 25.153670 | 373-10 | IES-TVO | CMG-DM24S3-EAM CMG-3ESPC |
| YD05 | 121.565520 | 25.164040 | 727-6.4 | IES-TVO | CMG-DM24S3-EAM CMG-3ESPC |
| YD07 | 121.620010 | 25.175570 | 442-11 | IES-TVO | CMG-DM24S3-EAM CMG-3ESPC |
| YD11 | 121.573800 | 25.166200 | 746-11 | IES-TVO | CMG-DM24S3-EAM CMG-3ESPC |
| YD17 | 121.580100 | 25.179800 | 406-11 | IES-TVO | CMG-DM24S3-EAM CMG-3ESPC |
| YD20 | 121.592825 | 25.211686 | 128-11 | IES-TVO | CMG-DM24S3-EAM CMG-3ESPC |
| YD10 | 121.561100 | 25.155100 | 654-100 | IES-TVO | Q330S+ CMG-3TB |
| YD21 | 121.547950 | 25.178130 | 795-100 | IES-TVO | Q330S+ CMG-3TB |
| YC01 | 121.487300 | 25.155622 | 255 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YC02 | 121.481918 | 25.178657 | 245 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YC03 | 121.546828 | 25.221548 | 632 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YC04 | 121.562758 | 25.240893 | 321 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YC05 | 121.588097 | 25.234935 | 301 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YC06 | 121.641668 | 25.155030 | 235 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YC07 | 121.608733 | 25.118970 | 411 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YC08 | 121.566147 | 25.105403 | 294 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YC09 | 121.546128 | 25.118357 | 129 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |

表 27(續)、ITRI 微震網測站座標儀器資料表

| 測站名稱 | 經度(WGS84) | 緯度(WGS84) | 高程(m) | 歸屬單位 | 儀器型號 |
|------|------------|-----------|-------|---------|---------------------|
| YC10 | 121.518243 | 25.135480 | 170 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YC11 | 121.620518 | 25.175445 | 449 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YC12 | 121.592558 | 25.211720 | 130 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YC13 | 121.601598 | 25.110140 | 410 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YC14 | 121.476883 | 25.158507 | 261 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YL01 | 121.616150 | 25.137200 | 665 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YL02 | 121.604890 | 25.146680 | 417 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YL03 | 121.585100 | 25.163580 | 783 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YL04 | 121.563130 | 25.170670 | 780 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YL05 | 121.535520 | 25.185070 | 985 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YL06 | 121.524400 | 25.188700 | 814 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YL07 | 121.514830 | 25.200860 | 389 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| YL08 | 121.495630 | 25.210720 | 241 | IES-TVO | Guralp CMG-6TD |
| DT01 | 121.641910 | 25.170350 | 318 | ITRI | Guralp CMG-6TD |
| DT02 | 121.609840 | 25.212580 | 85 | ITRI | Guralp CMG-6TD |
| DT03 | 121.623270 | 25.158790 | 318 | ITRI | Guralp CMG-6TD |
| DT04 | 121.628150 | 25.239530 | 51 | ITRI | Guralp CMG-6TD |
| DT05 | 121.616100 | 25.233260 | 120 | ITRI | Guralp CMG-6TD |
| DT06 | 121.627520 | 25.218460 | 0 | ITRI | Guralp CMG-6TD |
| DT07 | 121.658400 | 25.174040 | 177 | ITRI | Guralp CMG-6TD |
| G01B | 121.603330 | 25.218470 | 145 | ITRI | KI Q330 + Trillium |
| G02B | 121.596740 | 25.199690 | 319 | ITRI | KI Q330S + Trillium |
| G03B | 121.630300 | 25.203230 | 152 | ITRI | Q330S + Trillium |
| G04B | 121.642650 | 25.211620 | 23 | ITRI | KI Q330 + Trillium |
| G05B | 121.678700 | 25.192060 | 88 | ITRI | KI Q330 + Trillium |
| G06B | 121.643430 | 25.180520 | 220 | ITRI | Q330S + Trillium |
| G07B | 121.673030 | 25.181680 | 402 | ITRI | KI Q330 + Trillium |
| G08B | 121.638550 | 25.167050 | 363 | ITRI | Q330S + Trillium |
| G09B | 121.676600 | 25.170790 | 94 | ITRI | KI Q330 + Trillium |
| G10B | 121.650880 | 25.160610 | 129 | ITRI | KI Q330 + Trillium |
| G11B | 121.686690 | 25.173680 | 60 | ITRI | KI Q330 + Trillium |
| G12B | 121.665000 | 25.202190 | 22 | ITRI | KI Q330 + Trillium |
| G13B | 121.643530 | 25.226630 | 26 | ITRI | Guralp CMG-6TD |

本工作研究範圍包括陽明山國家公園及東側金山萬里一帶，涵蓋大屯火山地熱活動區。本年度除整合國震中心及 TVO 地震站外，在研究區波線涵蓋較低之區域，亦新增 5 處地震站，以增加觀測密度及解析能力，圖 102、圖 103 為 DT05 設置及訊號測試觀測情況。

本項工作紀錄之資料為研究區之連續觀測資料，資料分析整合 2013-2015 年之資料以 Antelope 地震資料處理系統彙整處理。經與前期觀測成果比較，本年度大幅提升觀測密度，完整整合各地震網所得地震目錄結果，顯示大屯山地震網，能獲得較完整性之區域地震活動性觀測，無論規模較大及較小之微震，均能確實記錄。詳細觀測微震成果如圖 104 所示，完整的資料累積，除大屯火山成像分析之外，在誘發地震研究，具有重要意義。



圖 103、天龍宮站(DT05)設置完成及訊號測試情況

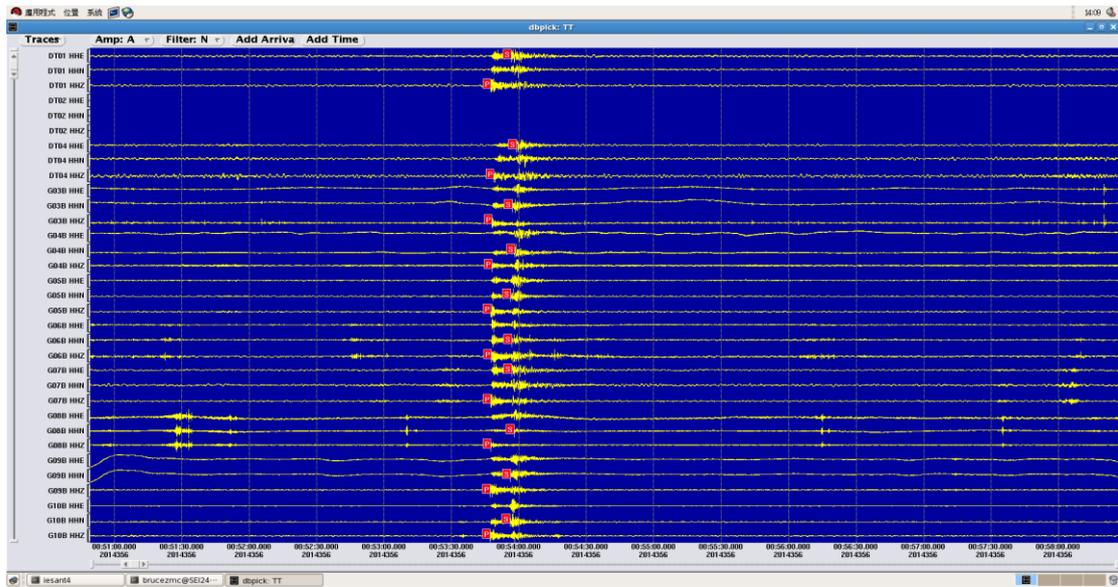


圖 104、微震網觀測之微震事件

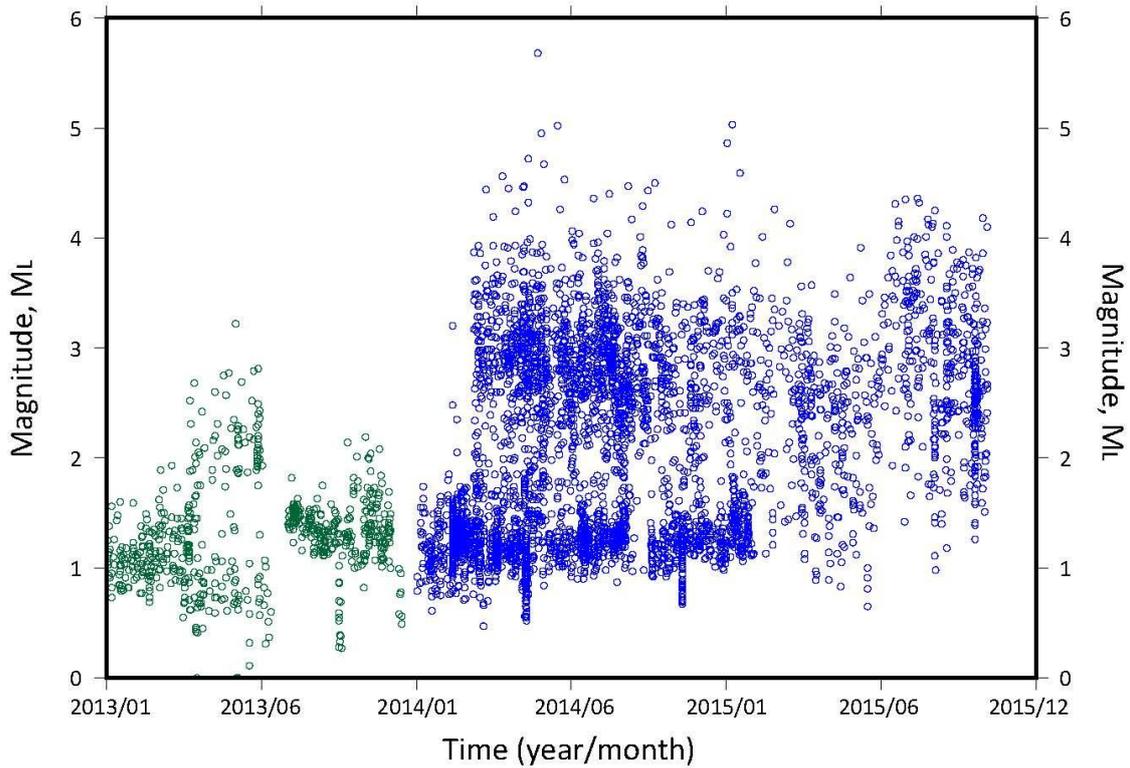


圖 105、20130101-20151231 期間本計畫微震網觀測事件及規模分佈圖

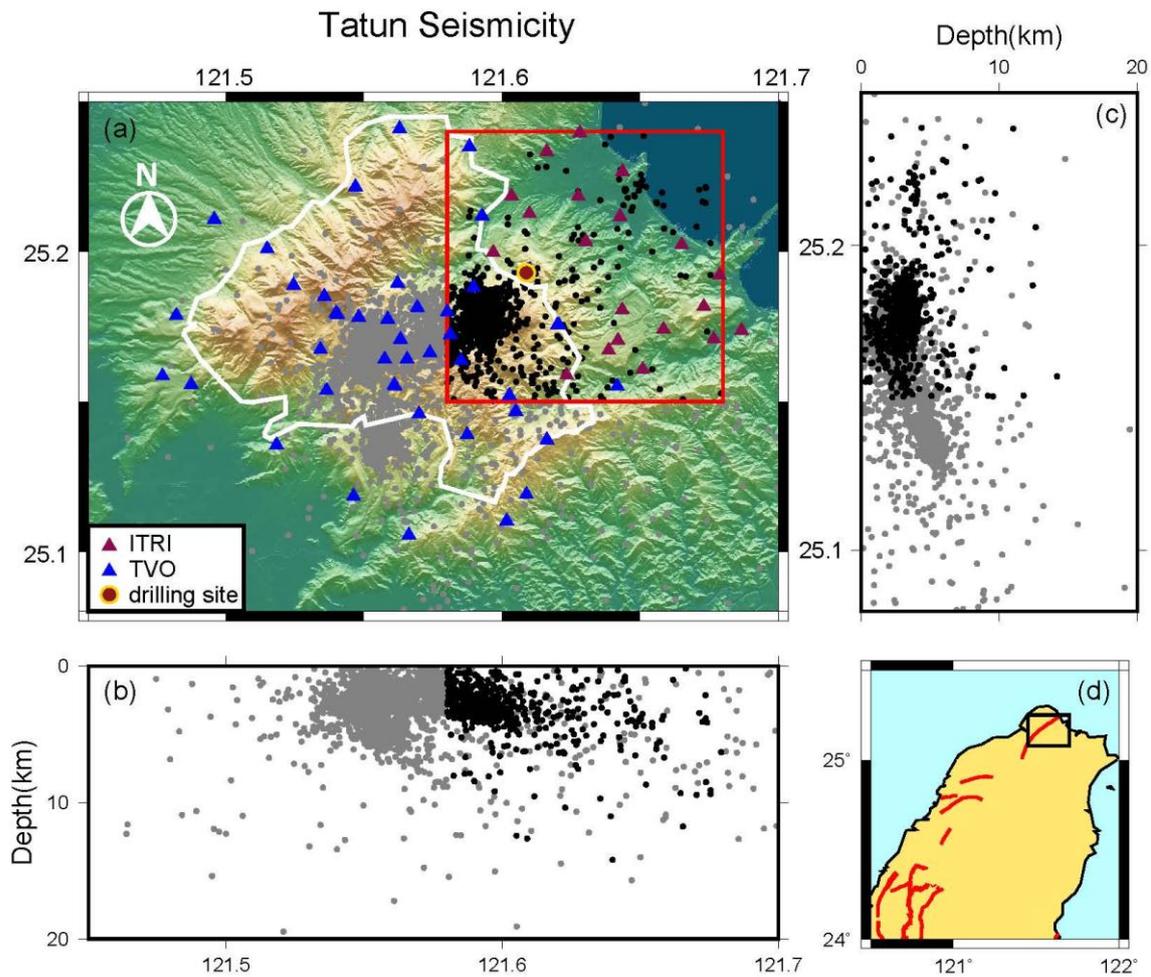
綠點為 2013 年僅使用 TVO 測站定位所得結果，藍點為 2014 年後加入 ITRI 新設置的地震站所得資料定位結果，顯示大屯山地震網已能獲得較完整性之區域地震活動性觀測。

(2) 微震資料分析

微震資料分析利用雙差分成像(tomoDD)，將裂隙發育之震源空間分布及地震叢集附近之區域速度構造建構出，透過速度成像結果納入專家決策輔助系統，整合其他地球物理資料，提供大屯火山地熱潛能區劃設及 E303 鑽井規劃決策。

A. 大屯山微震活動監測結果

本項工作已完成 2015 年 11 月前的新設觀測站之資料下載及分析工作，2015 年增加觀測密度後所分析之定位結果，區域微震發生與 2013-2014 年地震叢集(swarm)分佈活動大致相同，地震叢集震央位置發生於七星山與大油坑附近，另有一群位於磺嘴山西側，震源深處大約淺於 3-4 公里(圖 105、圖 106 為大屯火山震源機制空間分布，大部分均為張裂之正斷層與橫移分量之正斷層，此顯示由台北盆地至金山外海的構造活動仍處於活躍的拉張運動。大部分活動構造均位於金山斷層以東，並略沿著斷層面上盤活動，深度鮮少大於 6km 深。此類張裂構造活動所產生之裂隙，非常有利於蘊熱地層之地下熱水循環。



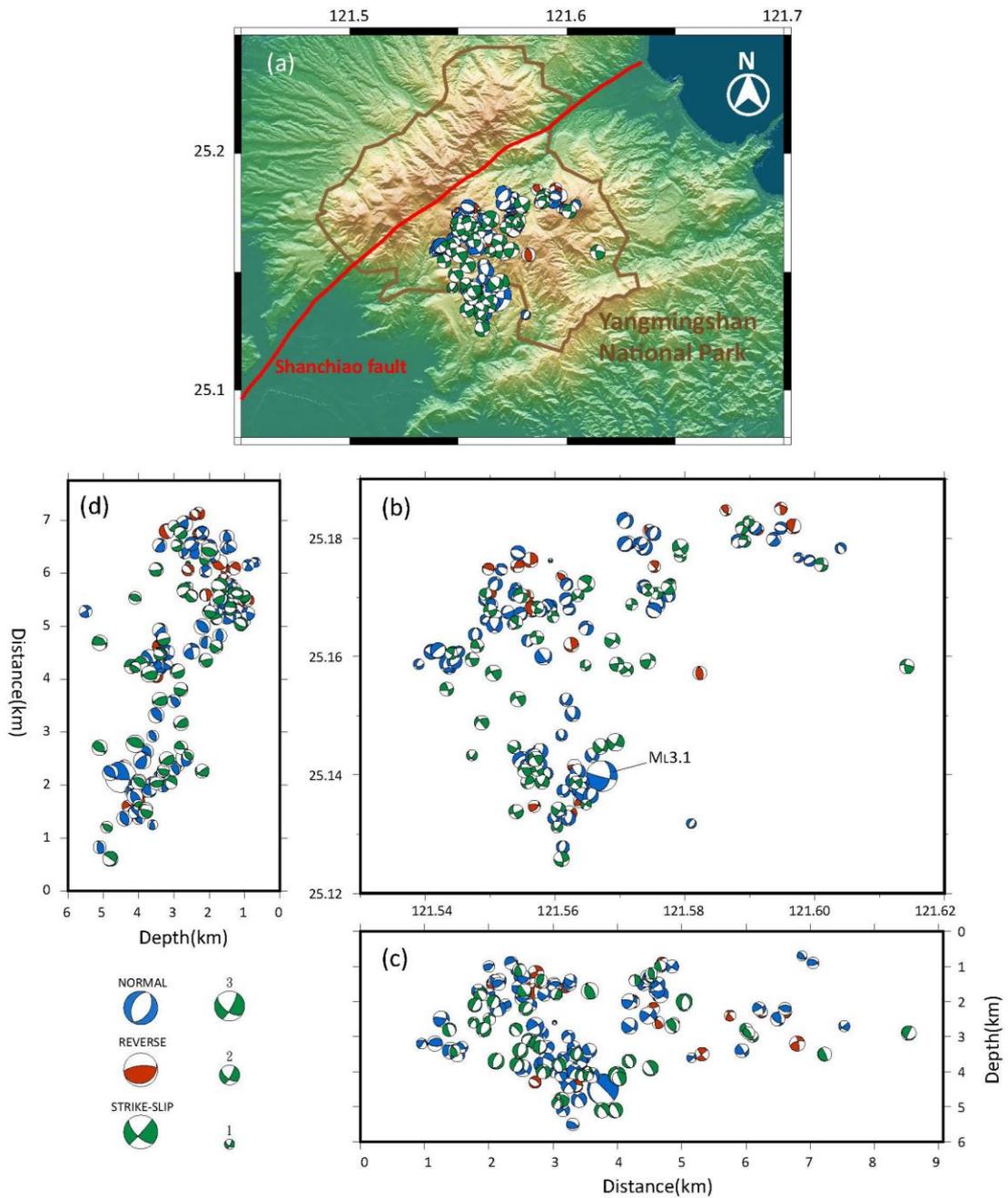
(a) 大屯山地區地震分佈圖。紅色框線範圍內為 ITRI 觀測網區域。
 (b) 地震事件沿東西向剖面的深度變化。
 (c) 地震事件沿南北向剖面的深度變化。
 (d) 大屯山地區之地理位置。

圖 106、研究區 2014-2015 微震震源分布

成像資料使用 2014-2015 兩年之觀測資料進行雙差分微震定位成像。經過重定位後，微震位置經過細部修正，原始地震 4400 個，部分無鄰近地震的微震事件被條件移除，運算後圖面總數量為 3822 個地震，地震叢集 (swarm) 分佈位置更為準確，大致上而言仍維持前述叢聚特性，外圍金山、萬里地區僅零星事件發生。微震密集帶位於東北-西南向高磁感帶之間的相對低磁感區域，顯

示微震發生區域並直接發生於高磁感材質的火成岩體中，而是分佈於火成岩體的側邊區域，可能與熱液或後期火成活動較有關。由微震叢集分布位置在高速帶邊緣可以研判，大屯火火山區淺層地熱十分活躍，且主要分布深度約在 0-4 公里深度，對應地球物理探測成果十分吻合。

本年度記錄之大屯山微震發生位置，與先前 2013-2014 年 TVO 記錄的微震發生位置大致符合，地震叢集震央位置發生於七星山與大油坑附近，震源深處大約淺於 3 公里(圖 107)。相異之處在於北投地區較深處出現另外一群叢集地震，主要為 20140212 所發生的規模 4.2 的陽明山地震事件及其後續一系列位在主震附近陽明山底下深度約 4-5 公里處的餘震序列。該地震件當時亦曾引發眾多全體台北市民關注及討論。



- (a) 解算大屯山地區2014年之震源機制解分佈圖。咖啡色區域範圍為陽明山國家公園，紅色線為山腳斷層。
- (b) 放大圖(a)之震源機制解分布區域，其中，解得最大規模為3.1。
- (c) 震源機制解剖面圖，橫軸為東西向距離，縱軸為地震深度。
- (d) 震源機制解剖面圖，橫軸為地震深度，縱軸為南北向距離。

圖 107、研究區地震機制空間分布

根據在大屯火山區試驗過程所獲得的經驗，顯示影響定位及速度成像結果好壞的因素，主要為運算參數的設定及初始三維速度構造網格點的設置方式。透過初始定位的分佈，可估算各網格內的地震數量及分佈特性是否恰當，做為進一步修改網格切割的參考依據。利用微震分佈區域訂定網格控制點位置，考量微震數量以及運算資源，以七星山、馬槽為模型中心，於東西、南北及深度方向分別設置逆推運算控制點(圖 108)。經過雙差分重定位後(圖 109)，微震位置經過細部調整，叢集地震分佈位置更為準確、活動區更為清晰，大致上而言仍維持前述叢聚特性，外圍金山、萬里地區僅零星事件發生。進一步與空中磁測三維逆推磁感率模型進行對比(圖 110)，可發現微震密集帶位於東北-西南向高磁感帶之間的相對低磁感區域，顯示微震發生區域並非直接發生於高磁感材質的火成岩體中，而是分佈於火成岩體的側邊區域，可能與熱液或後期火成活動較有關。

此外，透過地震觀測可以發現許多張裂橫移構造活動及釘型單頻波出現，都顯現流體與裂隙活動劇烈。由微震羣震發生之空間分佈觀察，部分突發群震事件會有轉移的現象，可能在七星山、大油坑與八煙地區的底下，有著一些機制可以主導群震活動移位，例如相連地下裂痕，當地下的熱液流體活動劇烈時，便有可能在這些地區底下造成地震活動，而熱液流體流動的方向，影響著群震發生的位置(林正洪，2012)。圖 111為透過剪力波分離異向性分析之結果，顯示大屯火山區裂隙構造之方向，主要為北西或北東向裂隙構造。

