

應用線型判釋技術進行地熱儲集層範圍判釋—以大屯山為例

翁勳政^{1*} 蔣立為² 郭泰融³ 邱欣瑜⁴ 甘湘鈴⁵

摘要

大屯火山群是我國最具地熱電廠開發潛能的區域，前人雖已劃定地熱潛能區分布的範圍，然其係以涵蓋全區地熱徵兆繪製之大尺度圖件，無法直接提供地熱電廠開發選址之用。航遙測技術具有快速且經濟的優點，過去曾運用在臺灣中部變質岩區的地熱潛能區劃分研究，是大區域地熱區快速篩選的利器。本研究進行歷史文獻的地質環境盤點與分析、航遙測的地熱線型判釋以及地熱儲集區評估等方法，完成大屯火山群之線型與儲集區判釋與評估案例。根據本研究結果，大屯火山群地熱區可區分為北投、七星山、馬槽與磺嘴山等4個較具潛勢的儲集區；綜合其地質環境及地熱徵兆類型等特性分析，各儲集區又可再區分幾個小分區，有待後續相關調查資料的整合與驗證，並提供未來地熱開發場址評選參考。

關鍵詞：大屯火山群，線型判釋，地熱儲集區

1. 前言

大屯火山群是我國最具地熱電廠開發潛能的區域，地熱潛能區分布於北投區與金山區間，呈東北-西南向延伸之矩形區域(10.5 km × 3.4 km) (台灣電力公司，2013)，潛能區涵蓋所有溫泉範圍的大尺度圖件，無法精確指出具有儲集層構造之區域，對於相關管理單位或開發業者是有所不足。如何選擇適合與正確的廠址是地熱開發成功與否的重要先期工作(陳宏宇與劉佳玫，2013)，鄭文哲等(1980)曾利用航遙測技術於中部廬山地區附近山區進行地熱儲集區判釋，其由溫泉露頭、水系型態與線型等分布狀況，劃出數處地熱潛能構造區。在當時由於

相關地質環境資訊不足與社會需求不高，故其結果並未受到重視；但有一個重要結論：地下熱水易於線型交叉密集區出露，出露於地表之溫泉線型與地下儲集層的分布有很大的關係，故藉由溫泉線型判釋結果，可提供作為儲集區分布評估的參考。本研究以大屯火山區為案例，透過歷史地質環境盤點與分析、線型判釋與儲集區判釋等工作與技術，來進行地熱潛能區的先期性概念分區，有待後續相關的地質、地球物理、地球化學與水文地質等資料的整合與驗證，提供未來管理單位或業者地熱廠址開發選取之參考。

¹工業技術研究院綠能與環境研究所 研究員

²工研院綠能所 資深工程師

³工研院綠能所 資深研究員

⁴工研院綠能所 副研究員

⁵工研院綠能所 研究助理

*通訊作者電話: 03-5914274, E-mail: wengsj@itri.org.tw

收到日期: 2018年07月04日

修正日期: 2018年09月05日

接受日期: 2018年11月06日

2. 地質環境盤點

大屯山火山區歷年來的調查與研究成果極為豐碩，包括早期的大屯山地熱探勘作業、陽明山國家公園成立後相關的委託研究案。近期有中央單位與縣市政府針對溫泉開發利用所作的資源調查與管理研究報告，以及博碩士論文、期刊與專書等學術研究成果。透過資料盤點可以更清晰瞭解大屯山地熱區之背景環境，並提供後續的判釋與評估之參考或驗證。

2.1 地理概況

大屯山火山區位於臺北盆地北側，南距臺北市政府約十餘公里；行政轄區分屬臺北市北投區與士林區，以及新北市金山區與萬里區等所轄；全境大部分位在陽明山國家公園內。地熱潛能區範圍分布於北投區與金山區間，為一呈東北-西南向延伸之矩形區域(台灣電力公司，2013)。

溫泉屬於地熱徵兆的一種，溫泉資料是探勘地熱最基本的資訊；本區地熱徵兆除溫泉外，還涵蓋火山地區才有的硫氣孔，兩者通常也會混合出現。大屯地熱區是臺灣本島地熱徵兆分布最密集的地熱區；陳肇夏與吳永助(1971)、程楓萍等(1987)、臺北市政府建設局(2005)、宋聖榮與邱淑美(2005)、臺北縣政府(2007)、陳柏淳等(2010)等曾在本區進行溫泉資源調查。依據溫泉徵兆分布的群聚性，包括金山地區共計有32溫泉處徵兆區(陳伯淳等，2010)，其中位於地熱潛能區內有27處徵兆區：包括地熱谷⁽¹⁾、長春⁽²⁾、挹翠橋⁽³⁾、硫磺谷⁽⁴⁾、雙重溪⁽⁵⁾、頂北投⁽⁶⁾、陽明路⁽⁷⁾、湖山⁽⁸⁾、鼎筆橋⁽⁹⁾、小隱潭⁽¹⁰⁾、中山樓⁽¹¹⁾、菁山⁽¹²⁾、陽明山⁽¹³⁾、竹子湖⁽¹⁴⁾、胡宗南墓⁽¹⁵⁾、冷水坑⁽¹⁶⁾、大油坑⁽¹⁷⁾、磺溪⁽¹⁸⁾、小油坑⁽¹⁹⁾、馬槽⁽²⁰⁾、七股⁽²¹⁾、下七股⁽²²⁾、翠林橋⁽²³⁾、後山⁽²⁴⁾、磺山⁽²⁵⁾、八煙⁽²⁶⁾與死磺子坪⁽²⁷⁾等(如圖1)。