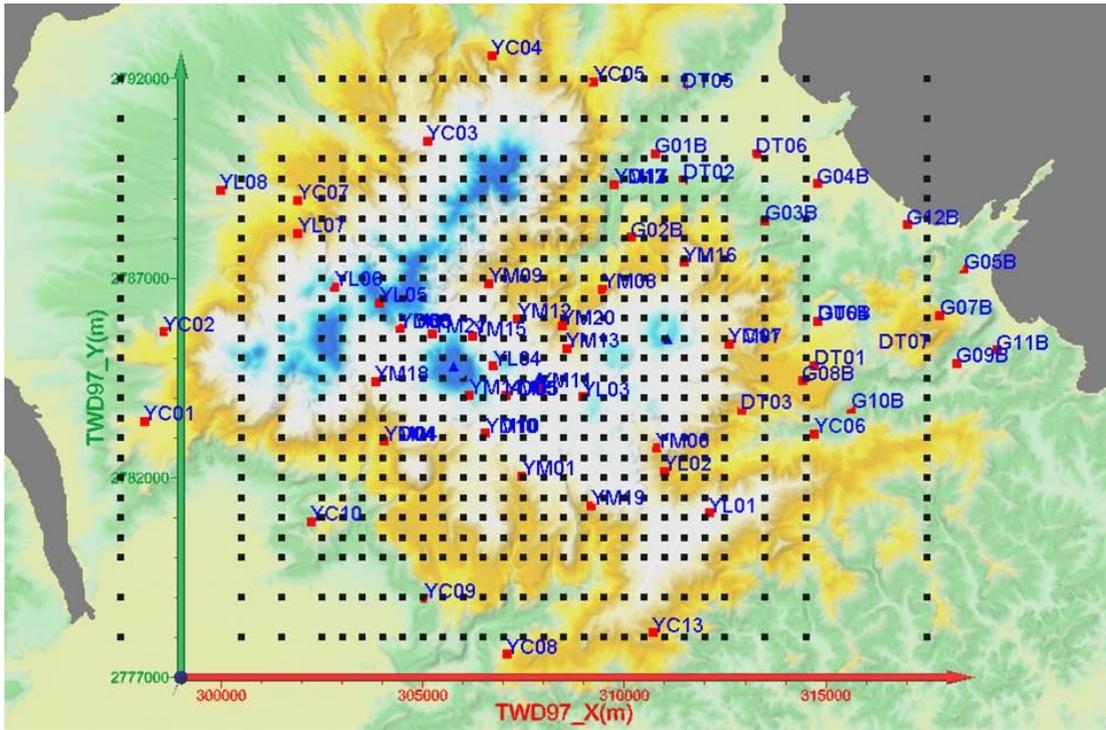


圖 108、速度成像逆推格點分布

格點密度較 FY103 高，提昇逆推解析能力。

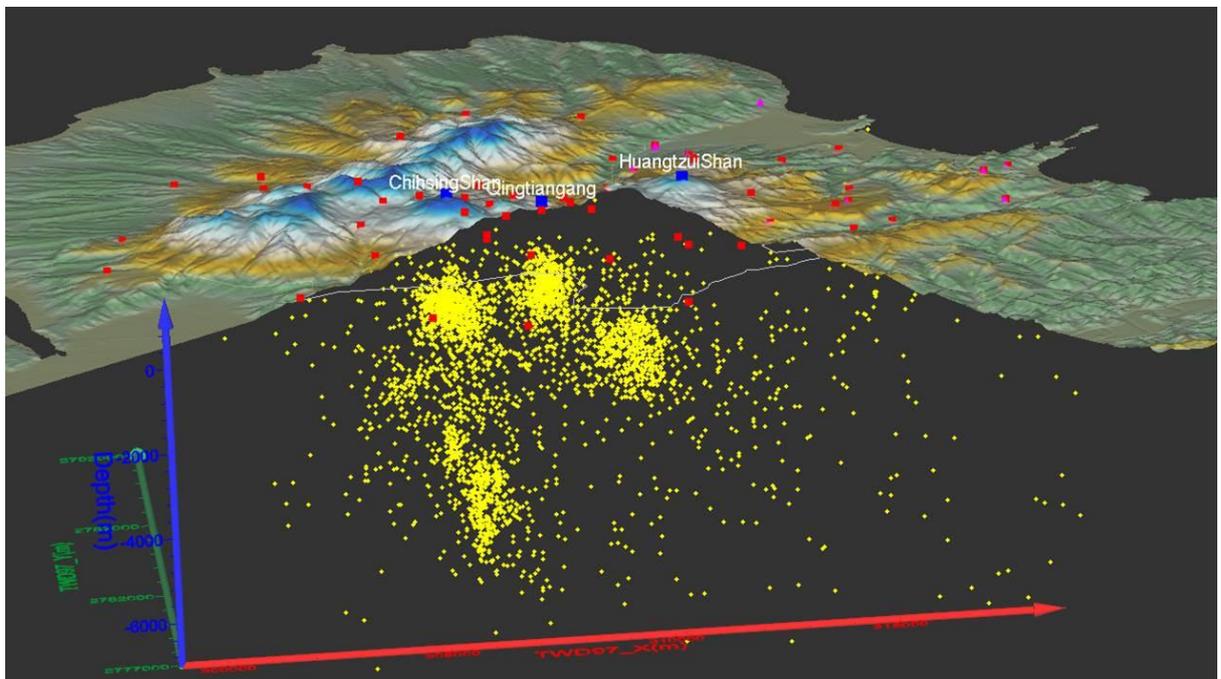


圖 109、大屯山地區微震 3D 重定位結果

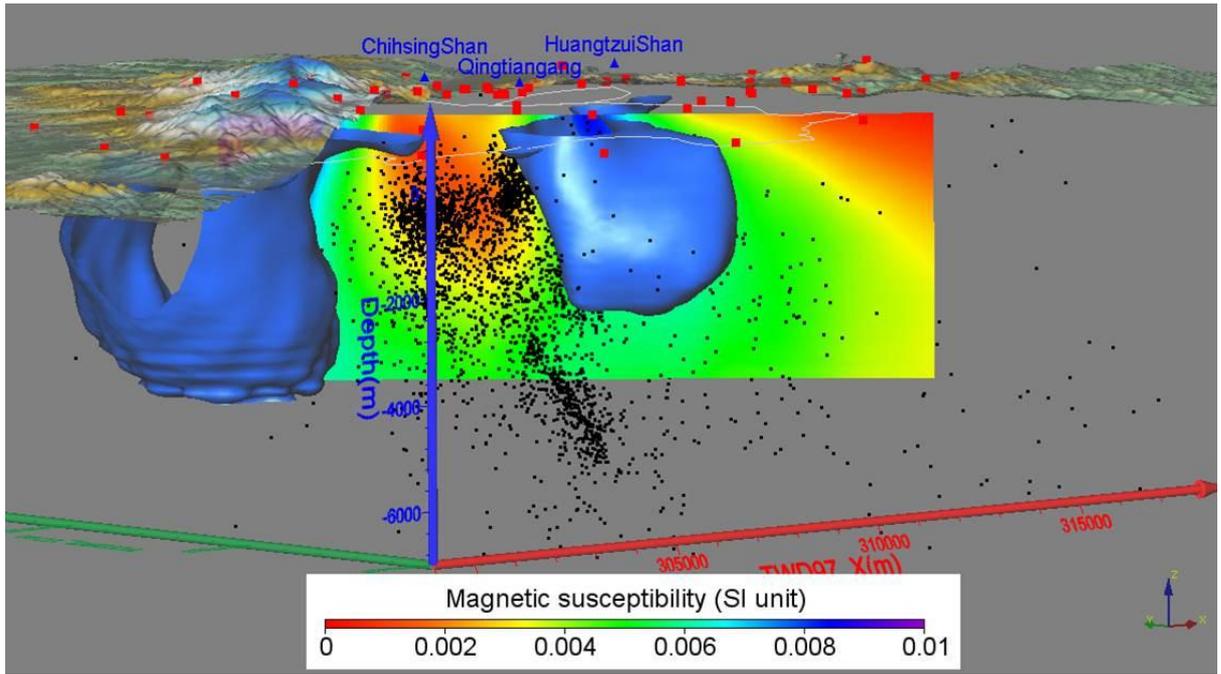


圖 110、磁感率與微震空間分布關係

高磁區幾乎無地震發生;馬槽、大油坑及磺嘴山三群微震都落在低磁區。

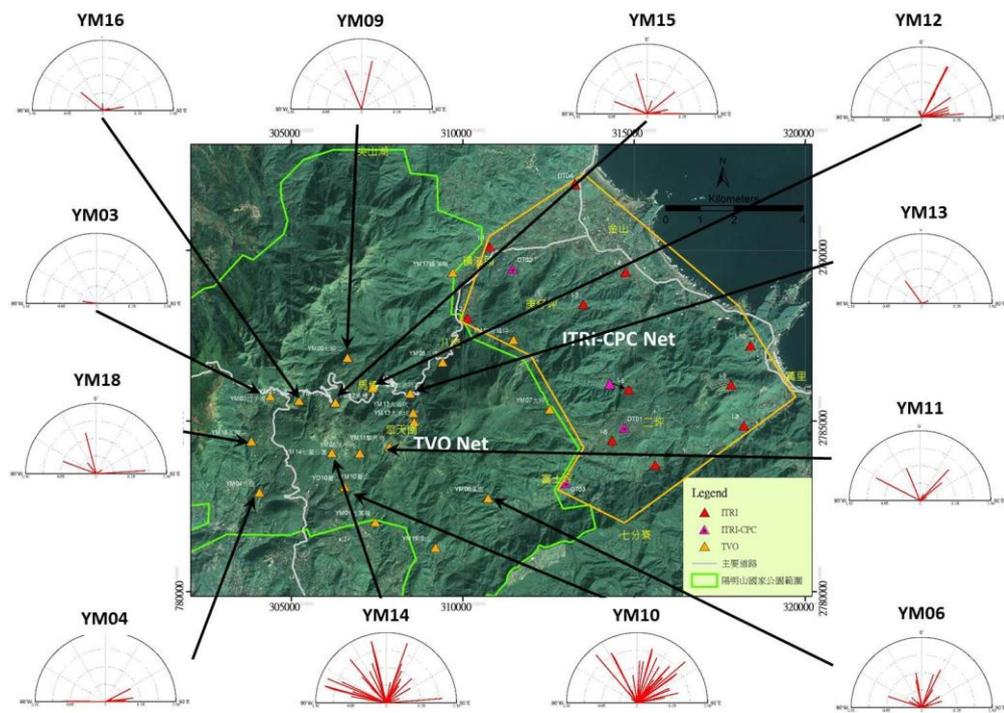


圖 111、剪力波分離呈現之區域異向性

B. 三維速度模型層析成像

逆推過程使用的 P 波觀測數量為 16,726，S 波觀測數量則為 13,352。逆推過程計算每個格點中所用波線通過及運算的次數，該數值的愈高代表運算愈多次，某種程度上能代表控制度愈佳，其可信賴程度亦愈好，依據 C. H. Thurber 建議至少大於 50 次較具代表性，取該數值等於 300 的等值面繪於模型中如圖 112 所示。其結果可發現受到資料庫中的微震位置及數量控制，具速度模型解析能力的區域，與去年相較已大幅擴展至礮嘴山外圍之目標區。逆推所得之速度模型，以垂直金山斷層的西北-東南向縱剖面，展示(圖 113)。由於金山斷層西側由於地震資料稀少，格點未被解算，解析範圍西北側外，大約等同初始速度為平坦的地層速度。進入大屯火山群主要微震叢集區，微震數量增多，資料相對豐富，由通過七星山和馬槽地區之速度縱剖面可以得知淺部地殼存在較周圍高速的岩體，呈現往西北方高速隆起的特徵，反應出接近地表淺部由底部侵入的火成岩體特性。該高速特徵往東延續分佈至礮嘴山西北側，顯示由七星山至礮嘴山一帶的地熱特徵為一連續的地熱構造系統。若進一步以礮嘴山目標區，對比空中磁測三維模型與速度三維模型，可得到對應火成岩體的高磁及高速特徵類似，位於礮嘴山底部大致呈東北-西南走向。圖 113 接近礮嘴山 2015 探測井 E303 下有個隆起狀的高速體較接近地表。剖面西南方士林地震群附近，則呈現相對低速。

由地震震源空間分布觀察，地震事件大部分位於火成岩下伏之中新世沉積岩(五指山層)與部分近地表火山噴發岩體之相對高速區邊界。根據過去 ITRI 在大屯火山地球物理的研究成果(經濟部能源科技研究發展計畫淨煤技術及二氧化碳捕獲封存技術發展計畫一〇〇年度技術報告)，微震多發生於高速、高電阻區，接近特性改變之邊界，此說明研究區地熱活動十分劇烈，尤其在熱

水換質帶以下之岩體裂隙，對於地熱開發是非常正面的指標。近來研究成果均指向大屯火山處在火山活動後期，淺地表以下火山岩體呈現高速高阻，並在多裂隙區熱液氣活動，透過地下水進行熱循環。

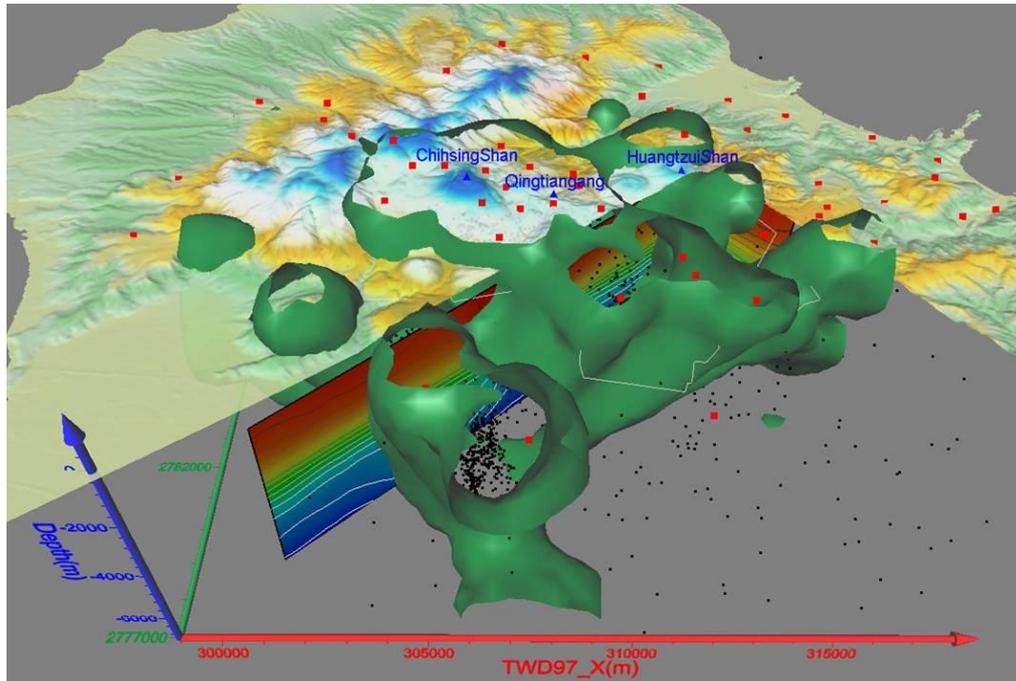


圖 112、速度逆推波線數大於 300 解析範圍

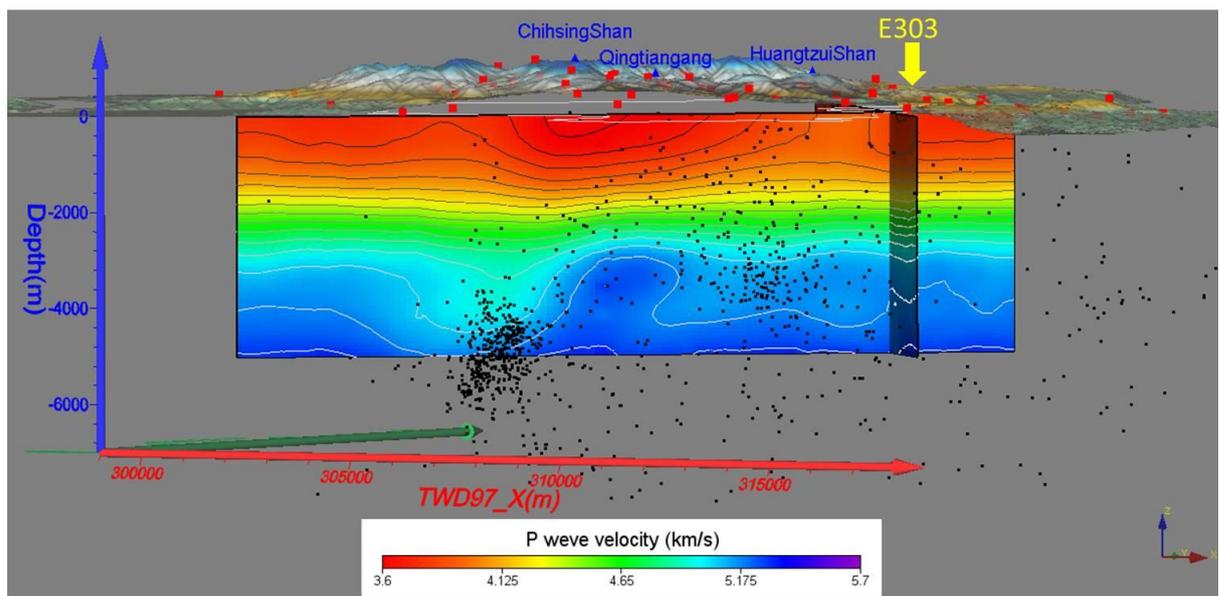


圖 113、西南-東北向 P 波速度剖面

接近磺嘴山 2015 探測井 E303 下有個隆起狀的高速體較接近地表。而剖面西南方士林地震群附近，則呈現相對低速(地震資料來源含 TVO2008-09；2013-15; itri2014-15)

1.3 產業推廣與國際合作

1.3.1 地熱電廠推廣

中大型地熱電廠之開發需耗費大量時間與金錢，且開發初期之高投資與高風險讓業者裹足不前。為了建立民眾及縣市政府對地熱發電之信心，本子項計畫規劃與地方政府合作，以小型地熱發電結合溫泉多目標利用，除可提供電力供電廠附近居民使用外，分散式小型地熱發電亦可達到我國地熱發電裝置量短期目標之目的，同時可用來做為教育展示用，提升業者投入中、大型地熱電廠的信心。今年度持續與臺北市政府合作，針對行義路地熱區進行小型耐酸蝕示範電廠。另外，針對其它地熱區如紅柴林等，亦將協助廠商建置地熱發電系統。

1.3.1.1 示範電廠推廣

國內最具地熱潛能區域為橫跨臺北市與新北市之大屯火山地熱區。雖然在區域性的資源探勘上已獲得潛能驗證，但在酸性流體、開發目標區內資源特性及合適的發電系統上，仍需逐步克服其技術瓶頸。臺北市政府已針對陽明山國家公園外之復興公園、泉源公園與行義路溫泉區等，進行地熱發電機組試驗性計畫之前置分析作業(工研院與大地資源公司，2014 年)。依據 2014 年度之評估成果，考量陽明山國家公園外具備地熱發電潛能之公有土地，復興公園上游井位(泉源 47 號公園)在深度 34m 即有 102°C 之高溫，適合酸性地熱發電系統建置。惟酸性泉質之腐蝕性仍需今年度取熱系統之驗證與取得測試參數後，作為未來推動酸性地熱發電之參考。

臺北市政府於 2014 年針對陽明山國家公園外之復興公園、泉源公園與行義路溫泉區等，進行地熱發電機組試驗性計畫之前置分析作業(圖

118)，其中行義路溫泉區較具地熱發電潛能，惟酸性泉質之腐蝕性與土地溫題仍需克服。今年度(2015)結合地熱能專之耐酸蝕與地熱發電系統技術，於北投溫泉井進行產能試驗與示蹤試驗，獲取水文與地質參數，精進北投區儲集層概念模式。在確認泉源 47 號公園(圖 119)之溫泉井與儲集層可提供足夠溫度與流量於耐酸蝕取熱發電試驗使用，今年度於泉源 47 號公園進行安裝與測試耐酸蝕取熱發電試驗系統。

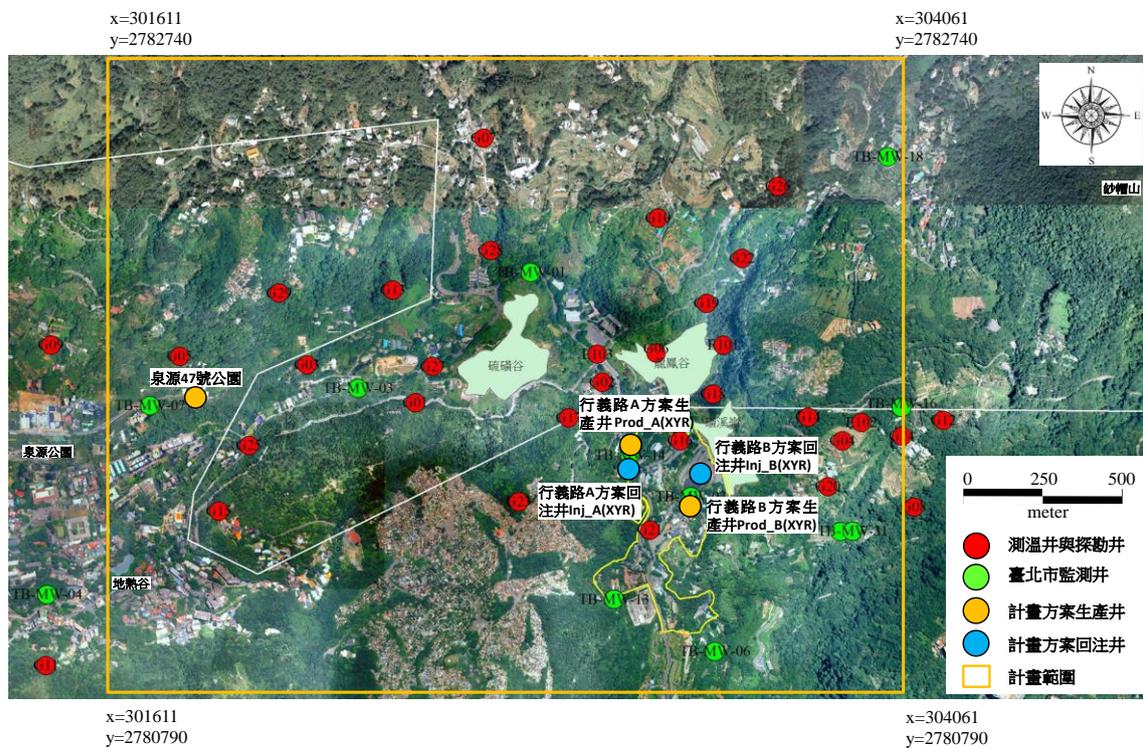


圖 114、臺北市北投區地熱發電系統規劃方案及探勘/監測井分布



圖 115、泉源47號公園之耐酸蝕取熱測試場址與井位分布說明

(1) 泉源 47 號公園之井溫度剖面

泉源 47 號公園之井溫度剖面如圖 116 所示，整體而言，該區最深井位為 CY-07 (約 80 公尺)，儲集層最高溫位於 30-50 公尺間，越往上游越靠近硫磺谷爆裂口，溫度越高 (如 CY-03 > CY-05 > CY-07 > TB-07)。另外，值得一提的是 CY-03 是否隨抽水時間增加，而溫度下降，須後續的持續觀察。CY-07 之溫度剖面如圖 117 所示，本計畫進行兩種抽水深度之比較 (19 公尺與 54 公尺)，基本上當抽水深度越深且接近 30-50 公尺之高溫層，所抽取之溫泉水溫度越高，且能保持與靜態溫度剖面一致，代表能減少與冷水混和之溫降效應。