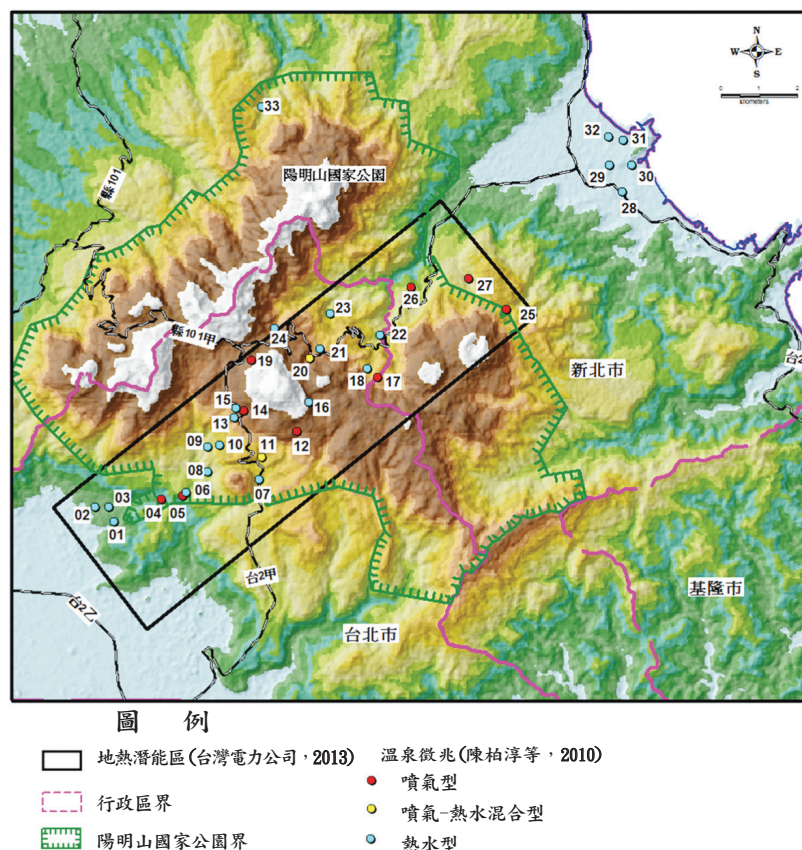


圖1 大屯山地區之地熱區與溫泉徵兆地理分布圖(本研究整理繪製)

2.2 地形概述

依據區位與地質特性，本火山群可再區分為5個亞群(陳肇夏與吳永助，1971)。各亞群及其火山的分區如圖2所示，各亞群的分布與地形特性為(王鑫等，1983；鄧國雄等，1988)：

(1)竹子山亞群；位處火山群的東北端，最高峰為竹子山(1,097 m)；其呈東北-西南延伸約達8 km，包括有竹子山與小觀音山等兩火山體。

(2)大屯山亞群；位處火山群的西北端，最高峰是大屯山主峰(1,092 m)；其南北長約7 km、東西寬約4.5 km，包括大屯山、面天山與烘爐山等火山體。

(3)七星山亞群；位處火山群的中央偏西，最高峰為七星山(1,120 m)；其南北長約9 km、東西寬約5.3 km，包括七星山、七股山(又稱麻瘋山)、內寮山(又稱水井尾山)等火山體；燒煨寮火山無明顯火山丘與噴火口，但有廣闊岩流分布。

(4)磺嘴山亞群；位處火山群的中央偏東，最高峰為磺嘴山(912 m)；其南北

長約7.6 km、東西寬約6.6 km，包括磺嘴山、八煙山、冬瓜山(又稱大尖後山)與大尖山等火山體；荖寮湖山已遭受強烈侵蝕，外形已欠完整；大坪臺地為自磺嘴山火山口往東南流出之火山臺地。

(5)丁火朽山亞群；位處大屯火山群的東隅，最高峰丁火朽山(472 m)；其南北長約5.2 km、東西寬約3.2 km，包括丁火朽山與湳子山等火山體。

大屯山地熱區以分布火山群中央位置，自西而東包括大屯山、北投山地、七星山、七股山與磺嘴山等地形區(如圖2)。

2.3 地質概況

大屯山地區出露的岩層以第四紀更新世的火成岩為主，在火山群周緣坡地出露有西部麓山帶沉積岩層。更新世的安山岩質熔岩流及凝灰角礫岩以不整合方式覆蓋於第三紀沉積岩基盤之上。大屯火山群主要的岩石為火山岩流及凝灰角礫岩；共有熔岩流15層以上，並有數層凝灰角礫岩(陳肇夏與吳永助，1971)。在臺灣