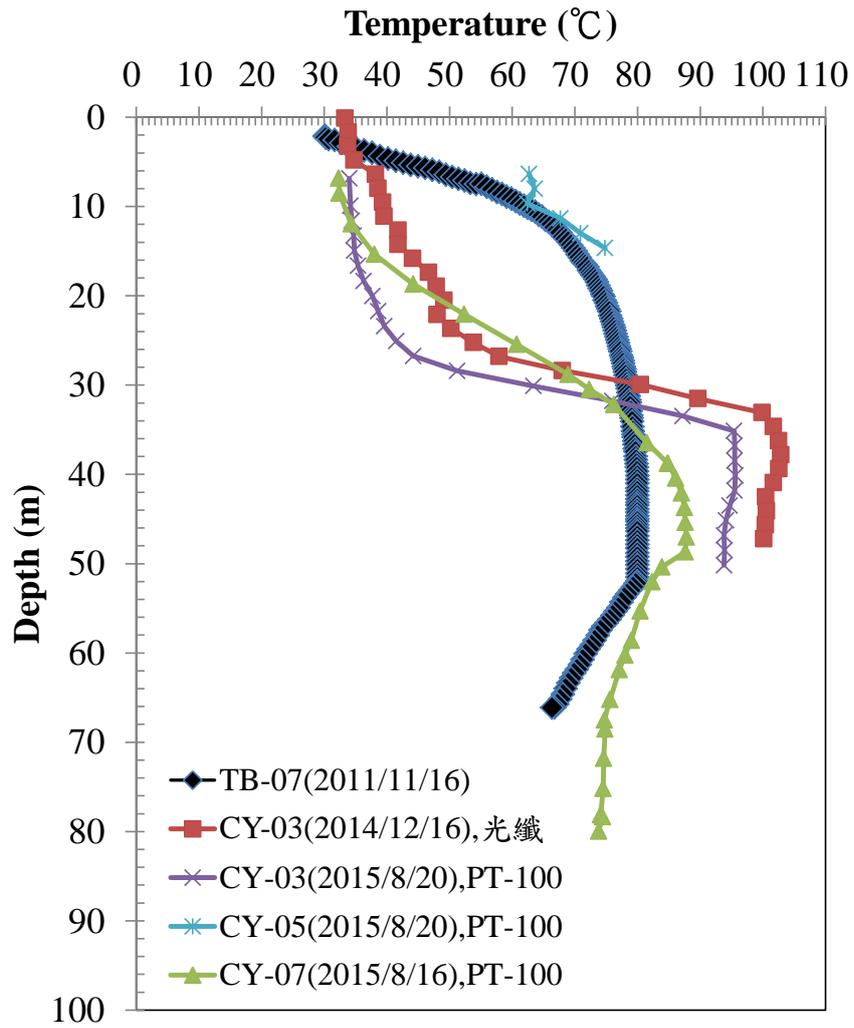


圖 116、泉源47號公園之井靜態溫度剖面

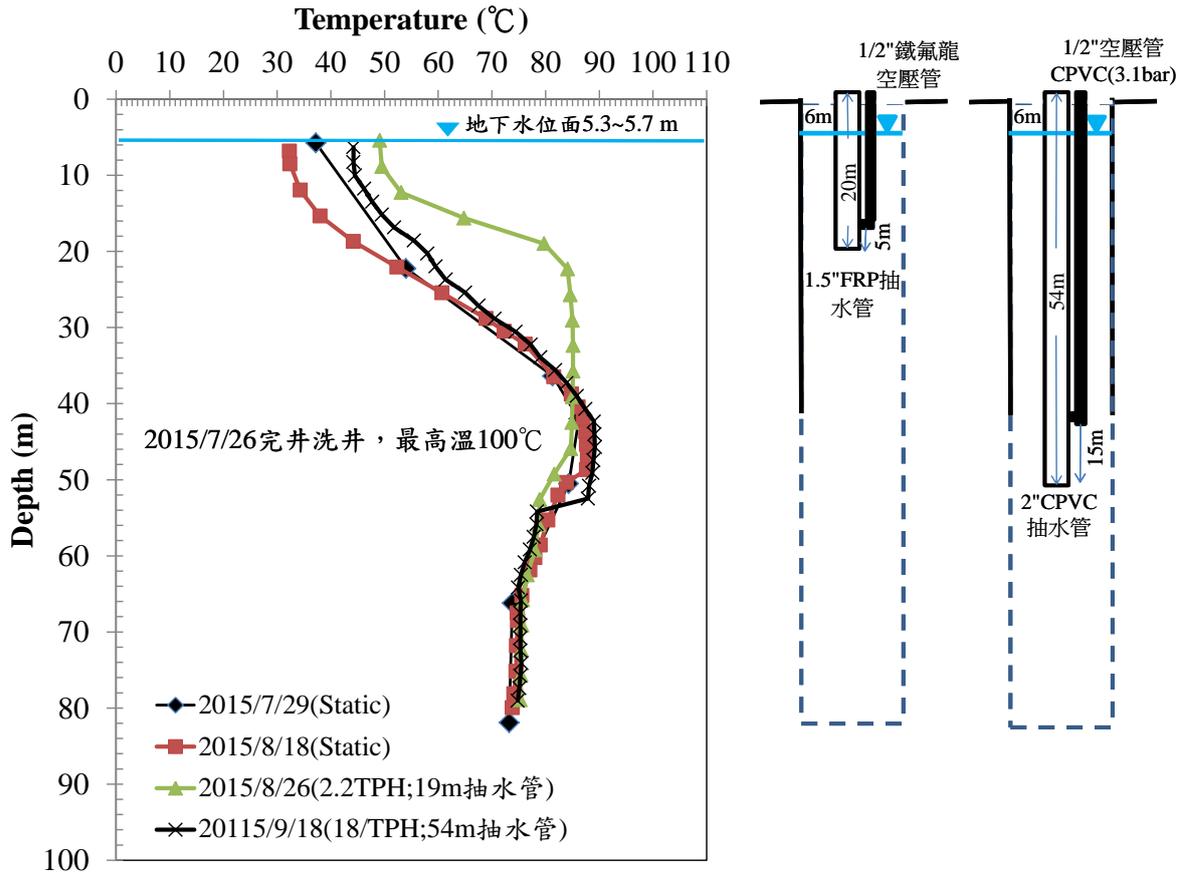


圖 117、CY-07井溫度剖面

(2) 泉源 47 號公園儲集層水力參數

按照 Theis 擬合方法，持續 CY-03 之抽取 $Q=12.63 \text{ m}^3/\text{h}$ ，觀測 CY-07 之洩降高度。將洩降高度與時間之關係繪製如圖 118 所示，獲得 $u=0.1$ 、 $W(u)=10$ 時之 $t=1.3\text{min}=0.0217\text{h}$ 與 $s=0.13\text{m}$ 。求得導水係數 T 為 $83.76 \text{ m}^2/\text{h}$ ，儲水率 S 為 0.00062 。若以 CY-07 之井開孔深度 40m ，可推求水力傳導係數為 0.000582 m/s 。

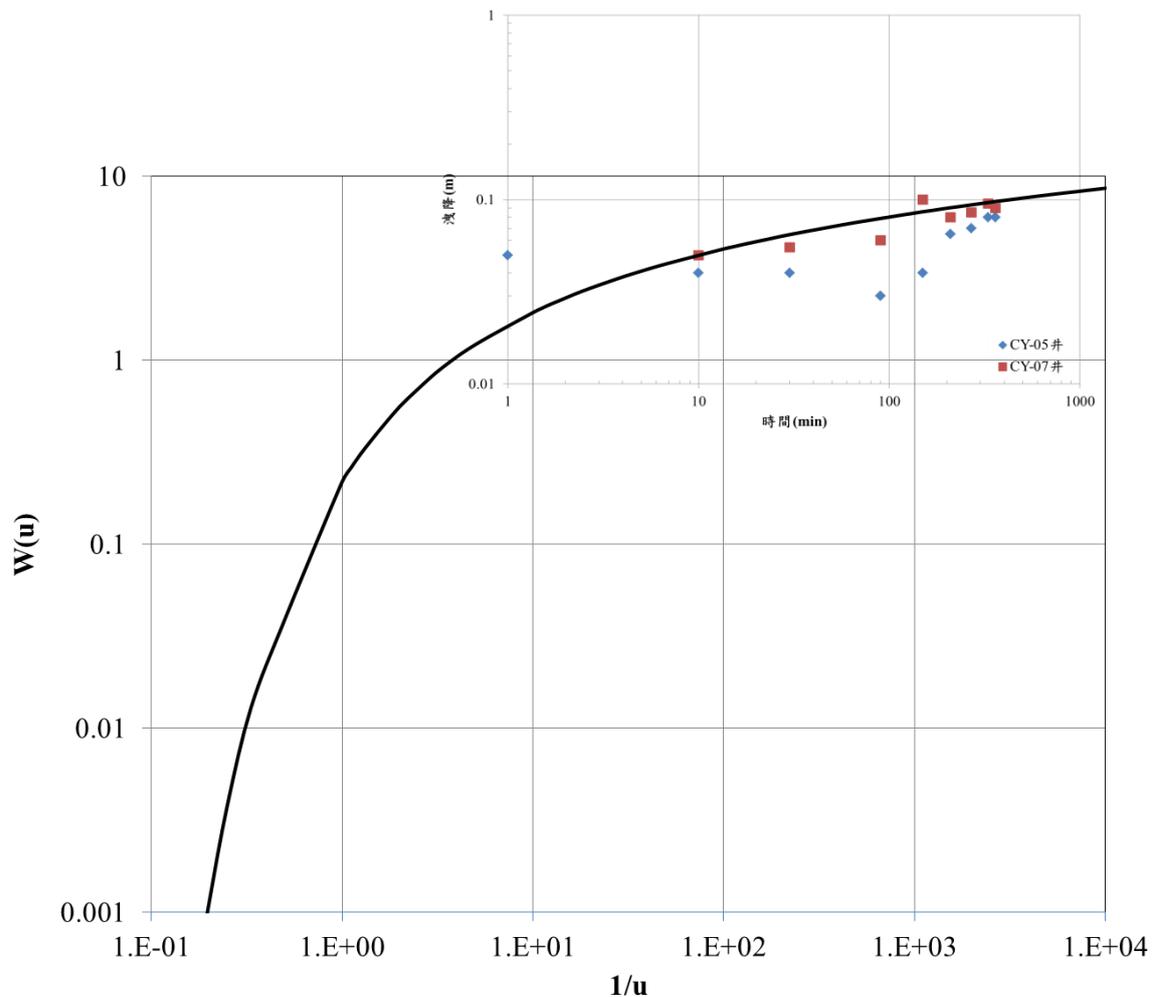


圖 118、泉源47號公園之CY-03抽水與CY-05及CY-07洩降

(3) 泉源 47 號公園監測井水位變化

由於泉源 47 號公園有三口抽水井(CY-01、CY-04 與 CY-06)提供復興公園與泉源公園泡腳池使用，定期監測 CY-03、CY-05 與 CY-07 之地下水位面，有助於了解此區地下水文之變化。圖 119所示，復興公園抽水井 CY-04 與 CY-06 從 2014 年 7 月啟用後，CY-03 之地下水面持續下降，至 2015 年 4 月恢復抽水前之水位面，CY-05 亦有同樣趨勢。比對上游竹子湖雨量站資料，發現在 2015 年 7 月 10 日之日雨量 360mm、2015 年 8 月 8 日之日雨量 451mm 與 2015 年 9 月 28 日之日雨量 361mm，三口井的地下水位面些微上升，顯示此區之地下水位變化受降雨影響。

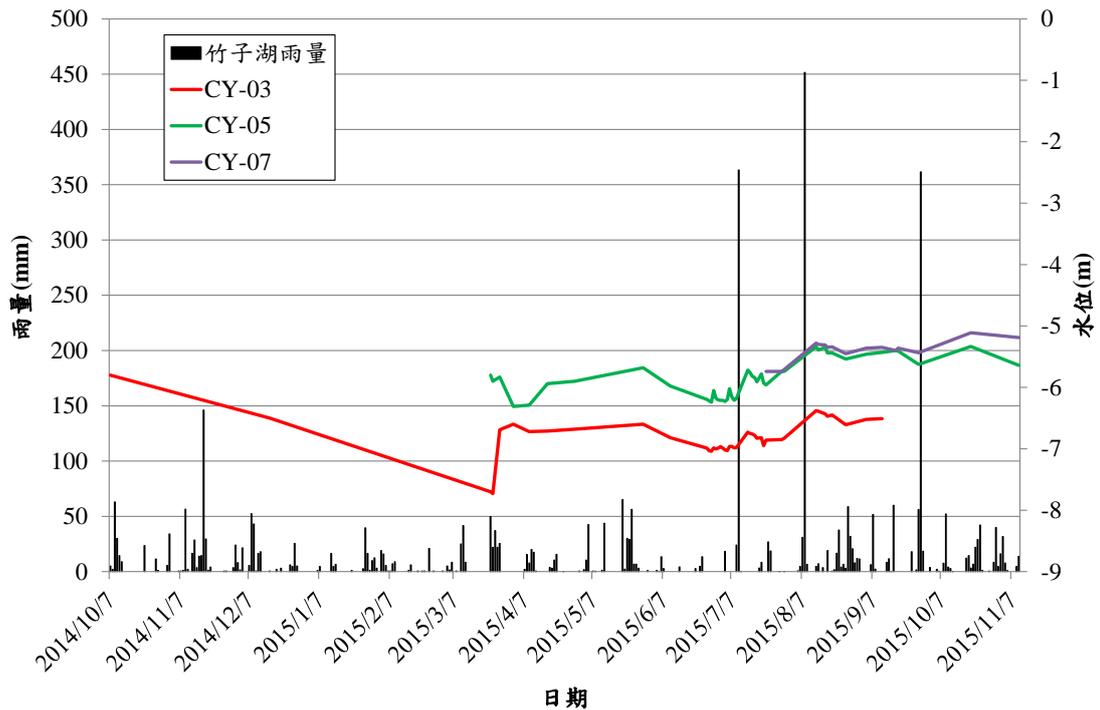


圖 119、泉源47號公園之監測井水位面與降雨量關係

(4) 酸性地熱流體取熱系統建置

酸性地熱流體取熱系統建置於臺北市北投區泉源 47 號公園，其取熱系統如圖 120 之細部設計，系統分為發電機組、管路系統與機電與感測迴路系統。如圖 121 所示，耐酸蝕取熱發電系統已於 2015 年 11 月 10 日裝置完成，熱水管線迴路與電力饋線之規劃已獲臺北市產業發展局同意，目前已建置完成(圖 122~圖 124)，預計使用 CY-03 之熱水源(溫度 92°C)進行發電，發電完之尾水約 70°C，回到復興泡腳池之水槽，預計可以取代現有兩台復興泡腳池之空壓機使用，預計每小時可省 3 臺空壓機共約 23kWe 之電力，一年可省約 20 萬的電費。由於此耐酸蝕發電系統屬於試驗機組，仍需發電最佳化測試，若有餘電將提供泉源泡腳池之空壓機使用。後續，本系統之熱水循環迴路設計，利用球閥將板式熱交換器與井下熱交換器迴路進行連結，進而可分成三種試驗條件，分別如下：

A. 井下熱交換器進行取熱發電試驗

B. 酸性溫泉水進熱板式熱交換器進行發電

C. 井下熱交換器及板式熱交換器聯合取熱發電

分別透過以上三種取熱發電試驗，以評估不同熱交換器之熱交換效率，進而得到最佳發電量之熱交換型態。

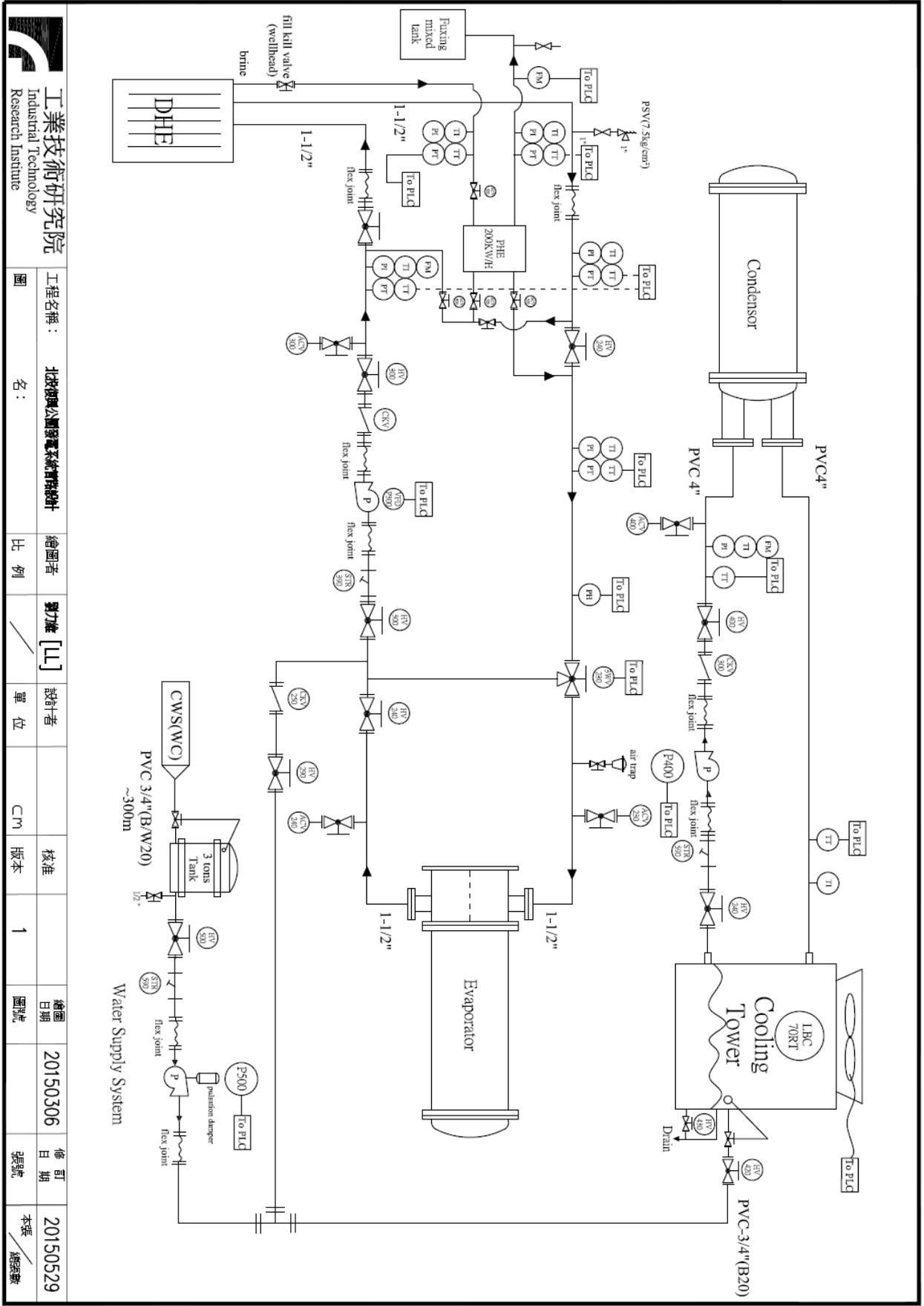


圖 120、取熱發電之管線規劃設計圖

| | | | | | | | | | | | |
|--|-------|----------------|-----|----------|-----|----|----|----|----------|----|----------|
|  工業技術研究院 Industrial Technology Research Institute | 工程名稱： | 北投復興公園發電系統管線設計 | 繪圖者 | 劉力維 [LL] | 設計者 | 單位 | 核准 | 日期 | 20150306 | 修訂 | 20150529 |
| | 圖名： | | 比例 | | | CM | 版本 | 圖號 | | 日期 | 張數 |
| | | | | | | | 1 | | | | 本張 / 總張數 |



圖 121、耐酸蝕取熱系統於泉源47號公園之熱水迴路與電力饋線示意



圖 122、耐酸蝕取熱系統於泉源47號公園裝置完成



圖 123、10kW 發電系統置於遮雨屋中



圖 124、耐酸蝕板式熱交換器

1.3.1.2 新北市商業電廠BOT規劃

國內共有百餘處溫泉與地熱徵兆，地熱發電開發潛能甚高，尤以大屯火山區以往鑽井之孔內溫度最高達 293°C，為國內地熱井所獲溫度最高者，其發電潛能根據以往之調查與探勘資料估算高達 500 MWe，具極高之經濟開發價值。大屯地熱區大部分位於國家公園內，宥於國家公園之開發限制，大屯地熱之開發將排除國家公園，以國家公園邊界之外圍潛能區為標的。根據工研院早期之探勘彙整資料(工研院，1994)，位於陽明山國家公園西北邊界之外緣外之四礮子坪至金山乙帶，顯示具地熱資源可能賦存之範圍(圖 125)，尤其四礮子坪地區地表徵兆強烈(圖 126)，具發電開發潛能，故本計畫以新北市之四礮子坪地區為目標，進行開發可行性評估與先期規劃作業，提供將來新北市將來辦理 BOT 招商作業之參考。

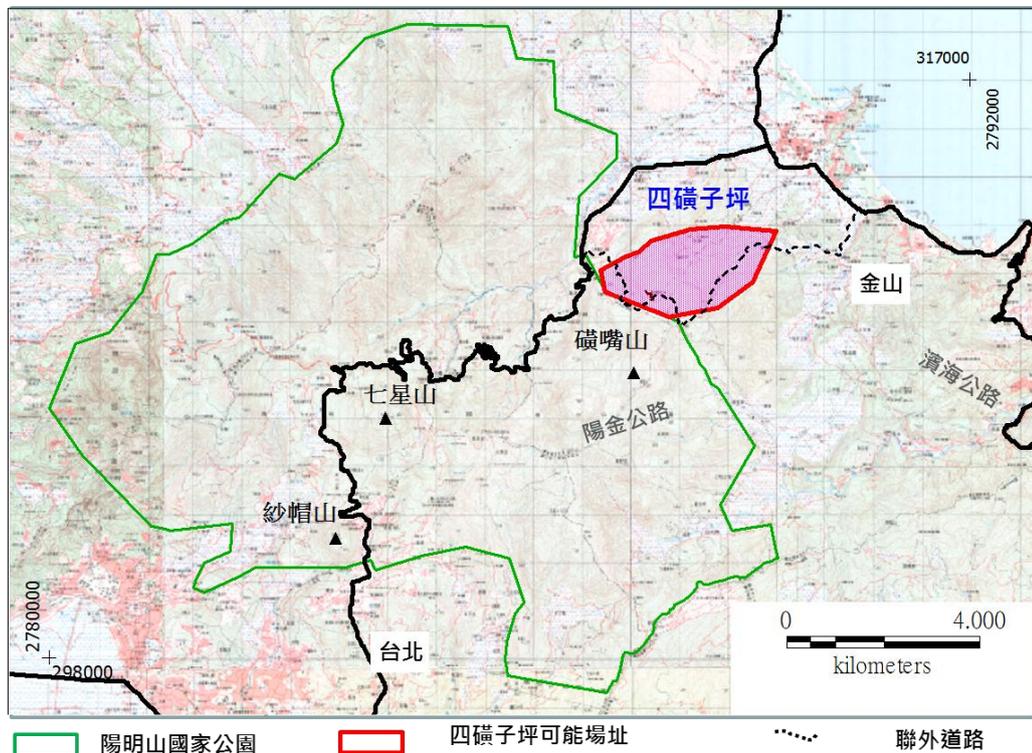


圖 125、四礮子坪至金山乙帶地熱開發潛能區分布範圍

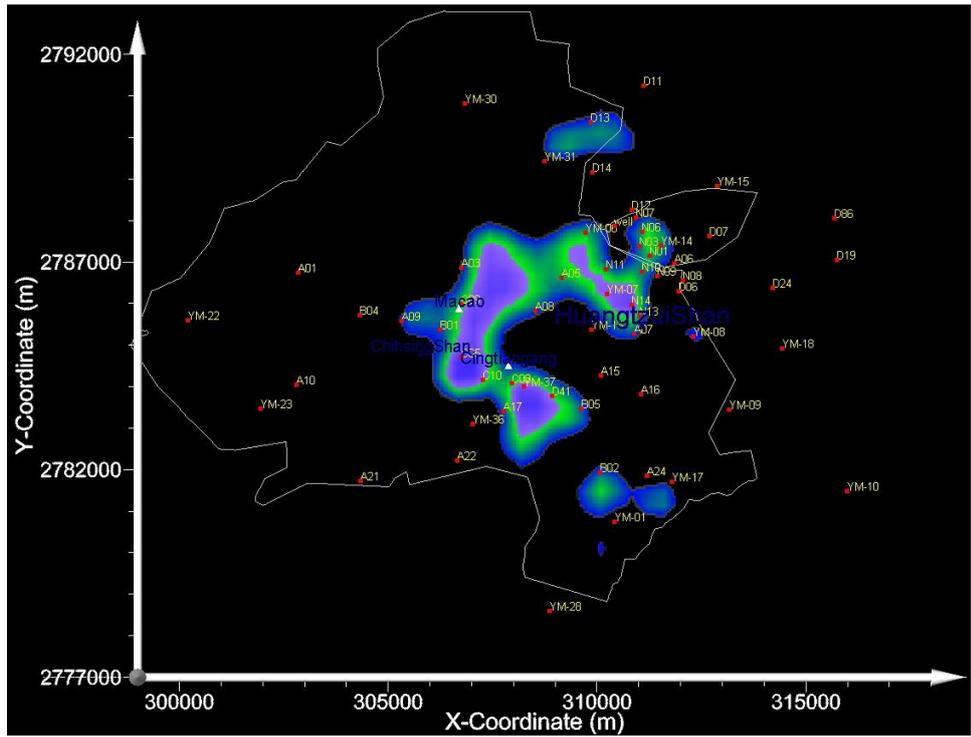


圖 126、四礮子坪溫泉露頭與熱水換質帶

(1) 潛能區範圍與土地分析

A. 潛能區範圍

根據大屯山 MT 補充調查之成果(圖 127)，四礮子坪潛能區位於礮嘴山東北側，分布位置約在四礮子坪與煥子坪一帶(圖 128)，排除國家公園後之面積約有 104 公頃。潛能區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，抵達場址之西北邊入口；此產業道路穿過場址東南緣後朝東北方向行走約 6km，於金山鄉大埔村附近與濱海公路銜接。



B. 潛能範圍土地分析

經 MT 評估之潛能面積約為 104 公頃，但由於潛能範圍與地籍邊界無法完全一致，因此本計畫將與潛能範圍有關聯之地籍納入評估，共有土地 98 筆，總土地面積約 177 公頃。此評估範圍之土地依權屬分類可分為私有、國有、縣有、未登錄等 4 類；依土地使用編定分類可分為水利用地、丙種建築用地、林業用地、國土保安用地、農牧用地、殯葬用地、礦業用地與暫未編定等 8 類，各類土地之統計請參表 28。由統計資料顯示國有、縣有、未登錄約占 55.4%，私有地則占 44.6%。土地權屬分類範圍與土地使用編定範圍請參考圖 129 與圖 130。

表 28、潛能範圍及周遭範圍土地權屬統計表(總土地面積約 177 公頃)

| 土地使用編定/權屬 | | 權屬 | | | |
|--------------------|---------------------|------------|------------|----------|-----------|
| | | 私有 | 國有 | 縣有 | 未登錄 |
| 土地 使用 編 定 | 水利用地 | - | 8,755.06 | - | - |
| | 丙種建築用地 | 1,334.21 | 912.76 | - | - |
| | 林業用地 | 448,243.72 | - | - | - |
| | 國土保安用地 | - | 237,737.21 | - | - |
| | 農牧用地 | 267,307.18 | 11,468.48 | - | - |
| | 殯葬用地 | - | 191.09 | - | - |
| | 礦業用地 | 57,841.75 | 114,911.28 | - | - |
| | 暫未編定 | 15,511.61 | 584,354.67 | 3,980.11 | 18,895.44 |
| | 總計(m ²) | 790,238.46 | 958,330.54 | 3,980.11 | 18,895.44 |
| | 百分比 | 44.61% | 54.10% | 0.22% | 1.07% |

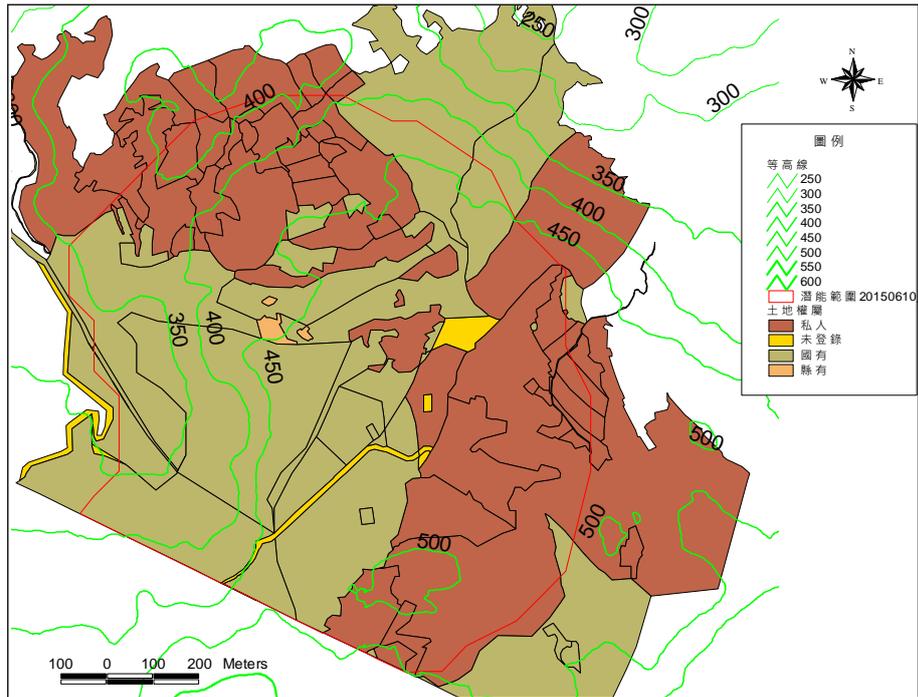


圖 129、土地權屬範圍

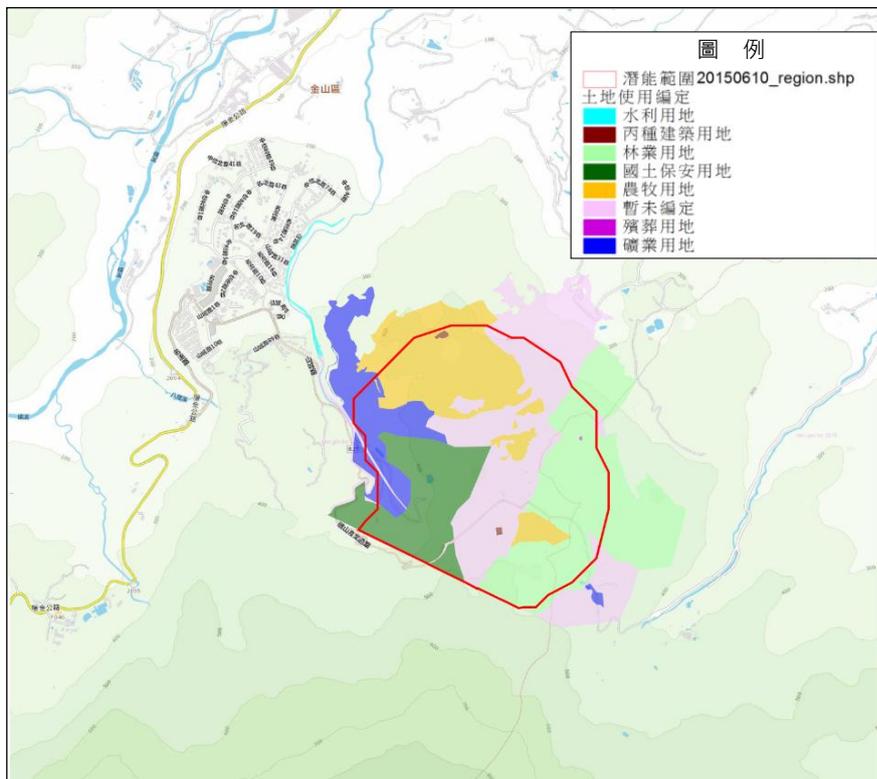


圖 130、土地使用編定範圍

(2) 開發範圍與用地取得

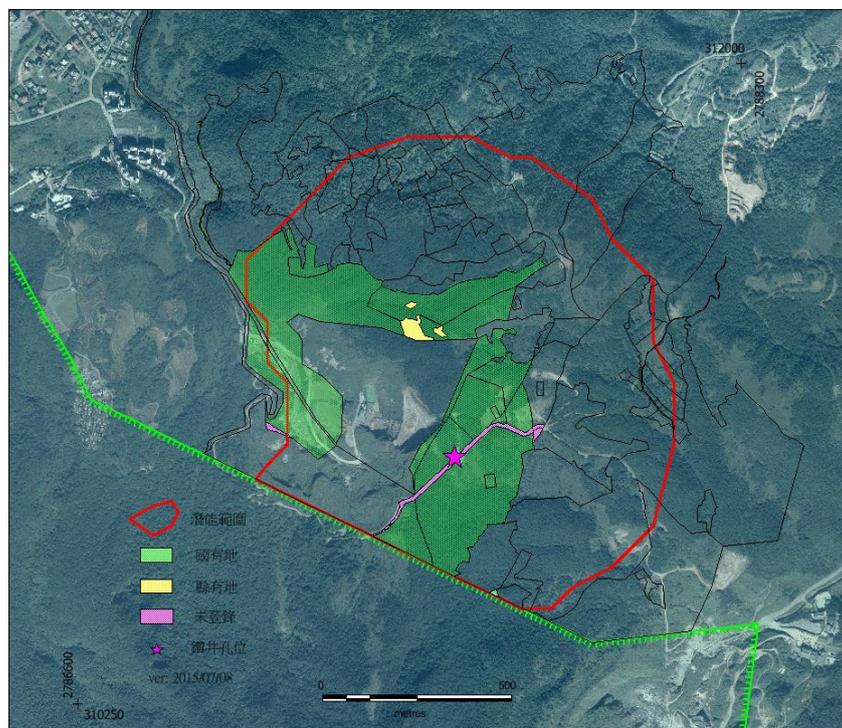
A. 開發範圍

鑑於私有土地取得之困難度，本計畫依新北市意見，開發範圍將以地熱潛能範圍內之國有、縣有、未登錄等公有地為標的，並將其內之私有地全數排除，另考量國土保安用地變更之限制，開發範圍建議為兩方案：

方案一：不含國土保安林地，面積約 30.37 公頃，範圍參考。

方案二：含國土保安林地，面積約 49.46 公頃，範圍參考圖 132。

兩種方案之選定，經與新北市之討論與協商後，基於開發基地之完整性，確認採取含國土保安林地之開發方案，並進行後續之規



劃。

圖 131、開發範圍方案 1 (不含國土保安林地)

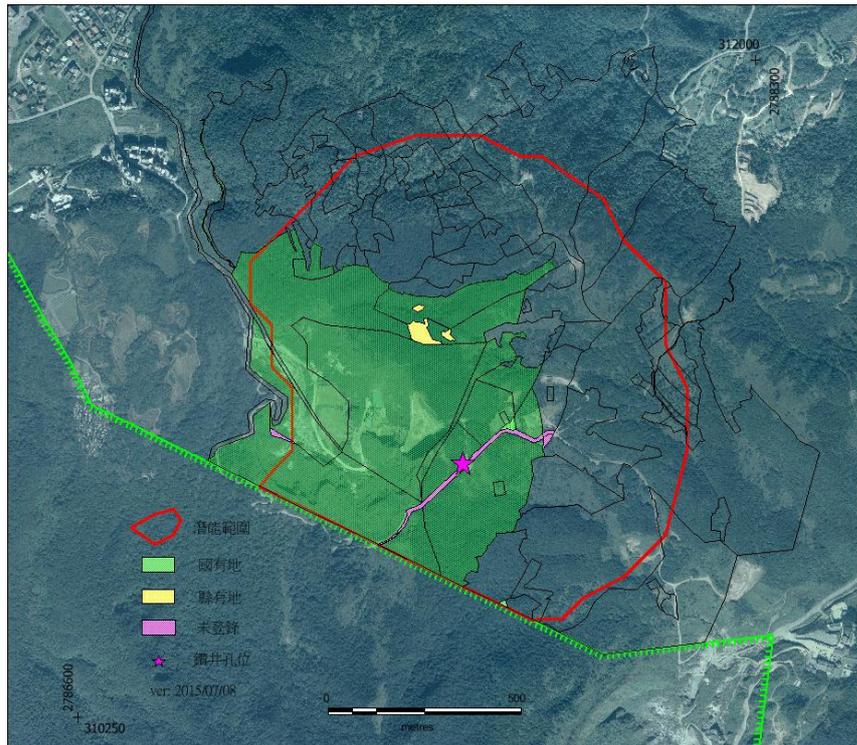


圖 132、開發範圍方案 2 (含國土保安林地)

B. 用地取得與變更

開發面積約 49.46 公頃，範圍皆為公有地(相關資料詳表 29)，將來由新北市擔任 BOT 招商之主辦機關，開發土地由新北市辦理撥用程序後取得。

由於開發基地用地皆位於非都市計劃區，屬山坡地保育區，且使用地類別有礦業用地及未編定或未登錄土地等現況問題，根據非都市土地開發審議作業規範，本計畫開發之土地面積達二公頃以上，應變更為特定專用區。據非都市地使用管制規則第 30 條規定，辦理非都市土地變更編定時，申請人應擬具興辦事業計畫，其作業流程詳圖 133。

表 29、規劃範圍土地使用編定與權屬表(土地面積約 49.46 公頃)

| AREA | 類別 | | | | | | |
|------|--------|-----------|----------|------------|------------|----------|---------|
| KIND | 丙種建築用地 | 國土保安用地 | 農牧用地 | 礦業用地 | 暫未編定 | 總計 | 百分比 |
| 未登錄 | | | | | 6,675.73 | 6,675.73 | 1.35% |
| 國有 | 912.78 | 203604.89 | 4,805.93 | 111,524.42 | 163,127.18 | 483975.2 | 97.85% |
| 縣有 | | | | | 3,980.71 | 3,980.71 | 0.80% |
| 總計 | 912.78 | 203604.89 | 4,805.93 | 111,524.42 | 173,783.62 | 494631.6 | 100.00% |
| 百分比 | 0.18% | 41.16% | 0.97% | 22.55% | 35.13% | 100.00% | - |

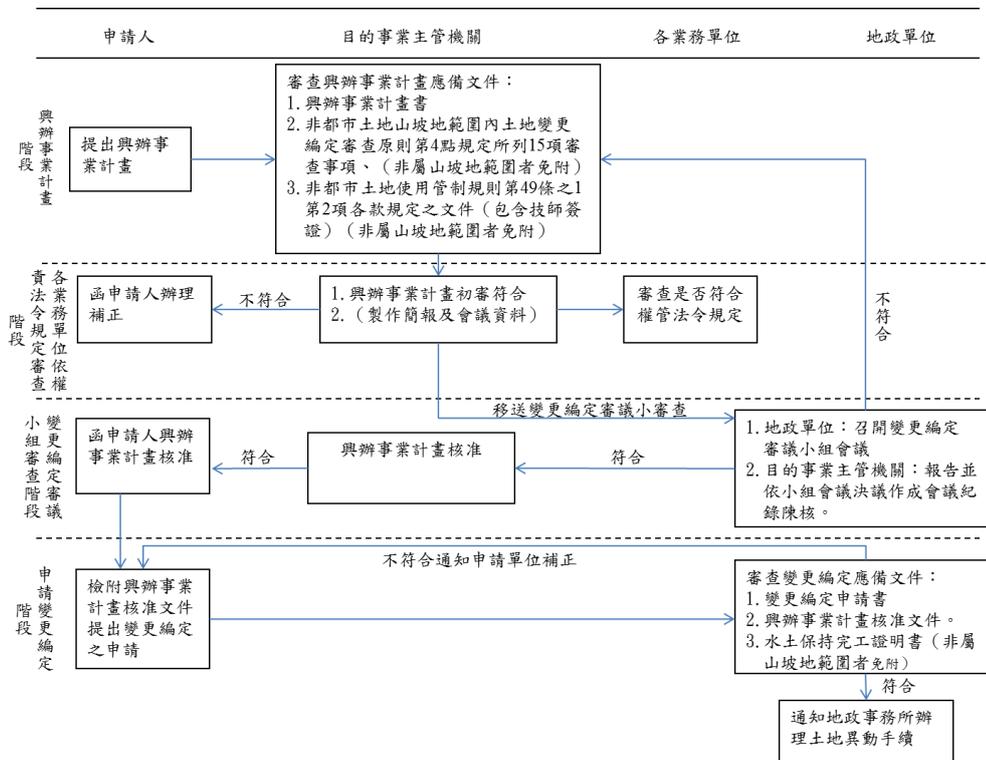


圖 133、興辦事業計畫審查及變更編定作業流程

(3) 初步工程規劃

A. 裝置容量

四礮子坪地熱發電場址，開發面積約 49.46 公頃，經以蘊藏熱法評估，初步推算之發電裝置容量約為 10 MWe，但依據台電公司

再生能源發電系統併聯技術要點：「再生能源發電系統併接於 11,400 伏特之高壓系統者，其最大躉售電力不得超過 5,000 瓩；併接於 22,800 伏特之高壓系統者，其最大躉售電力不得超過 10,000 瓩」。四磺子坪現有 11,400 伏特高壓系統桿線通過，依規定可申請 5MWe 併聯；但若欲申請 10 MWe 併聯，由於四磺子坪場址現地無 22,800 伏特高壓系統可就近併聯，須併聯遠至者基隆、汐止地區，考量併聯法規之限制，後續相關之規劃與財務分析以 5MWe 與 10MWe 裝置容量兩方案進行。

B. 土地使用規劃

依據地熱發電之設施需求，地熱發電場址之土地使用分為電廠區、生產井區、回注井區與露頭保護區(圖 134)。各區之主要設施說明如下：

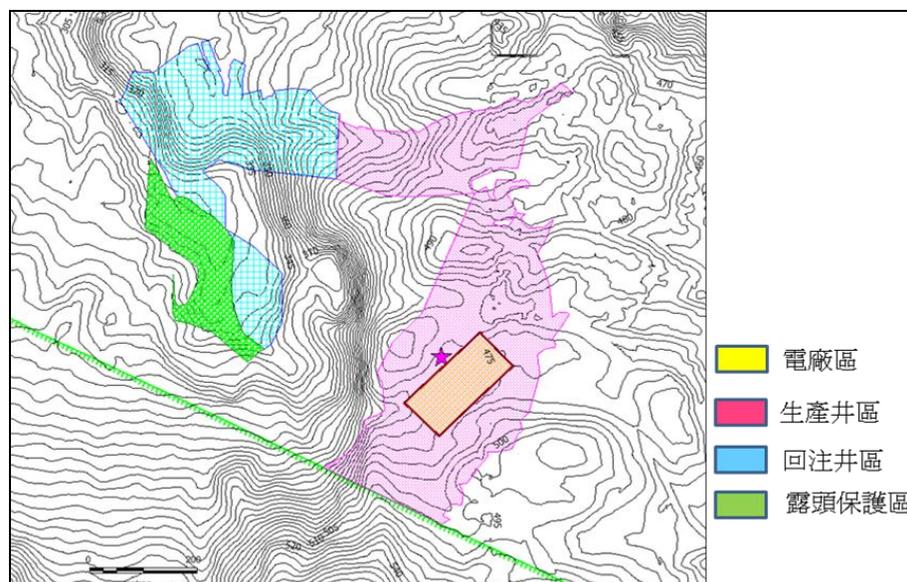


圖 134、土地分區使用規畫圖

(A) 電廠區

提供發電機組與附屬設施使用空間，包括發電廠房(發電機

組)、控制機房、冷卻塔、汽水分離站、變壓站、辦公室、器材室等設施。

(B) 生產井區

提供生產井、產能測試設施與管線等設施所需空間。

(C) 回注井區

提供回注井、與管線等設施所需空間。

(D) 露頭保護區

開發範圍內既有之法定溫泉露頭保護區，故設定為露頭保護區，依法不予以開發使用。

C. 發電系統與主要設施

四礮子坪地熱區，由於熱焓高，蒸汽含量預期高達 40~60%，電廠將採用發電效率較高之閃發式發電。主要設施包括廠房與發電機組、冷卻系統、生產供汽系統、回注系統、併聯設施、雜項設施等。(表 30)

表 30、地熱電廠主要設施摘要表

| 主要設施 | 設施項目 | 說明 |
|---------|------------------------------|-------------------------------------|
| 廠房與發電機組 | 發電機組、控制室、辦公室、器材室、警衛室 | |
| 生產供汽系統 | 生產井、汽水分離站、產能測試設施、酸性中和系統、供汽管線 | |
| 冷卻系統 | 水冷式或氣冷式 | 須評估是否有穩定之冷卻補充水，如果無足夠穩定水源，發電系統需採用氣冷式 |
| 回注系統 | 回注井、回注幫浦、回注管線、維護道路 | |
| 併聯設施 | 變壓站、保護設施 | |
| 雜項設施 | 進出道路、停車場、擋土牆、排水系統、圍籬 | |

(4) 費用估算與投資效益評估

A. 費用估算

依據前節之工程規劃，針對 10MWe 及 5 MWe 兩開發方案，初步估算地熱發電廠之建廠費用與運維費用。基本假設參數請參考(表 31)，其中生產井數與回注井之假設條件為 10 MWe 生產井數 6 口，回注井 2 口；5 MWe 生產井數 3 口，回注井 1 口。

10 MWe 及 5 MWe 兩開發方案估算之建廠費用與運維費用如下(詳細費用請參考表 32)：

10 MWe- 17.3 億元(建廠費用)；1.1 億元(年運維費用)

5 MWe- 9.1 億元(建廠費用)；0.6 億元(年運維費用)

表 31、地熱電廠基本假設參數表

| 項目 | 單位 | 裝置方案 1 | 裝置方案 2 | 備註 |
|------------|--------|-------------------|-------------------|------------------------|
| 電廠裝置容量 | MWe | 10 | 5 | |
| 地熱井總產能 | tph | 150 | 90 | 熱焓 1720 kJ/kg;發電效率 20% |
| 電廠壽命 | yr | 30 | 30 | |
| 電廠運轉率 | % | 92.0% | 92.0% | |
| 裝置容量因數 | % | 73.6% | 73.6% | |
| 年淨發電量 | kWh/yr | 64,473,600 | 32,236,800 | |
| 地熱生產井數(全部) | 井 | 6 | 3 | |
| 地熱生產井數(成功) | 井 | 5 | 3 | |
| 回注井井數 | 井 | 2 | 1 | |

表 32、地熱電廠建廠及運維費用估算表

| | 項目 | 單位 | 裝置方案一 | 裝置方案二 | 備註 |
|-------|--------------------|------|---------------|-------------|--|
| 1 | 建廠費用 | 元 | 1,730,500,000 | 914,500,000 | |
| 1.1 | 前置電廠籌設申請及事業興辦相關作業費 | 元 | 60,000,000 | 55,000,000 | 包含興辦事業計畫、環評、水保、鑽探測量、山坡地開發回饋金、興辦事業計畫書等前置電廠申設與執照取得作業費用 |
| 1.2 | 地熱生產設施小計 | 元 | 820,500,000 | 434,500,000 | |
| 1.2.1 | 探勘費用 | 元 | 50,000,000 | 30,000,000 | |
| 1.2.2 | 地熱生產井 | 元 | 432,000,000 | 216,000,000 | 72,000,000 元/井 2000m/井 |
| 1.2.3 | 產能測試 | 元 | 30,000,000 | 15,000,000 | |
| 1.2.4 | 汽水分離器 | 元 | 7,500,000 | 4,500,000 | |
| 1.2.5 | 熱水管線 | 元 | 15,000,000 | 12,000,000 | |
| 1.2.6 | 回注井(含幫浦) | 元 | 146,000,000 | 73,000,000 | 73,000,000 元/井 2000m/井 |
| 1.2.7 | 回注管線 | 元 | 15,000,000 | 12,000,000 | |
| 1.2.8 | 酸中和設施 | 元 | 20,000,000 | 12,000,000 | |
| 1.2.9 | 地熱田雜項設施 | 元 | 105,000,000 | 60,000,000 | 含整地、水保、土建(地熱田) |
| 1.3 | 發電系統設施小計 | 元 | 850,000,000 | 425,000,000 | |
| 1.3.1 | 電廠機組 | 元 | 700,000,000 | 350,000,000 | |
| 1.3.2 | 冷卻水設施 | 元 | 30,000,000 | 15,000,000 | |
| 1.3.3 | 併聯設施 | 元 | 30,000,000 | 15,000,000 | 不含輸配電線路 |
| 1.3.4 | 電廠雜項設施 | 元 | 90,000,000 | 45,000,000 | 含整地、水保、土建(電廠) |
| 2 | 年運轉費用 | 元/yr | 115,619,925 | 59,325,406 | |
| 2.1 | 發電系統年運轉維護費 | 元/yr | 34,000,000 | 17,000,000 | 發電設施之 4% |
| 2.2 | 地熱田年運轉維護費 | 元/yr | 49,230,000 | 26,070,000 | 生產設施之 6% |
| 2.3 | 溫泉水取用費 | 元/yr | 604,440 | 362,664 | 發電尾水 100% 回注，每立方公尺 0.5 元 |

註:104 年幣值，表中數字採四捨五入計算。上述經費僅為概略估算。

B. 投資效益評估

財務效益分析係依據前述各項基本假設參數之設定，以及本計畫興建期成本、營運成本及營運收入等規劃資料進行現金流量試算，並估算計畫自償能力及各項財務指標報酬率，再據以評估民間參與投資之財務可行性。整體財務計畫試算出之計畫內部報酬率、計畫淨現值、計畫還本年期、自償能力等各項投資財務評估指標，彙整如表 33所示。

本計畫以 BOT 方式辦理，興建期間投資金額龐大，雖受到收入維持不變的條件限制預估下，兩方案之自償能力分別為 112.35% 及 107.98%，顯示兩方案均具有完全自償的能力。

在不計入權利金的條件下，經財務試算後，方案一股東內部報酬率為 10.46%，股東淨值 173,294 千元；方案二股東內部報酬率則為 9.34%，股東淨值 58,982 千元。顯示在計畫設定民間機構要求之報酬率為 7% 時，計畫兩方案均已具有民間投資之財務可行性，因此，就財務觀點本計畫兩方案均具有其財務可行性，其試算結果顯示方案一(10 MWe)略優於方案二(5 MWe)。

考量最低投資報酬率 7% 之條件下，進行 10 MWe 開發方案權利金收取金額與比率之試算(表 34)，提供 BOT 主辦機關參考。

權利金收取開發權利金外，營運權利金可分為固定比率權利金及固定金額+比率權利金兩種，由表 6 分析可知，計畫採得標時收取單筆固定金額權利金較採固定比率金額權利金(即營運期按營運收入固定比率收取權利金)或固定金額+比率權利金為佳。但是考慮單筆固定權利金並無法有效分攤民間投資人之投資風險。並增加計畫初期籌資的困難，其次為了避免未來計畫營運期間收益狀況的不確定性，以及保有利益共享的彈性，採固定比率權利金

將可大幅增加民間參與的誘因。然而，考量公部門對企業的信心與承擔的風險過大，本計畫建議採固定金額與比率權利金併行的方式，主辦機關除可適度分攤風險外，亦可保有利益共享的彈性。

表 33、投資之各項財務評估指標

| 案 財務評估指標 | 方 | 方案一 (10 MWe) | 方案二(5 MWe) |
|------------------|---|--------------|------------|
| | | BOT | BOT |
| 特許年期 | | 20 年 | 20 年 |
| 營運權利金(佔營運收入) | | 0% | 0% |
| 開發權利金 | | 0 千元 | 0 千元 |
| 開辦費 | | 300 萬 | 300 萬 |
| 計畫內部報酬率 | | 6.57% | 6.27% |
| 股東內部報酬率 (現金流量基礎) | | 10.46% | 9.34% |
| 計畫淨現值 | | 251,973 仟元 | 102,199 仟元 |
| 股東淨現值 (現金流量基礎) | | 173,294 仟元 | 58,982 仟元 |
| 計畫回收年期 (名目法) | | 14 | 14 |
| 自償能力 | | 112.35% | 107.98% |
| 加權平均資金成本率 | | 5.01% | 5.01% |

註：名目法回收年期係以當年幣值計算之，本計畫自計畫特許年起算。

表 34、權利金收取金方式建議

| 財務評估指標 | | BOT | | |
|------------------------|----------------|-------------|-------------|----------------|
| | | 固定金額 權利金 | 固定比率 權利金 | 固定金額＋ 比率權利金 |
| 權利金 (%,千元/ 當年幣值) | 開發權利金 (第一年) | 281,807 千元 | - | 105,537 千元 |
| | 營運權利金 (每年) | - | 7.97% | 5% |
| 營運期合計 | 當年幣值 | 281,807 千元 | 516,0666 千元 | 429,848 千元 |
| | 104 年現值 | 255,583 千元 | 252,082 千元 | 253,947 千元 |
| 股東內部報酬率 | | 7.00% | 7.00% | 7.00% |
| 股東淨現值 | | 0 千元 | 0 千元 | 0 千元 |

(5) 商業電廠 BOT 案推廣

四礮子坪地熱發電之開發，以採民間參與模式(BOT)為最可行之方式，開發步驟大致可劃分兩大階段：(A)BOT 前置作業及招商；(B) 電廠籌設與興辦。兩階段之作業流程分別參考圖 135與圖 136。BOT 前置作業及招商由主辦機關(新北市)辦理，電廠籌設與興辦則由得標簽約廠商負責。

本項工作以四礮子坪地熱發電開發為標的，並與新北市於 2015/5/14 簽署「金山區地熱發電開發計畫合作意向書」，配合地熱計畫之地質、地物、鑽井與酸蝕等研究成果，本年度已完成 BOT 前置作業相關之可行性評估與先期規劃報告，提供將來新北市將來辦理 BOT 招商作業之參考。

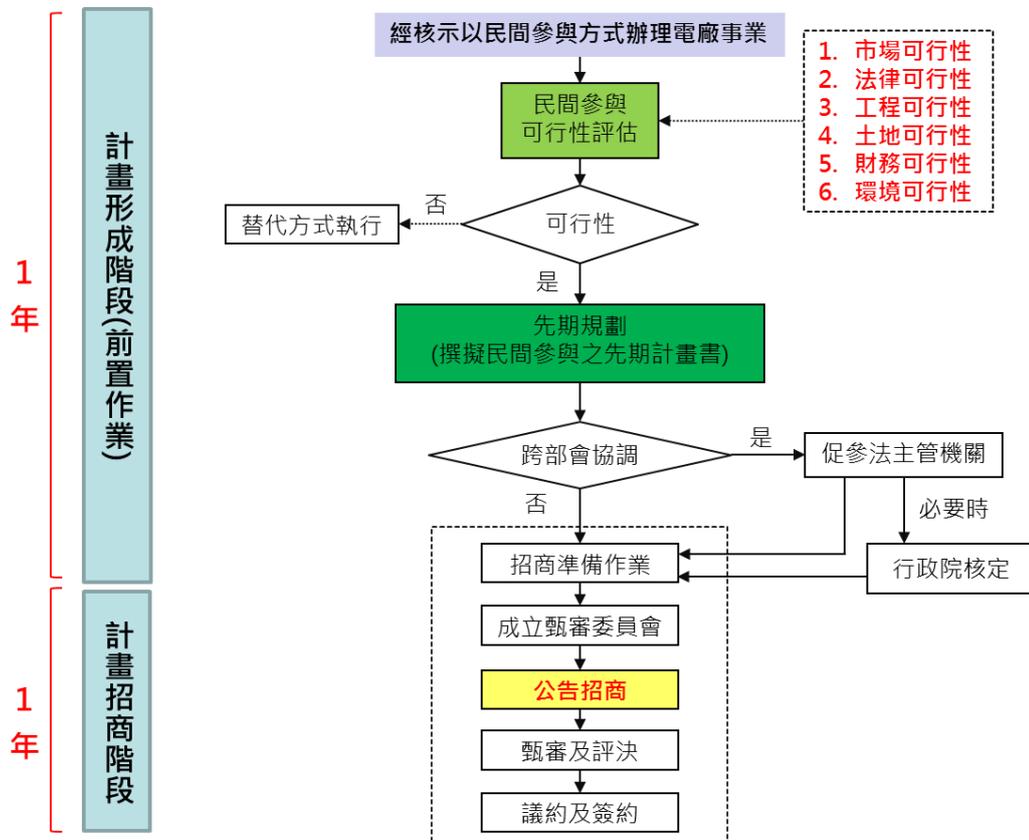


圖 135、BOT 前置作業及招商階段作業流程

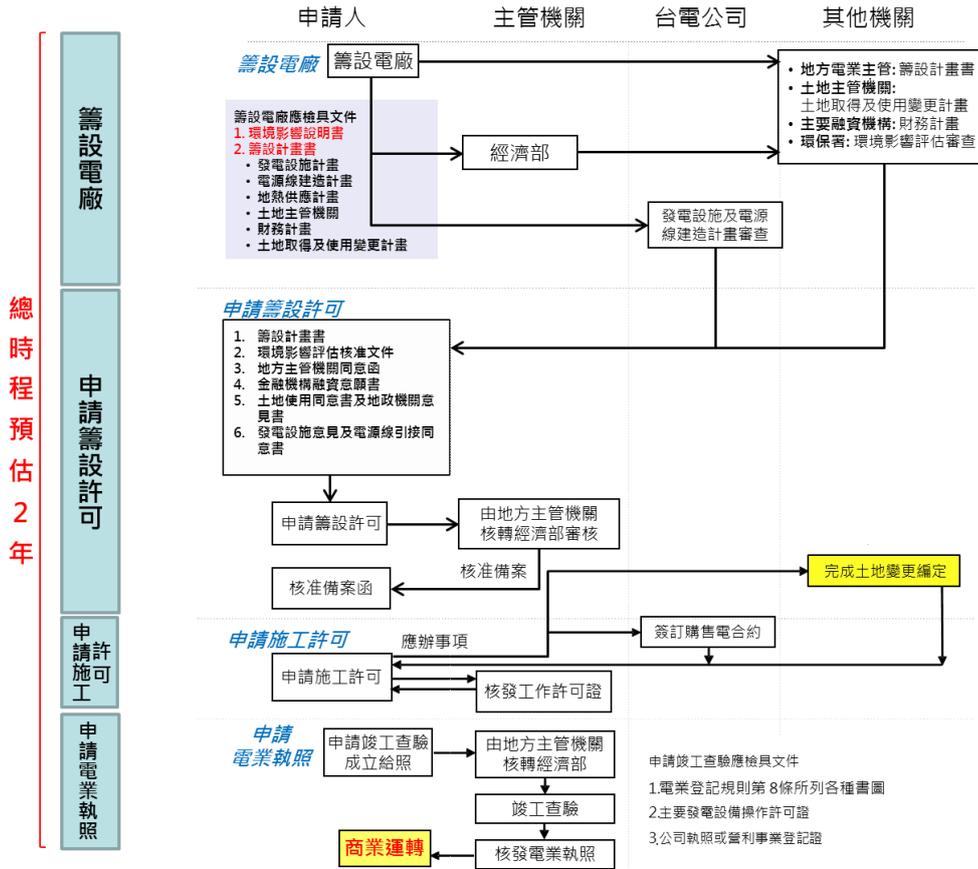


圖 136、電廠籌設與辦階段作業流程

1.3.2 國際合作與推廣

1.3.2.1 國際合作

為精進大屯火山地熱概念模式，本年度延續上(FY103)年度與美國勞倫斯國家研究室(Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL)，於104年5月13日完成國際合作新增內容簽約，合作內容包括:三維大地電磁逆推處理、地球化學資料分析、鑽井工程建議與大屯火山區地熱概念模式等內容。完成之內容說明如下:

(1) 三維大地電磁探測逆推

本項目之執行重點在於將本年度在四礮子坪目標區新增之10組大地電磁探測資料(圖 137)納入三維電阻模型逆推中，並使用美國勞

倫斯實驗室開發的 EMGeo (Newman and Alumbaugh,2000; Newman et al., 2003)三維大地電磁逆推程式進行精密的三維逆推處理。

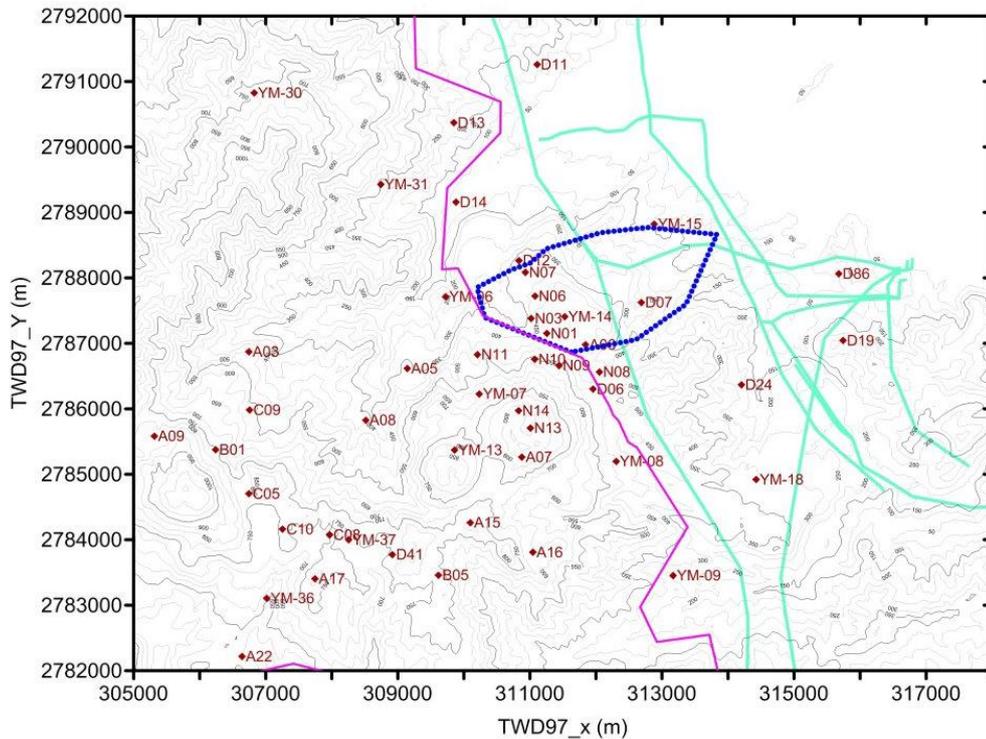


圖 137、四礮子坪地區新增之大地電磁探測站分布圖
(No.1~No.10)

圖 138為本年度新完成之大屯火山區三維電阻模型，圖中淡藍色區塊為低電阻分布情況，亦即可能的蓋層分布，由本圖亦可看到在四礮子坪附近有低電阻蓋層出現，顯示四礮子坪區域地下可能蘊藏有高溫地熱儲集層。為進一步獲得四礮子坪區域的地下特性，將本次資料處理完成的結果在過去鑽鑿的探勘井位(E205, E208, CPC-SHP1)及本年度新鑽鑿井位下方的電阻分布圖以一維的方式呈現(圖 139)，圖 139中顯示本年度新鑽鑿井位下方的低電阻特徵最為明顯，有機會鑽獲良好的地熱儲集層。

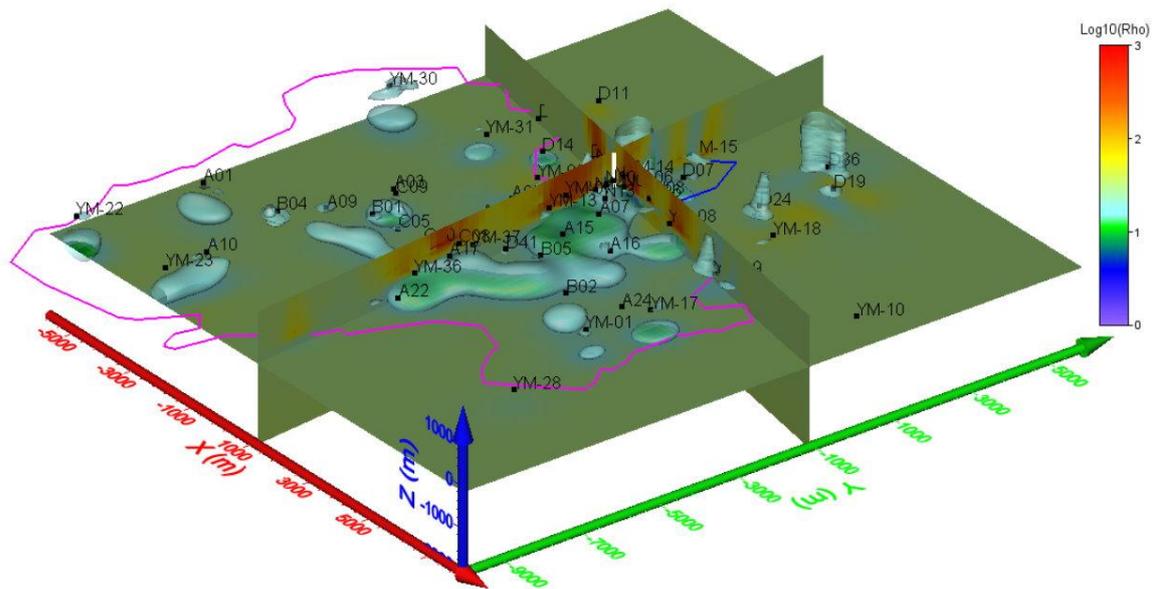


圖 138、經 EnGeo 程式逆推完成後之三維電阻模型

圖中淡藍色部分為低電阻蓋層的分布位置

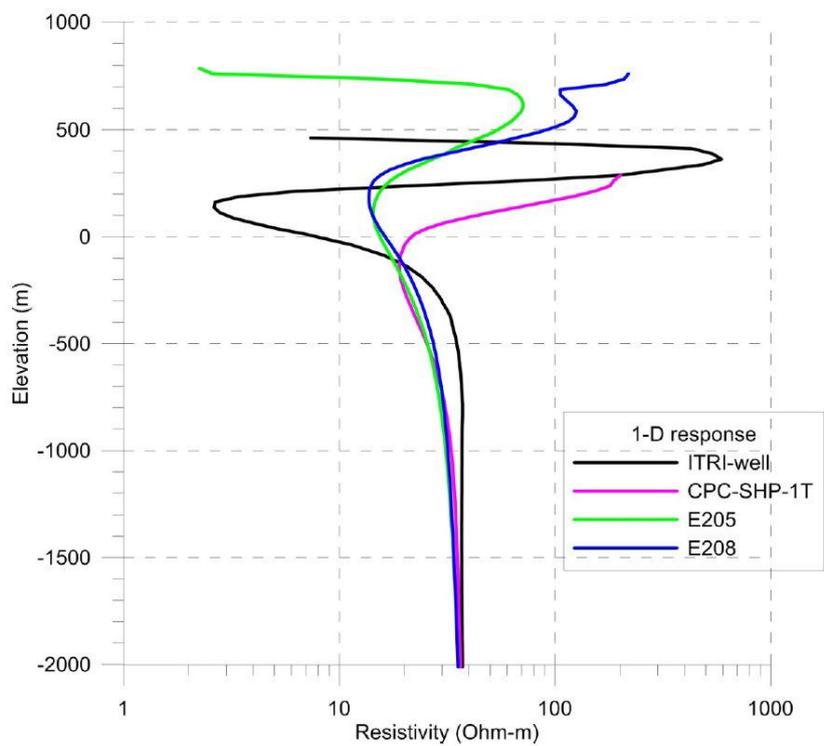


圖 139、鑽探井位下方電阻隨深度變化情形

(2) 地球化學資料分析

地球化學分析資料主要延續去年分析結果，並將本年度新增的氣體化學分析資料(圖 140)納入分析，利用不同時間獲得的氫氣、氮氣及氫氣之三成分比例圖分析資料(圖 141)，了解本區地熱資源的變化情形。除地熱資源變化情形外，亦利用 SO₂ 與 H₂S 地質溫度計進行儲集層溫度分析，採用 RH=-5 時不論四磺子坪或煥子坪計算出來的儲集層溫度範圍都在 250~280°C 之間(圖 142)。

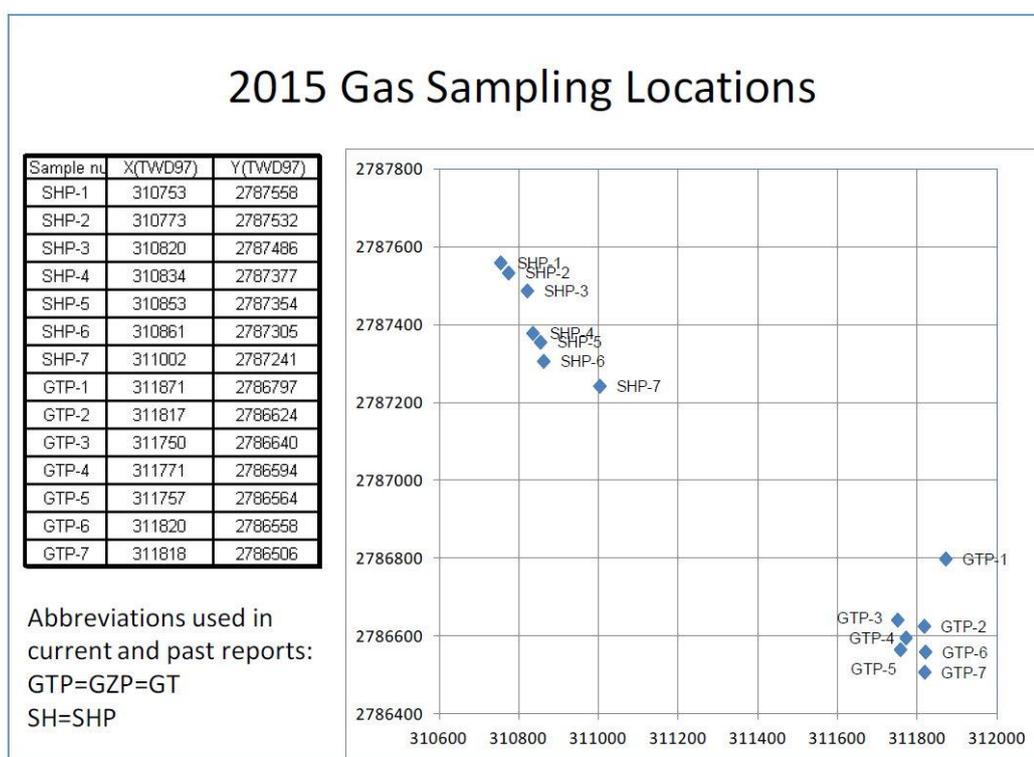


圖 140、本年度(2015)新增火山噴氣孔氣體分析位置圖

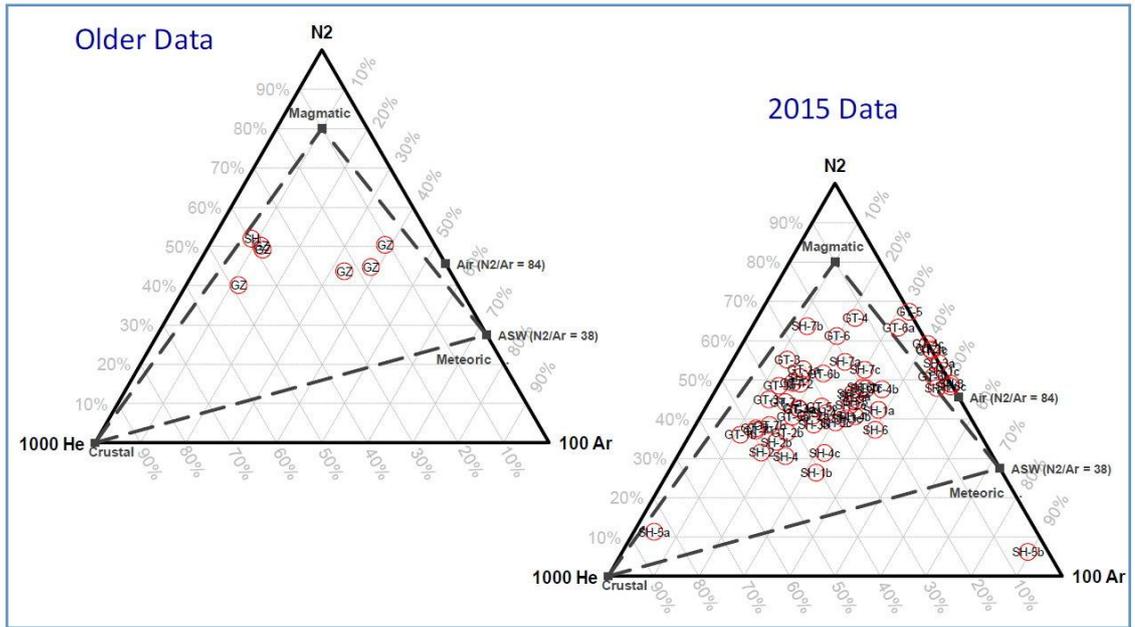


圖 141、新舊噴氣孔氮氣、氬氣及氦氣之三成分比例圖

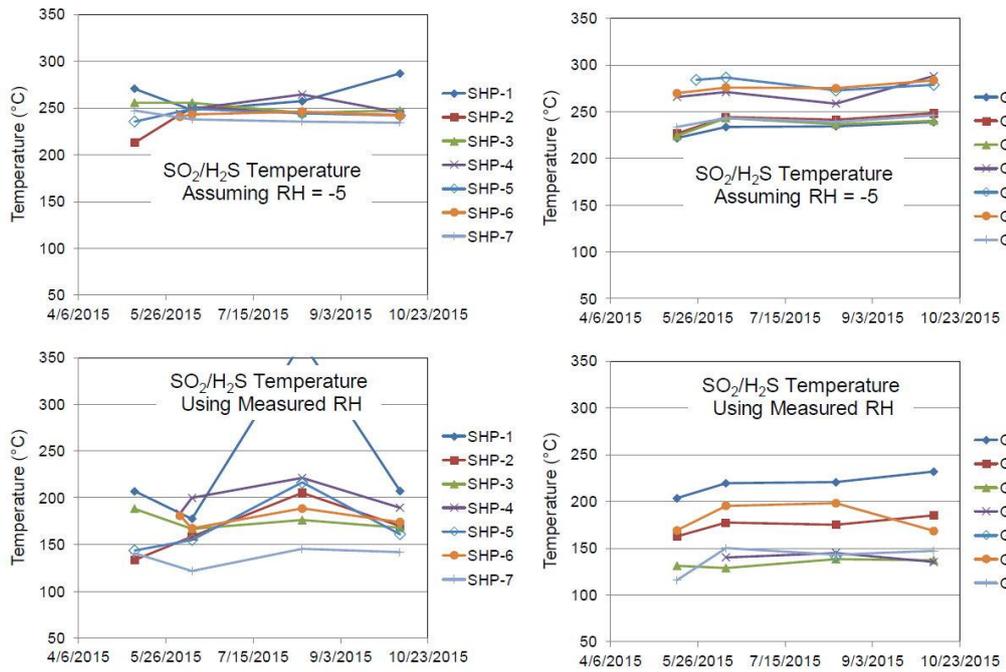
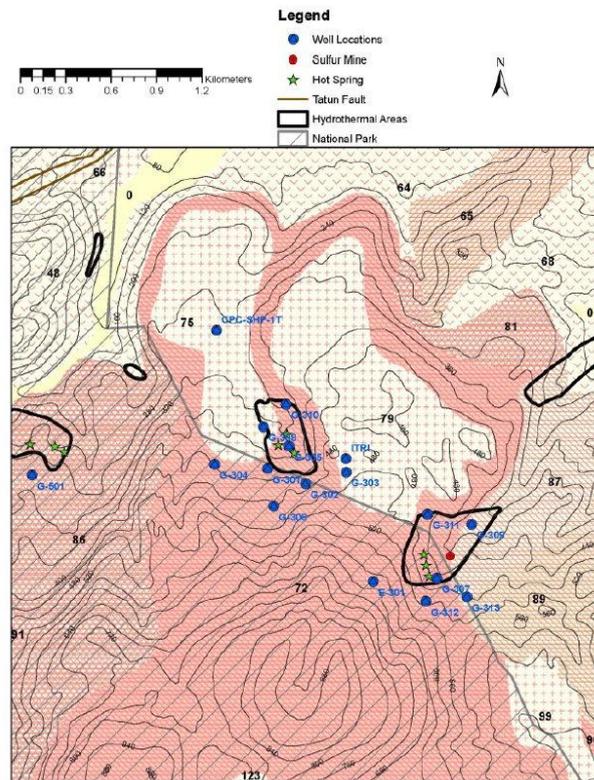


圖 142、火山噴氣口二氧化硫/二氧化氫比值地質溫度計分析圖

(3) 大屯火山區地熱概念模式修訂

大屯火山地熱開發的關鍵挑戰包括:溫度夠高($\geq 200^{\circ}\text{C}$)、足夠且不酸的地熱流體,這些在去年(2014)的報告中已經大致描述可能的儲集層位置。本年度依據在四礮子坪附近新增大地電磁探測、火山噴氣量測及過去中油鑽鑿的 2,000 秀峰坪深井資料,針對四礮子坪地區進行地熱概念模式的修訂。由三維大地電磁資料可知,熱水換質帶(圖 143)自噴發中心的馬槽地區向東北側外圍延伸,邊界落在四礮子坪-煥子坪附近,本年度探勘井位在地熱系統的邊緣。圖 144 為本區域的溫度-深度分布圖,依據本區域過去的探勘井及本年度探勘井的溫度推估,深度 1,300 公尺處的溫度約在 160°C 。經過上述修正後,大屯火山區東北-西南方向(金山-北投)的地熱概念模



式剖面如圖 145。

圖 143、四礮子坪地區熱水換質帶分布圖

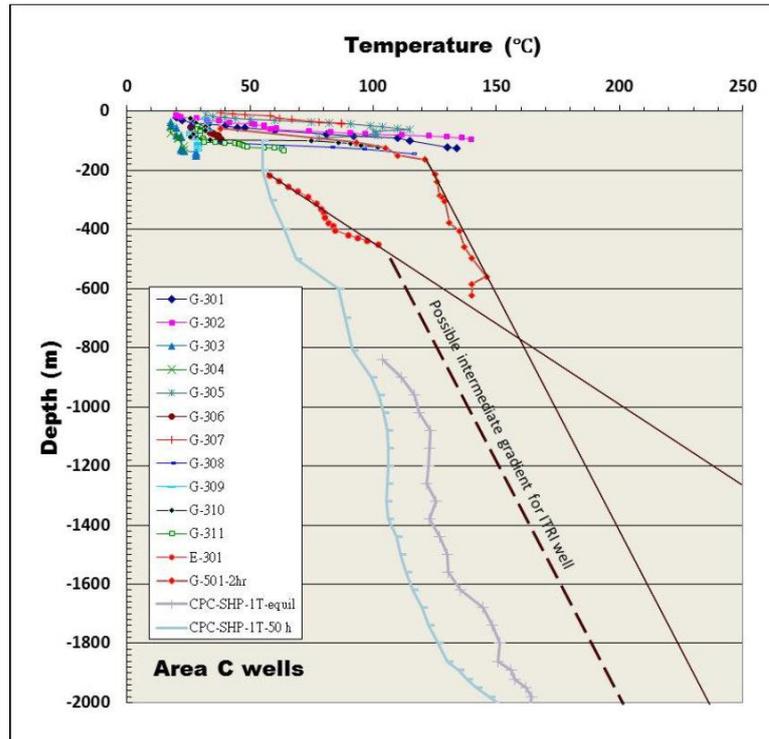


圖 144、鑽井溫度-深度分布圖

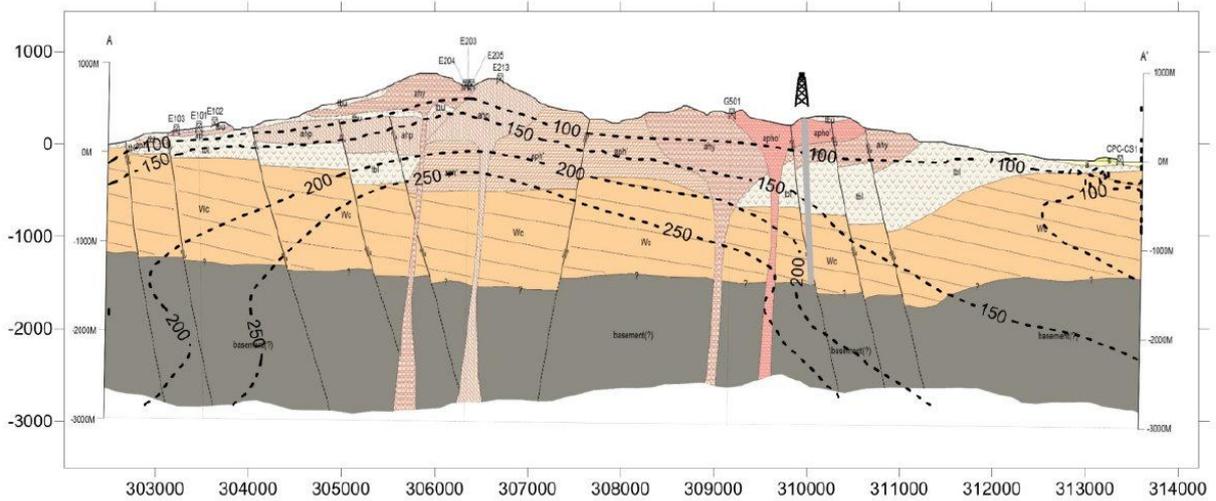


圖 145、四礮子坪地區地熱概念模式圖

1.3.2.2 國際行銷與推廣

由計畫主持人柳志錫博士於 104 年 4 月 14~18 日期間赴澳洲參加 2015 世界地熱研討會(2015 World Geothermal Congress, WGC 2015),於會中發表”應用於地熱井管結垢清除之流體驅動裝置試驗(Experiment of Fluid Driven Rotational Device for Scaling Remove Inside the Geothermal Well)”及 “台灣清水地熱區之碳酸鈣結垢抑制系統測試(Test of Calcium Carbonate Scale Inhibition in Chingshui Geothermal Field, Taiwan)”,並與紐西蘭、菲律賓、日本及澳洲等地熱專家進行技術交流與經驗分享。

菲律賓在火山型地熱開發經驗豐富,且臺灣大屯山火山區目前正值地熱開發前期評估階段。因此柳志錫博士亦於 104 年 12 月 1~4 日,率領包含工研院、臺灣中油臺灣大學與民間公司等約 9 人的臺灣地熱參訪團,赴菲律賓參訪 EDC 電廠並參加第 21 屆臺菲部長級經濟合作會議(圖 146與圖 147)。臺菲雙方就火山型地熱開發作進階討論,並在雙方之地熱開發合作基礎上,菲方持續提供協助,如提供地熱鑽井技術與火山型地熱開發技術之相關訓練課程。



圖 146、第 21 屆臺菲部長級經濟合作會議-地熱參訪團員與部長合照



圖 147、第 21 屆臺菲部長級經濟合作會議-地熱合作議題討論

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) 為了降低地熱發電系統設置成本及有效維持地熱發電系統設備之使用，使用防腐蝕塗料及鍍膜在一般不銹鋼或銅金屬上應是可行方式。若能以不銹鋼或銅金屬上做噴塗防腐蝕塗料處裡取代鈦金屬或鎳基合金使用且能維持相同使用年限，則至少可降低一半以上地熱發電系統設置成本，足具有相當大發展潛力。
- (3) 提供本計畫研發之抗高溫酸蝕材料及相關評估技術，協助晶湛光電公司進行功能性鍍層及表面處理技術評估，協助該公司進行跨領域材料開發之評估與諮詢。

2.2 地熱業界合作洽談之情形

- (1) 本院於今年度與三聯科技股份有限公司，完成儲集層工程技術先期業界合作案，主要合作項目為微震監測系統與高精度定位成象技術，含技術授權與技術服務內容，簽約金額約 300 萬。。
- (2) 與 BWA 台灣公司洽談生物結垢制劑專利【新穎的嗜熱菌及其胞外蛋白之應用】，未來合作之意願。
- (3) 本計畫預計與工研院進行合作，工研院對於大屯山相關水質與環境相當了解，有助於本計畫的投入與執行。未來計畫完成後將投入 1000 萬進行生產投資，將成果實際運用積極提升國內地熱發電系統開發。

2.3 地熱產業推廣

- (1) 本年度台電與工研院簽訂合作開發綠島地熱潛能合作意向書，協助台灣電力股份有限公司再生能源處開發「綠島地熱發電機組試驗性計畫」，透過歷史資料整理與評估，評選台電公司可能開發之地熱發電

- 廠址，做為後續台電公司投入綠島地熱發電的參考依據。
- (2) 接受玖臻建設有限公司委託，針對台東縣紅葉溫泉特定區進行「台東紅葉溫泉地熱資源調查」，評估在調查區內進行自有地開發 1MW 地熱發電廠，以利地熱發電事業之發展。
 - (3) 與永豐餘公司洽談清水橋 40 公頃地熱 BOT 案合作事宜，有關提供合作意願書給永豐能源科技公司參與宜蘭縣政府地熱開發 BOT 案評選。

3. 分包研究計畫執行說明

本分包研究計畫係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」，預定時程為期三年，第一年(本年度)旨在建立理論與數值模擬工具，同時設計儀器量測系統。研究成果摘述如下：

(1) 線源理論推導

傳統地電阻探測以點電源為場源，受到電極展距與輸出電流功率的限制，探測深度有限。本研究發展利用地熱場址之金屬套管井孔作為供電發射端，形成人工線源，可獲得更深層的探測深度資料，並進行理論的推導。假設三維等向電性地層，利用耗損介質中傳輸線源理論進行模擬推導，將充電的金屬套管視為一線電流源，並假設其上的電流密度為定值，完成電位場分布解析之推導。除了建立了線源理論數學函數外，並建立數值模擬工具，以進行後續地層模型的模擬與計算。

(2) 數值模擬

在線源數值模擬上，針對均質地層模型以及水平層狀模型進行測試，並探討地層中出現低電阻異常體（如地熱流體、金屬導體等物質）時，其對地下電場的影響。

(A) 透過均質及層狀地層模型在地層間的電流密度及電位分布模擬結果，顯示傳輸線解與線源差分計算所解得的結果幾乎一致，並且與解析解的相對誤差最大不超過 4%。驗證了本研究可以精確掌握線源計算的正確度。

(B) 長直金屬套管線源建立的電流密度，可以沿著高導電性的金屬線源，以極緩慢甚至不衰減的狀況，直向深部地層穿透，顯示線源具有強大的測深能力。在各深度的衰減，基本上將只是以線源軸心距離為變數之函數，不依深度而異，此相較於點源之衰減，將相對地

緩慢。

- (C) 就地層中出現低電阻異常體之模擬方面，比較人工電流線源及點源兩種條件下之結果顯示，長直金屬套管線源有機會作為主動式電探調查技術之場源，且具有探測深度較深，相對不受幾何因子的影響，在異常體的定位上相對容易之優點。且其電位梯度變化較劇烈，顯示信號強度相對較強。

(3) 反演解算

- (A) 在進行反演計算之前，先進行靈敏度矩陣計算與分析，以瞭解資料的辨識能力與可靠度。依據靈敏度分析結果顯示，當電位極安置於井下時，線源的施測條件對地層電阻率的變異，可提供較強的辨識能力。
- (B) 完成以單組電流偶極與多組點電流源之二維反演解算，從反演解算結果顯示，可以解算出合理深度之地層電阻率值，且解算所得之電阻率遠離了初始假設值，並逐步逼近理論模型之電阻率值。正演電位與反演電位，兩者極為相近，顯示反演解算程序收斂良好，且具有混合解算地層電阻率構造的能力，印證本研究建立的反演解算程序具有良好之解算成效。

(4) 計自動量測系統設

本研究因應地熱流體監測需求，提出將 SP 與 ERT 兩者結合在一起連續密集量測的儀器系統概念。透過雙工系統分離出訊號中人工電場部分的資訊，視測線施測時間而定，可固定時段頻繁地採集 ERT 資料，藉之解算地表下的電阻率構造變化，密集地監視地表下目標物物理狀態（如含水量、汙染物濃度等）的連續改變。而在 SP 連續監測上，藉由資料擷取模組具備數十赫茲的採樣頻率，並透過網路即時傳輸功能，可讓使用者隨時隨地監看受測場址的天然電場變化。

4. 技術引進計畫執行說明

- (1) 為精進大屯火山地熱概念模式，本年度延續上(FY103)年度與美國勞倫斯國家研究室(Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL)，於104年5月13日完成國際合作新增內容簽約，合作內容包括:三維大地電磁逆推處理、地球化學資料分析、鑽井工程建議與大屯火山區地熱概念模式等內容。10月1~3日參加2015 ICGE地熱國際研討會，邀請美國LBNL與紐西蘭GNS地熱專家來台辦理講習課程及發表論文，並進行後續地熱開發技術合作洽談。
- (2) 在菲律賓國際合作方面，年於菲律賓舉行的「第19屆台菲(菲律賓)部長級經濟合作會議」中菲律賓表達願意地熱開發技術專長，共同與台灣合作開發特定地熱區。目前就菲律賓的鑽井團隊能力強大，搭配台灣將進行大屯山開發的議題，於年初菲律賓EDC代表一行參訪工研院探討大屯火山地熱概念模型，進行雙方技術團隊的技術交流，作為大屯山鑽井工程之參考。12月份亦派員參加第21屆台菲部長級經濟合作會議，達成台菲雙方未來在地熱開發方面合作協議。

(二) 實際進度與預定進度比較

| 工作項目 | 重 (%) 工 (%) 作 比 進 年 月 | 104年 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| | | 1 月 | 2 月 | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 |
| 1.技術研發 | 24 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| 1.1專家輔助決策系統 | 12 | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 1.1.1資料庫建置輔助分析 | 6 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| | | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 1.1.2三維數值視覺化分析 | 6 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| | | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 1.2地熱田開發關鍵技術 | 12 | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 1.2.1耐酸蝕材料技術 | 6 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| | | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 1.2.2儲集層監控管理技術 | 6 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| | | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 2.資源調查與評估 | 50 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| 2.1地熱場址潛能評估 | 38 | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 2.1.1試驗井鑽鑿 | 35 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| | | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 2.1.1產能測試 | 3 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| | | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 2.2地熱場址調查與監測 | 12 | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 2.2.1場址調查與構造分析 | 6 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| | | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 2.2.2微震觀測網設置監測 | 6 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| | | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 3.產業推廣與國際合作 | 21 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| 3.1地熱電廠推廣 | 13 | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 3.1.1小型電廠推廣 | 7 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| | | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 3.1.2新北市電廠BOT規劃 | 6 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| | | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 3.2國際合作與推廣 | 8 | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 3.2.1國際合作 | 3 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| | | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 3.2.2國際行銷與推廣 | 5 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| | | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 4.報告撰寫 | 5 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| 4.1季報 | 2 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| | | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 4.2期中報告及執行報告 | 3 | 預定進度 | | | | | | | | | | | |
| | | 實際進度 | | | | | | | | | | | |
| 合 計 | 100 | 累計進度 | | | | | | | | | | | |
| | | 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 | 104.03.31 | 完成專家系統資料庫擴充建置 | 104.03.31 | 符合進度 |
| 2 | 104.09.30 | 完成整合蒐集及自行調查之地質、地球物理、地球化學、井錄資料...等相關資訊，建立調查區域完整的探勘資源資料庫。 | 104.09.21 | 符合進度 |
| 3 | 104.06.30 | 完成異質維度資料鏈結轉換與展示互動功能開發 | 104.06.27 | 符合進度 |
| 4 | 104.11.30 | 本系統包含「多重參數特性分區」及「空間集合體積估算」兩部分，藉由使用者互動界面圈選特定範圍並進行條件篩選，符合條件岩體分布則進行體積估算，並展示於三維系統中。 | 104.11.30 | 符合進度 |
| 5 | 104.05.31 | 耐酸蝕合金材料製作，腐蝕電流 $<10^{-5}A/cm^2$ ，鹽霧試驗 >48 小時 | 104.05.31 | 符合進度 |
| 6 | 104.11.30 | 將開發之鍍鉻製程與配方轉移到 SS304，藉由加熱至 400oC 以上形成均勻鍍膜，進入鹽霧試驗測試，持續進行中，預計可滿足 196 小時之需求。 | 104.11.30 | 符合進度 |
| 7 | 104.03.31 | 完成線型電極數學模式建立 | 104.03.31 | 符合進度 |
| 8 | 104.11.30 | 根據地熱場址環境特性，建立人工線源之電場數值模型，透過數值模擬確認線源理論與模擬結果的可靠度。將能大幅提升對地層模型各處之解析，特別是深部地層之解析能力。 | 104.11.30 | 符合進度 |
| 9 | 104.03.31 | 完成井位選定 | 104.03.31 | 符合進度 |
| 10 | 104.10.31 | 完成第一期探勘井鑽鑿(500 公尺) | 104.11.30 | 1. 本項工作，依內部採購契約內容於104 年0 6月29日開工。原新北市府同意此 |

| 查核點 | 預定時間 | 查核點概述 | 實際時間 | 差異說明 |
|-----|-----------|---|-----------|---|
| | | | | <p>案不需申請水土保持，開工後新北市政府農業局於104年07月初派員至現場勘察多次後，通知本院此案需補送簡易水土保持文件，未通過前需停工。</p> <p>2. 經申請簡易水土保持文件，並於104年07月27日通過取得復工，造成停工天數20天。在鑽鑿過程衝鑽作業時遭遇較硬岩體影響，進度緩慢，延至104年11月29日完成。目前，本井鑽鑿深度已完成600公尺。</p> |
| 11 | 104.11.30 | 完成產能測試(溫度恢復試驗) | 104.12.03 | <p>本項完成產能測試(溫度恢復試驗)，為配合9-5/8"套管深度，鑽井深度延至600公尺，鑽鑿工期至104年11月30日完成。目前本井已達104年度目標深度，12月3日完成溫度恢復試驗。</p> |
| 12 | 104.06.30 | 完成試驗場址大地電磁測勘 | 104.06.30 | 符合進度 |
| 13 | 104.09.30 | 利用地球化學調查的方法，針對大屯火山地區進行火山噴氣與土壤氣體成份量測分析，以獲得場區之氣體特性。 | 104.09.30 | 符合進度 |

| 查核點 | 預定時間 | 查核點概述 | 實際時間 | 差異說明 |
|-----|-----------|--|-----------|------|
| 14 | 104.04.30 | 完成新增微震站設置工程 | 104.04.01 | 符合進度 |
| 15 | 104.11.30 | 完成微震定位及速度成像運算及資料解析，成像資料使用 2014-2015 兩年之觀測資料進行雙差分微震成像。 | 104.11.30 | 符合進度 |
| 16 | 104.12.20 | 完成台北市政府小型酸性示範電廠建置，並於 12/15 辦理成果發表記者會 | 104.12.20 | 符合進度 |
| 17 | 104.11.30 | 完成新北市四礮子坪地熱發電開發 BOT 前置作業相關之可行性評估與先期作業規劃。 | 104.11.25 | 符合進度 |
| 18 | 104.11.30 | 完成修訂主要整合本年度在四礮子坪地區新增的 MT 探測資料、噴氣孔化學分析資料及中油 SHP-1T 鑽井資料，針對四礮子坪地區進行更精細的概念模式建置。 | 104.11.30 | 符合進度 |
| 19 | 104.11.30 | 柳志錫博士於 104 年 4 月 14~18 日期間赴澳洲參加 2015 世界地熱研討會。 | 104.04.14 | 符合進度 |
| 20 | 104.04.20 | 提交第一次季報 | 104.04.18 | 符合進度 |
| 21 | 104.07.20 | 提交第二次季報 | 104.07.17 | 符合進度 |
| 22 | 104.10.20 | 提交第三次季報 | 104.10.20 | 符合進度 |
| 23 | 104.07.25 | 提交期中報告 | 104.07.24 | 符合進度 |
| 24 | 104.12.31 | 提交年度執行報告 | 102.12.25 | 符合進度 |

(四) 目標達成情形說明

| 計畫目標 | 達成狀況 | 差異檢討 |
|---|--|--------|
| 文獻數值資料庫建立 | 完成大屯山含地質、地物、地化、鑽井資料之文獻數值資料庫建立，其中主要的地物及地化資料已於報告前文 3.1.1.1 中說明。 | 符合目標規劃 |
| 二維、三維連動展示技術建立 | 完成資料庫與二、三維資料整合即時連動運算展示系統，其主要達成內容已於報告章節 3.1.1.1.2 中說明。 | 符合目標規劃 |
| 腐蝕速率小於 0.1 mil/yr，耐磨耗，10nt 施力下硬度 \geq 4H。 | 小型陶瓷/金屬鍍層試片 (>1cm*2cm) 目前滿足設定目標，腐蝕速率小於 0.1mil/yr，硬度高於 500HV，亦滿足 10nt 施力下硬度 \geq 4H | 符合目標規劃 |
| 地熱場線源理論之建立與數值模擬 | 因應地熱流體監測需求，研發結合自然電位(SP)法與地電阻(ERT)法之自動雙工監測系統，完成工作流程制定與初步設計。 | 符合目標規劃 |

(五) 計畫延長或變更執行情形

原計畫書翁勳政(研究員) 3 人月、陳敏祥(研究員) 8 人月，於第一季變更為黃鎮臺(研究員) 3 人月、翁勳政(研究員) 1 人月、陳敏祥(研究員) 7 人月。

於變更第四季人力，變更前陳文山(研究員)4 人月、李毓仁(研究員) 3 人月、翁勳政(研究員) 1 人月、李清瑞(研究員) 10 人月、陳敏祥(研究員) 7 人月、廖彥喆(研究員) 7 人月、劉力維(副研究員) 10 人月、江道義(助理研究員) 9 人月及李惠容(助理研究員)6 人月，變更後陳文山(研究員)2.72 人月、李毓仁(研究員) 0.83 人月、翁勳政(研究員) 3.56 人月、李清瑞(研究員)4.16 人月、陳敏祥(研究員) 9.82 人月、廖彥喆(研究員) 5.37 人月、劉力維(副研究員) 11.58 人月、江道義(助理研究員) 1.49 人月及李惠容(助理研究員)9.56 人月。因配合鑽井工程工安作業新增新增李清源(研究員) 4.29 人月。

(四) 研發成果統計

表三：成果統計

| 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 | 1 | |
| | | 國 外 | 1 | 1 | | 項 數 | 1 | 1 | |
| | 獲 得 | 國 內 | 1 | 5 | | 廠 家 數 | 1 | 1 | |
| | | 國 外 | 0 | 2 | | 技 術 授 權 金 | 500 | 500 | |
| | 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 | 2 | J.技術服務 | 件 數 | 0 | 2 | |
| | | 國 外 | 1 | 1 | | 廠 家 數 | 0 | 2 | |
| | 研 討 會 | 國 內 | 2 | 5 | | 項 數 | 0 | 2 | |
| | | 國 外 | 1 | 2 | | 金 額 | 0 | 1,920 | |
| C.研究報告 (篇數) | 年度執行報告 | | 1 | 1 | K.分包研究 | 學 件 數 | 1 | 1 | |
| | 技 術 | | 3 | 3 | | 學 金 額 | 2,000 | 2,000 | |
| | 調 查 | | 1 | 1 | | 業 件 數 | 0 | 0 | |
| | 訓 練 | | 0 | 0 | | 業 金 額 | 0 | 0 | |
| | 出 國 | | 1 | 2 | L.研討會 (座談會、 示範觀摩會、 培訓課程) | 場 次 | 1 | 6 | |
| | 分 包 | | 1 | 1 | | 人 數 | 30 | 565 | |
| | | | | 金 額 | | 0 | 0 | | |
| D.業界合作 (一) 合作研究 | 件 數 | | 0 | 0 | M.推廣活動 | 收 入 | 0 | 0 | |
| | 項 數 | | 0 | 0 | | 支 出 | 0 | 150 | |
| | 廠 家 數 | | 0 | 0 | 場 次 | 1 | 8 | | |
| | 配 合 款 | | 0 | 0 | 金 額 | 0 | 0 | | |
| | 先 期 技 術 授 權 金 | | 0 | 0 | 支 出 | 200 | 850 | | |
| | 權 利 金 | | 0 | 0 | 人 數 | 0 | 43 | | |
| E.業界合作 (二) 先期參與 | 件 數 | | 2 | 3 | N.人才培訓 | 場 次 | 0 | 3 | |
| | 項 數 | | 2 | 2 | | 金 額 | 0 | 50 | |
| | 廠 家 數 | | 2 | 3 | O.人才培育 | 博 士 | 2 | 2 | |
| | 技 術 服 務 費 | | 6,000 | 2,648 | | 碩 士 | 2 | 2 | |
| | 先 期 技 術 授 權 金 | | 1,500 | 950 | P.環保效益 | 減 少 CO ₂ 排 放 量 (公 噸) | 190 | 0.29 | |
| | 權 利 金 | | 0 | 0 | | 增 加 能 源 供 應 或 節 能 量 (公 乘 油 當 量) | 259.2 | 5.3 | |
| F.促進投資 生產 | 件 數 | | 2 | 7 | Q.能源效益 | 數 量 | 0 | 0 | |
| | 項 數 | | 2 | 2 | | 金 額 | 0 | 0 | |
| | 金 額 | | 60,000 | 30,000 | | R.宣導手冊 | 次 數 | 2 | 9 |
| G.促進就業 | 人 數 | | 5 | 24 | S.媒體露出 | | 件 數 | 0 | 1,517 |
| | 件 數 | | 1 | 2 | | T.性別主流化 推動成效及投 入經費統計表 | 金 額 | 0 | 0 |
| H.技術引進 | 件 數 | | 1 | 1 | | | 次 數 | 2 | 9 |
| | 項 數 | | 1 | 1 | | 件 數 | 0 | 1,517 | |
| | 金 額 | | 3,000 | 2,710 | | | | | |

註 1：專利權請提報具應用價值之專利權項數。註 3：成果項目經費金額以未稅計算。
註 2：「金額」請以新臺幣千元為單位。

(五) 重要成果清單

1. 專利權

表四：研究成果清單

(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 | P55030045U | 產生嗜熱性鹼性蛋白酶生產菌屬(Tepidimonas)之胞外蛋白的方法 | 20150903 | 美國 | 發明 |
| 2 | 104219438 | 電沉積設備 | 20151203 | 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 | I490333 | 用於培養嗜熱性鹼性蛋白酶生產菌屬(Tepidimonas)之菌的培養基以及方法 | 104.5.22 | 中華民國 | 發明 | 韓吟龍, 郭泰融, 張嘉修, 羅泳中, 鄭捷倫, 余宛儒, 柳志錫 | 104.07.01~122.12.25 |
| 2 | I487790 | 有價金屬回收的方法 | 104.6.22 | 中華民國 | 發明 | 韓吟龍, 郭泰融, 張嘉修, 羅泳中, 余宛儒 | 104.06.11-122.11.05 |
| 3 | 8968687 | 有價金屬回收的方法 | 104.4.16 | 美國 | 發明 | 韓吟龍, 郭泰融, 張嘉修, 羅泳中, 余宛儒 | 2015.03.03-2033.03.17 |
| 4 | ZL201310119779.4 | 地溫熱交換系統及其地溫熱能發電與地溫熱泵系統 | 104.09.30 | 中國大陸 | 發明 | 謝瑞青, 劉力維, 李伯亨, 郭泰融 | 2015.09.30~2033.04.07 |

| | | | | | | | |
|---|---------|------------------------|-----------|------|----|--------------------|-----------------------|
| 5 | I507648 | 地溫熱交換系統及其地溫熱能發電與地溫熱泵系統 | 104.11.11 | 中華民國 | 發明 | 謝瑞青 劉力維, 李伯亨, 郭泰融 | 2015.11.11~2032.12.12 |
| 6 | I484090 | 井下清除裝置 | 104.05.11 | 中華民國 | 發明 | 劉力維, 謝瑞青, 郭泰融, 柳志錫 | 2015.05.11~2031.12.26 |
| 7 | I502176 | 可調式濾光元件及其製作方法 | 104.10.01 | 中華民國 | 發明 | 葉建南, 陳榮泰, 張金生, 許仲毅 | 2015.10.01~2033.09.22 |

(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 | | | | |

2.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 | 我國地熱發電推動現況與前景 | 2015.6 | 汽電共生報導 83 期 | 中華民國 | 49-57 |
| 2 | 地熱井結垢清除裝置之設計及試驗 | 2015.6 | 太陽能及新能源學刊第十七卷.第一期 | 中華民國 | 20-25 |
| 3 | Calciumion adsorption with extracellular proteins of thermophilic bacteria isolated from geothermal sites | | Bioresource Technology | | |

(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 | 大屯火山區地熱資源初步調查分析 | 2015.5 | 中國地球物理學會年會暨學 | 中華民國 | |

| | | | | | |
|---|---|----------|---|------|--|
| | | | 術研討會/104 | | |
| 2 | 大屯火山地區三維電阻構造 | 2015. 5 | 中國地球物理學會年會暨學術研討會/104 | 中華民國 | |
| 3 | 臺灣清水地熱區碳酸鈣結垢抑制測試 A Test of Calcium Carbonate Scale Inhibition in Chingshui Geothermal Field, Taiwan | 2015. 4 | 2015World Geothermal Congress/27014 | 澳洲 | |
| 4 | 地熱流體驅動葉輪旋轉之結垢物刮除實驗 Experiment of Fluid Driven Rotational Device for Scaling Removal Inside the Geothermal Well | 2015. 4 | 2015World Geothermal Congress/ 27027 | 澳洲 | |
| 5 | 利用碳酸溫泉廢水培養高碳水化合物微藻 Neochlorisquatica CL-M1 | 2015. 4 | 綠色永續生物技術研討會 | 中華民國 | |
| 6 | 火山型地熱區之耐腐蝕試驗-臺灣北投地熱谷 | 2015. 10 | International Conference on Geothermal Energy in Taiwan | 中華民國 | |
| 7 | 台灣地熱發電回顧與展望 | 2015. 10 | International Conference on Geothermal Energy in Taiwan | 中華民國 | |

3.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 | 專家輔助決策系統建置成果報告 | 技術報告 | 2015/11/30 | 中文 | 機密級 | 80 |
| 2 | 耐酸蝕合金材料製作評估報告 | 技術報告 | 2015/11/30 | 中文 | 機密級 | 47 |
| 3 | 台北市政府小型酸性示範電廠建置與測試報告 | 技術報告 | 2015/12/20 | 中文 | 非機密 | 81 |
| 4 | 大屯山地區氣體取樣分析調查分析報告 | 調查報告 | 2015/11/30 | 中文 | 機密級 | 145 |

| 項次 | 報 告 名 稱 | 類別 | 完成日期 | 語言 | 機密等級 | 頁數 |
|----|--|------|------------|----|------|-----|
| 5 | 4D 地熱流體成像技術發展分包期末報告 | 分包報告 | 2015/11/30 | 中文 | 機密級 | 61 |
| 6 | 104 年度高效能地熱發電技術研發計畫執行報告 | 執行報告 | 2015/12/25 | 中文 | 非機密 | 315 |
| 7 | 參加 2015 世界地熱大會出國報告 | 出國報告 | 2015/06/10 | 中文 | 非機密 | 35 |
| 8 | 籌辦於內蒙古自治區召開之「2015 兩岸再生能源產業合作及交流會議」出國報告 | 出國報告 | 2015/08/30 | 中文 | 非機密 | 66 |

4. 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 | 地熱發電系統技術-宜蘭地區地熱井產能分析暨地熱發電系統評估 | 結元科技股份有限公司 | 0 | 0 | 0 | 300 | 先期參與 | 以地熱及溫泉為熱源，提供宜蘭溫泉區之電力自主。(103 跨年度執行) |
| 2 | 儲集層工程技術-微震監測系統與高精度定位成像技術 | 三聯科技股份有限公司 | 0 | 500 | 0 | 2,348 | 先期參與 | 協助廠商建立微震監測系統與高精度定位成像技術 |
| 3 | 儲集層工程技術-耐高溫抗酸腐蝕材料 | 晶湛國際光電股份有限公司 | 0 | 450 | 0 | 0 | 先期參與 | 協助廠商評估投入高功能性材料發展可行性 |

5.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 | 台東紅葉溫泉地熱資源調查及小型地熱電廠規劃 | 玖臻建設有限公司 | 3,000 | 1.開發台東紅葉溫泉地熱資源，建立民間地熱發電廠，推廣再生能源。 2.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，並推廣至國外。 |
| 2 | 建置臺北市北投區耐酸蝕小型地熱電廠 | 大地資源工程有限公司 | 1,000 | 1.以地熱及溫泉為熱源，提供北投溫泉區之電力自主。 2.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，並推廣至國外。 |
| 3 | 建置構造儲集層液氣入注及生產觀測誘發微震自動觀測及資料分析系統。 | 三聯科技股份有限公司 | 3,000 | 1.地熱電廠商轉生產及回注管理。2.建立誘發地震控制及環境監控系統技術。 |
| 4 | 新北市四磺子坪鑽井工程施工鑽串及機具投資 | 豐宇鑽鑿股份有限公司 | 15,000 | 1.本四磺子坪 1300 公尺鑽井工程施工，經產能測試後若成功可產生 1MW 電廠。 2.大屯山地熱發電成功效應，將帶動民營業者及中油公司加速投入本區鑽探及電廠投資。 |
| 5 | 進行利澤深層地熱發電機組試驗性計畫二次環評 | 蘭陽地熱股份有限公司 | 5,000 | 1.利澤深層地熱發電機組試驗性計畫，帶動我國深層地熱發電施工技術及機組研發，產生 30MW 電廠，有助於達成政策目標。 |
| 6 | 臺北市泉源 47 號公園溫泉井管線耐酸蝕塗層 | 詠先股份有限公司 | 3,000 | 1.以不銹鋼或銅金屬上做噴塗防酸腐塗料處裡取代鈦金屬或鎳基合金使用且能維持相同使用年限，可降低一半以上地熱發電系統設置成本，足具有相當大發展潛力。 2.未來計畫完成後將投入 1000 萬進行生產投資，將成果實際運用積極提升國內地熱發電系統開發。 |

6.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 | 台東紅葉溫泉地熱資源調查及小型地熱電廠規劃 | 地熱資源調查 | 5 | 1. 開發台東紅葉溫泉地熱資源，建立民間地熱發電廠，推廣再生能源。 2. 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，並推廣至國外。 |
| 2 | 建置臺北市北投區耐酸蝕小型地熱電廠 | 建置小型地熱電廠 | 5 | 1. 以地熱及溫泉為熱源，提供北投溫泉區之電力自主。 2. 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，並推廣至國外。 |
| 3 | 建置構造儲集層液氣入注及生產觀測誘發微震自動觀測及資料分析系統。 | 建置系統 | 3 | 1. 地熱電廠商轉生產及回注管理。 2. 建立誘發地震控制及環境監控系統技術。 |
| 4 | 新北市四礮子坪鑽井工程施工鑽串及機具投資 | 鑽井工程施工 | 5 | 1. 本四礮子坪 1300 公尺鑽井工程施工，經產能測試後若成功可產生 1MW 電廠。 2. 大屯山地熱發電成功效應，將帶動民營業者及中油公司加速投入本區鑽探及電廠投資。 |
| 5 | 進行利澤深層地熱發電機組試驗性計畫二次環評 | 地熱發電機組試驗 | 3 | 1. 利澤深層地熱發電機組試驗性計畫，帶動我國深層地熱發電施工技術及機組研發，產生 30MW 電廠，有助於達成政策目標。 |
| 6 | 臺北市泉源 47 號公園溫泉井管線耐酸蝕塗層 | 耐酸蝕塗層 | 2 | 1. 以不銹鋼或銅金屬上做噴塗防酸腐塗料處理取代鈦金屬或鎳基合金使用且能維持相同使用年限，可降低一半以上地熱發電系統設置成本，足具有相當大發展潛力 |
| 7 | 清水地熱綠能園區地熱發電示範系統 | 長期運轉測試 | 6 | 清水地熱 50kW 地熱發電系統長期運轉測試，24 小時持續運轉，期間持續進行計畫之井下熱交換系統測試工作。 |

7.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 | 地熱概念模式建立 | 美國勞倫斯 研究室 (LBNL) | 2,710 | 透過國內地熱潛能區資料蒐集與分析，建立地熱概念模式及選取探勘井位。以實際工作為教材，培養本土地熱專業人才，建立我國地熱發電開發的基礎。 |

8.一般技術授權

| 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 | 耐酸蝕塗料測試平台建置 | 詠先股份有 限公司 | 104/03/16 | 500 | 0 | 104.3-104.11 |

9.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 | 台東紅葉溫泉地熱資源調查 | 1,650 | 玖臻建設 | 2 | 臺北市泉源47號公園溫泉井之儲集層參數量測與數值模擬計畫 | 270 | 大地資源 |

10.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 地熱流體成像技術發展 | 國立中央大學 地球科學系 | 陳建志教 授 | 2000 | 2000 | 104.06.15 | 104.04.01-10 4.11.30 |

11.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 | 台電與工研院合作開發綠島地熱潛能合作意向書簽約儀式 | 台北 | 台電與工研院 | 2015/01/06 | 20 | 推廣活動 |
| 2 | 菲國 EDC 參訪工研院探討大屯火山地熱概念模型 | 工研院 | 工研院 | 2015/01/15 | 22 | 研討會 |
| 3 | 「地熱探勘暨發電推動座談會」 | 能源局 | 工研院 | 2015/03/17 | 15 | 座談會 |
| 4 | 104 年度產學研/業合說明會說明會 | 台北 | 工研院 | 2015/03/17 | 10 | 推廣活動 |
| 5 | 能源政策之橋接與溝通小組(地熱發電跨部會溝通與法規調適) 座談會 | 台北 | 工研院 | 2015/03/25 | 86 | 座談會 |
| 6 | 新北市政府與工研院簽"推動新北市金山區地熱發電"合作意向書 | 新北市政府 | 新北市政府 | 2015/05/14 | 20 | 推廣活動 |
| 7 | 文化大學地質系參觀清水地熱示範系統 | 清水地熱 | 文化大學地質系 | 2015/05/31 | 50 | 推廣活動 |
| 8 | 延平鄉公所參訪能源局與清水地熱發電系統 | 能源局清水 | 延平鄉公所 | 2015/06/05 | 15 | 推廣活動 |
| 9 | 四礮子坪地熱井鑽鑿工作諮詢會議 | 能源局 | 工研院 | 2015/06/09 | 12 | 座談會 |
| 10 | 新北市金山區地熱發電試驗井開鑽典禮 | 四礮子坪 | 工研院 | 2015/08/11 | 55 | 座談會 |

| | | | | | | |
|----|----------------------|--------|---------|-----------------------|-------|------|
| 11 | 2015 年地熱國際研討會 | 台灣大學 | 科技部、能源局 | 2015/10/01~2015/10/03 | 170 | 研討會 |
| 12 | 2015 台灣國際綠色產業展 | 台北 | 經濟部 | 2015/10/14~2015/10/16 | 20000 | 推廣活動 |
| 13 | 再生能源博覽會_地熱發電說明會 | 高雄駁二特區 | 工研院 | 2015/10/11 | 2000 | 推廣活動 |
| 14 | 台北市小型酸性地熱發電示範系統成果發表會 | 台北 | 台北市政府 | 2015/12/15 | 25 | 推廣活動 |

【備註】型態包含研討會、座談會、示範觀摩會及推廣活動等。

12.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 | 地熱能源 | 勤益科技大學 | 2015/03/16 | 22 | |
| 2 | 地熱專家決策輔助系統教育訓練 | 工研院 | 2015/12/02 | 7 | - |
| 3 | 大屯火山地熱概念模式工作會議 | 工研院 | 2015/09/30 | 14 | 50 |

13.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 | 王子賓 | 博士 | |
| 2 | 中央大學 | 地球科學系 | 陳宏嘉 | 博士 | |
| 3 | 中央大學 | 地球科學系 | 莊詠傑 | 碩士 | |

| | | | | | |
|---|------|-------|-----|----|--|
| 4 | 中央大學 | 地球科學系 | 吳秉昀 | 碩士 | |
|---|------|-------|-----|----|--|

14.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長期運轉 | 再生能源 | 0.29 公噸 | 配合宜蘭縣「清水地熱綠能園區」新春展示，進行地熱 50kW 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)》

15.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 | 50kW 雙循環地熱發電示範系統長期運轉 | 再生能源 | 5.3 | 配合宜蘭縣「清水地熱綠能園區」新春展示，進行地熱 50kW 地熱發電系統運轉發電。 |

16.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 | | | | |

17.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 | 開發綠島地熱潛能 台電工研院合作 | 平面媒體 | 青年日報 | 2015.01.06 | 1 | 200 | |
| 2 | 大屯山地熱發電開發 "合作意向書簽署記者會 | 平面媒體 | 經濟日報 | 2015.05.14~ 2015.05.16 | 42 | 800 | |
| 3 | 金山四磺子坪 全台 最大地熱資源 | 平面媒體 | 自由時報 | 2015.05.23 | 1 | 300 | |
| 4 | 寶藏上的窮人豐沛地 熱白浪費 | 電視媒體 | 中天電視 | 2015.07.19 | 1 | 600 | |
| 5 | 金山鄉四磺子坪地熱 探勘井鑽鑿工程開工 儀式 | 平面媒體 | 經濟日報 | 2015.07.28 | 5 | 3,000 | |
| 6 | 新北市金山區地熱發 電試驗井開鑽典禮 | 平面媒體 | 經濟日報, 中 時, Focus TW 等 | 2015.08.11 | 4 | 6,000 | |
| 7 | 北投地熱發電 年底 試運作 | 電視媒體 | 聯合報 | 2015.9.26 | 1 | 20,000 | |
| 8 | 台灣地熱的成因 | 電視媒體 | 大愛台(發現) 節目 | 2015.07.20 | 1 | 3,000 | |
| 9 | 「臺北市 104 年推動 再生能源(地熱)運用 示範設施設置計畫」 成果發表會 | 網路媒體 | 人間福報 | 2015.12.16 | 1 | 30 | |

18.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 34 人之中，女性有 5 位，約占 14.7%；男性有 29 人，約占 85.3%。在計畫工時之比例上，女性約佔 12.5%，男性約占 87.5%。</p> <p>(2)本計畫預計培訓人才共計博碩士共二位，其中，男性有共四位。</p> <p>(3)本計畫中雖然只有 5 位女性，但是一為子項計畫分項負責人，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，帶領另二位女性同仁共同研究，都是計畫不可或缺之角色。</p> <p>(4)本計畫年度辦理國際合作，邀請 LBNL 3 位專家共同進行大屯火山地熱概念模式之研究，其中一位地物專家 Erika 為女性，以其專業指導本計畫同仁共同進行研究，深獲同仁尊敬。並於年度終結前辦理 2015 ICGE in Taiwan 研討會，共有 170 餘人與會，其中女性 34 位，男性 146 位。</p> <p>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。</p> | 880 |
| 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>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> | 55 |
| 強化能源相關資訊提供之可近性 | <p>業務執行事項：</p> <p>(1)由計畫性別平等負責人參加 104 年 6 月 12 日在經濟部標準檢驗局大禮堂由財團法人臺灣綜合研究院主辦之「104 年度能源領域性別主流化推動說明</p> | 12 |

| 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) |
|------------------|--|---------------------------|
| | 會」。 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。 | |
| 鼓勵女性投入與決策參與 | 業務執行事項： (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2件，專業領導綠色除鈣研究團隊。 (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萬里地區地熱發電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。 | 520 |
| 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) | | 1517 |
| 占計畫總經費比例(%) | | 2.08 |

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」請依據實際支用情況填寫。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

表五：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.電沉積設備。 2.產生嗜熱性鹼性蛋白酶生產菌屬(Tepidimonas)胞外蛋白的方法。 |
| | | 國 外 | 1* | 1 | |
| | 獲 得 | 國 內 | 1 | 5 | 1.培養嗜熱性鹼性蛋白酶培養基 2.有價金屬回收的方法 2 件 3.地溫熱交換系統及熱泵系統 2 件 4.井下清除裝置 5.可調式濾光元件及其製作方法 |
| | | 國 外 | 0 | 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) | 8000 | 6018 | 1.業合：結元地熱發電系統 104 部分金額 30 萬、晶湛國際耐高溫抗酸腐蝕材料 45 萬及三聯科技高精度定位成像技術金額 285 萬。 2.玫臻建設台東紅葉溫泉地熱資源調查 165 萬、建置北投泉源 47 號公園 27 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) | 500 | 500 | 1.一般技術授權：詠先公司簽約「耐酸蝕塗料測試平台建置」，金額 50 萬。 | |
| 四、促進投資生產 | 件 數 | 2* | 5 | 1.豐宇鑽井新北市四礮子坪鑽井工程施工鑽材投資 15,000 千元。 2.蘭陽地熱利澤深層地熱發電機組試驗計畫二次環評 5,000 千元。 3.詠先公司泉源 47 號公園溫泉井管線耐酸蝕塗層金額 3,000 千元。 4.玫臻地熱公司申請地熱發電試驗，預計投資金額 3,000 千元。 5.三聯科技建置構造儲集層觀測誘發微震自動觀測 3,000 千元。 6.大地資源公司建置北投區耐酸蝕小型地熱電廠投資 1,000 千元。 | |
| | 項 數 | 2 | 2 | | |
| | 金 額 (新臺幣千元) | 60,000 | 30,000 | | |

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、國外 1 項，達成預期目標，本年度獲得專利共國內 5 項、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 2 家業者，簽約金額 359.8 萬元，其中，耐高溫抗酸腐蝕材料技術，可協助廠商評估投入高功能性材料發展可行性，推廣至國內溫泉及地熱產業。另微震監測系統與高精度定位成像技術，有助於廠商建立誘發地震控制及環境監控系統技術，測試平台建置地熱發電系統技術-宜蘭地區地熱井產能分析暨地熱發電系統評估，為 103-104 年跨度執行計畫。在一般技術授權方面，協助詠先股份有限公司開發耐酸蝕塗料 50 萬元。在地熱發電技術方面提供技術服務 2 家業者，簽約金額 192 萬元，內容為台東紅葉溫泉地熱資源調查及建置臺北市北投區耐酸蝕小型地熱電廠。

2.專利產出與應用說明

(1) 申請專利名稱:一種產生嗜熱性鹼性蛋白酶生產菌屬 (Tepidimonas)之胞外蛋白的方法

權利申請範圍:本發明提供一種產生嗜熱性鹼性蛋白酶生產菌屬 (Tepidimonas)之胞外蛋白的方法。

應用範圍包含:培養嗜熱性鹼性蛋白酶生產菌屬的菌，可為任何嗜熱性鹼性蛋白酶生產菌屬的菌。

(2) 申請專利名稱:電沉積設備

權利申請範圍：一種電沉積設備，包括刷鍍頭。所述刷鍍頭包括多個通道，且每一通道在刷鍍頭的同面具有一開口。由於刷鍍頭內的通道能暫存電鍍液，所以可即時提供被鍍工件所述電鍍液。

- (3) 本年度獲得專利 7 件；包括國內專利 5 件：專利名稱用於培養嗜熱性鹼性蛋白酶生產菌屬(Tepidimonas)之菌的培養基以及方法(專利證號 I490333)、有價金屬回收的方法(專利證號 I487790)、井下清除裝置(專利證號 I484090)、可調式濾光元件及其製作方(專利證號 I502176)及國外專利 2 件：有價金屬回收的方法(專利證號 8968687)、地溫熱交換系統及其地溫熱能發電與地溫熱泵系統(專利證號 ZL201310119779.4)(專利證號 I507648)。

3.其他重要成果

- (1) 由工研院專業研發團隊打造國產自製的 50kW 雙循環地熱發電系統，所產出的電力提供給宜蘭清水地熱公園全區，成為臺灣第一座 24 小時自主發電的觀光園區。本年度計畫執行期間持續利用修復之地熱井，接管提供熱水給宜蘭縣政府建置之休閒遊憩區使用，及發電機組持續運轉包括元宵假期清水地熱發電不打烊等等，有效提升清水地熱區之觀光效益與遊客安全性，並增加當地就業機會。
- (2) 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，並邀請美國及紐國地熱專家召開 2015 ICGE 研討會。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。
- (3) 協助台北市政府進行「泉源 47 號公園進行安裝與測試耐酸蝕取熱發電試驗系統」，作為臺灣之溫泉取供與發電多目標利用參考，在工研院與大地資源公司的努力下，辦理臺北市「104 年推動再生能源(地熱)運用示範設施設置計畫」成果發表會。

(八)設備使用情形

無

(九)性別主流化推動成果說明

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34人之中，女性有5位，約占14.7%；男性有29人，約占85.3%。在計畫工時之比例上，女性約佔12.5%，男性約占87.5%。</p> <p>(2)本計畫預計培訓人才共計博碩士共二位，其中，男性有共四位。</p> <p>(3)本計畫中雖然只有5位女性，但是一為子項計畫分項負責人，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，帶領另二位女性同仁共同研究，都是計畫不可或缺之角色。</p> <p>(4)本計畫年度辦理國際合作，邀請LBNL 3位專家共同進行大屯火山地熱概念模式之研究，其中一位地物專家Erika為女性，以其專業指導本計畫同仁共同進行研究，深獲同仁尊敬。並於年度終結前辦理2015 ICGE in Taiwan 研討會，共有170餘人與會，其中女性34位，男性146位。</p> <p>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。</p> | 880 |
| 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>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> | 55 |
| 強化能源相關資訊提供之可近性 | <p>業務執行事項：</p> <p>(1)由計畫性別平等負責人參加104年6月12日在經濟部標準檢驗局大禮堂由</p> | 12 |

| 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) |
|------------------|--|---------------------------|
| | 財團法人臺灣綜合研究院主辦之「104 年度能源領域性別主流化推動說明會」。 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。 | |
| 鼓勵女性投入與決策參與 | 業務執行事項： (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2件，專業領導綠色除鈣研究團隊。 (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萬里地區地熱發電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。 | 520 |
| 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) | | 1517 |
| 占計畫總經費比例(%) | | 2.08 |

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。

五、結論與檢討

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

(1) 專家輔助決策系統

- A. 本工作項目完成大屯山區，歷年來相關領域的研究文獻收集工作，包含大屯火山地區的地質資料、鑽井井錄資料等。地球物理方面，除了去年計畫執行大地電磁量測，逆推所得之地電阻模型外，今年上半年度已新增大地電磁測站數站，所得結果亦更新至資料庫中，將有效提昇四磺子坪鄰近區域的地電阻模型解析能力。
- B. 地球化學方面則是在原有的研究區水樣化學離子成份分析資料外，增加了噴氣孔氣體成份分析、氫同位素分析、氡定年分析、土壤氣體分析以及氫氧同位素分析資料建置，提供大屯火山區地下水補注循環的模式判斷的輔證。
- C. 所開發之異質維度資料連動展示功能，可透過平面地圖控制三維虛擬井柱的操作方式，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。
- D. 岩體特性及空間分區功能，可多重考量任兩種岩性參數分布範圍，及計算其岩體體積，可應用於後續儲熱潛能及發電潛能估算中。同時，系統還可將符合條件之岩體位置，展示於三維展示系統中，以了解岩體空間分布特性，及更新地熱地質概念模型。

(2) 地熱田開發關鍵技術

- A. 本計畫年度目標為建立耐高溫高酸之鍍層材料。於實驗室中通過 Tafel 曲線分析評估其腐蝕電流小於不鏽鋼 304 之腐蝕電流值，才會進入實地測試。本年度評估了 epoxy 電著試片、六價鉻及三價鉻鍍

層及鎳-鉻合金鍍膜以及陶瓷金屬複合鍍層。經評 epoxy 電著試片雖具抗蝕性，但附著性為必須克服之問題。六價鉻、三價鉻所形成之鉻鍍層即使增厚，仍無法滿足現地環境抗蝕需求，而鎳-鉻合金鍍膜，一般而言，當鉻含量超出 15wt%，鍍層結構便極易產生裂縫，影響鍍層之抗蝕能力。

- B. 本計畫透過錯合劑之控制克服此一缺陷，可製作出 30wt% 以上之無縫隙鎳鉻合金，小面積試片由 Tafel 曲線分析，具抗強酸蝕能力，然而大面積試片在現地測試中，尚無法達到目標，經評量問題可能發生於大面積沈積過程，鍍層成份分布不均，部份區域因鉻含量偏低導致抗蝕能力較弱，容易剝離，必須針對成份分布均勻進行改善。陶瓷-合金複合鍍膜有不易鍍厚之現象，緻密性為重點加強項目，目前所開發之矽烷化合物複合薄膜，厚度增高後無裂縫，經實驗室 Tafel 分析具抗蝕性，目前正進行現地測試，及鹽霧測試，初步結果尚未發現有顯著之腐蝕現象，將持續觀察。陶瓷-金屬複合鍍膜將為往後重點開發項目。
- C. 完成以長直金屬井孔為電場源之線源理論推導，透過數值模擬確認了線源理論與模擬結果的可靠度。從點電源與人工線源對地層中異常導體(如地下流體)之模擬解析與靈敏度分析結果顯示，不論是人工線源或點源之電場變化，均可反映低電阻異常區的存在。但是人工線源具有探測深度較深、信號強度較強、較顯著的電位梯度變化、較高的靈敏度以及相對不受場源的擴散幾何因子之影響等優點，顯示其對異常體的定位相對較為容易。
- D. 發展點源與線源之電阻構造反演解算技術，完成多組地表點電源探測之反演解算程式之建立。依據正、反演電位比較，顯示兩者擬合良好，反演解算程式具有良好的收斂性與可信度。後續將結合線電流源與點電流源的模擬數據，進行地層電阻率模型之併合反演解算，預期併合反演解算將能大幅提升對地層模型各處之解析，特別

是深部地層之解析能力。

- E. 本計畫研發結合自然電位(SP)法與地電阻(ERT)法之自動雙工監測系統，完成工作流程制定與初步設計。本監測系統將內建可遙控的系統與紀錄程式，搭配數位資料擷取卡紀錄電壓資料，以提升量測效率、降低成本。預期可即時分析地熱流體深度及流向資訊，建立地熱流體傳輸 4D 成像技術的解析能力。

(3) 地熱場址潛能評估

- A. 完成資料評估，初步判定在四礮子坪地區具備高溫、不酸之中性地熱儲集層可能性。為驗證大屯火山區地熱開發之潛能，本年度以四礮子坪-煥子坪附近、國家公園外圍為目標區域，及考量土地取得可行性、坡度及交通等因素，選取探勘井位，由過去地溫梯度井資料估算，要鑽至 200°C 之地熱儲集層，鑽井深度約需 1000 公尺。
- B. 完成四礮子坪上游處之探勘井鑽鑿深度為 600 公尺，包含 9-5/8”之 L80 套管深度為 30-600 公尺，上方 0-30 公尺以 9-5/8”之鈦合金套管銜接，並使用功能接近於 Schlumberger 公司所調製之抗酸水泥，預期以減少表層井體因酸液之腐蝕洩漏。
- C. 完成四礮子坪地熱探勘井溫度恢復試驗，結果顯示最高溫度為 117.9 °C，由初步之溫度剖面判釋，230~240 公尺出現可能之破碎帶，600 公尺之整體概略地層溫度梯度約為 81°C/km，此持續與穩定之高地溫梯度值，顯示目前鑽進之 600 公尺深度應在蓋層之內，還未到達熱水儲集層或與熱水連通之主要破碎帶，未來於明年度之續鑽進度，應可獲得更完整之資訊供進一步判釋。

(4) 地熱場址調查與監測

- A. 完成大屯火山東北區域試驗井設置場址周圍 15 個大地電磁測點之野外測勘與二維逆推資料處理。解析通過預定試驗井位附近，自四礮子坪延伸至煥子坪剖面之地下電阻分布與地熱儲集

- 構造，提供試驗井位評選之參考與更新地熱蘊藏潛能評估所需資料。
- B. 四磺子坪及焱子坪火山噴氣成分之分析結果顯示噴氣組成以水氣為主，而噴氣除水後成分則以 CO₂ 為主。
 - C. 本研究採集火山噴氣之 ³He/⁴He 約在數倍的大氣比值((Ra)c)之間，呈現出明顯的地函來源訊號，其中有幾個點位(SHP-7、GTP-5)的 ³He/⁴He 比值甚至跟大屯火山群區內的大油坑地熱區(6.84 Ra)類似，顯示底下通道順暢，甚至可能與大油坑地區氣體為同一來源。

(5) 地熱電廠推廣

- A. 於臺北市北投區之泉源 47 號公園、復興公園與行義路溫泉區選取溫泉井進行產能試驗與示蹤試驗，獲取水文與地質參數，精進北投區儲集層概念模式。在確認泉源 47 號公園之溫泉井與儲集層可提供足夠溫度與流量於耐酸蝕取熱發電試驗使用，於泉源 47 號公園進行安裝與測試耐酸蝕取熱發電試驗系統，作為臺灣之溫泉取供與發電多目標利用參考。
- B. 由於此耐酸蝕發電系統屬於試驗機組，仍需發電最佳化測試，若有餘電將提供泉源泡腳池之空壓機使用。建議後續年度繼續搭配井下熱交換器進行取熱發電試驗、單獨進行酸性溫泉水進熱板式熱交換器進行發電與井下熱交換器及板式熱交換器聯合取熱發電。分別透過以上三種取熱發電試驗，以評估不同熱交換器之熱交換效率，進而得到最佳發電量之熱交換型態。
- C. 以四磺子坪地熱發電開發為標的，並與新北市於 2015/5/14 簽署「金山區地熱發電開發計畫合作意向書」，配合地熱計畫之地質、地物、鑽井與酸蝕等研究成果，本年度已完成 BOT 前置作業相關之可行性評估與先期規劃報告，提供將來新北市將來辦理 BOT 招商作業之參

考。

(6) 國際合作與推廣

- A. 完成與菲律賓能源開發公司針對大屯山地熱概念模式進行討論，該公司對大屯火山地熱開發表達投資意願。
- B. 完成與美國勞倫斯國際合作簽約，合作內容包括：地球物理、地球化學、地熱概念模式等。