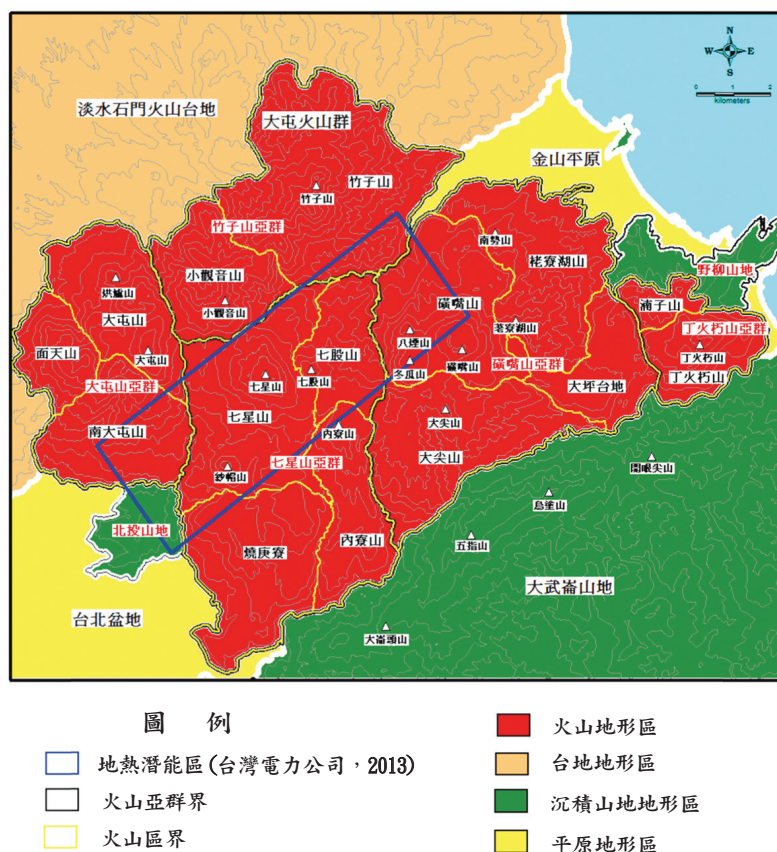


圖2 大屯山地熱區之地形分區分布圖(本研究整理繪製)

本島出露的沉積岩層，一般可延伸達100公里以上，而大屯火山群的岩流長度約在1~10公里左右；由於各火山體的噴發期與噴發位置的差異，致使各火山的岩流層序與空間分布通常是各自獨立，彼此間以犬牙交錯接觸而非如沉積岩為連續性的延伸。故地熱區儲集層不容易在整個火山群連通，而可能僅出現於個別亞群或火山中。依據文獻的蒐集與整理，大屯火山各亞群的地層層序如表1所示。

2.4 地質構造

地熱區之熱水通路與儲集層構造通常受地質構造所控制，本研究蒐集前人在大屯火山區研判的地質構造線，包括：陳肇夏與吳永助(1971)、田蓉禮(1991)、李錦發等(1999)、李錫堤(1996、2001)與黃鑑水(2005)等。大屯山地區之地質構造線分布如圖3所示。延伸規模較長的構造線包括有：9條斷裂線以及3條火山噴發

表1 大屯火山各亞群之地層層序表

竹子山亞群	大屯火山亞群	七星山亞群		磺嘴山亞群		丁火朽山亞群
		七星-燒煨寮山	七股-內寮山	磺嘴-大尖山	南勢-老寮湖山	
	大屯山熔岩 二子山岩流	七星山熔岩 紗帽山熔岩		冬瓜山頂部熔岩 冬瓜山底部熔岩 磺嘴山熔岩		
	上部凝灰角礫岩	上部凝灰角礫岩	上部凝灰角礫岩	上部凝灰角礫岩	上部凝灰角礫岩	上部凝灰角礫岩
		陽明山岩流		煨子坪岩流 鹿掘坪熔岩 大孔尾岩流 頂中股岩流 八煙山熔岩 磺子坪頂岩流 大坪岩流	大坪岩流	
竹子山熔岩 小觀音山熔岩	南大屯山頂部熔岩					
大屯山凝灰角礫岩	大屯山凝灰角礫岩					
鹿角坑岩流			頂山岩流 癲瘋山熔岩 大嶺卡安山岩	頂山岩流 大尖山熔岩	老寮湖熔岩	丁火朽熔岩
	十八分份岩流 面天山熔岩 大磺嘴岩流 南大屯山底部熔岩	嶺頭岩流	內寮山岩流 太平尾岩流 太平尾岩流			
下部凝灰角礫岩	下部凝灰角礫岩	下部凝灰角礫岩	下部凝灰角礫岩	下部凝灰角礫岩	下部凝灰角礫岩	下部凝灰角礫岩
			大油坑-磺溪岩流		南勢山熔岩 Ahoau(hy)岩流	湊子山熔岩

資料來源：陳肇夏與吳永助，1971；陳正宏，1990。

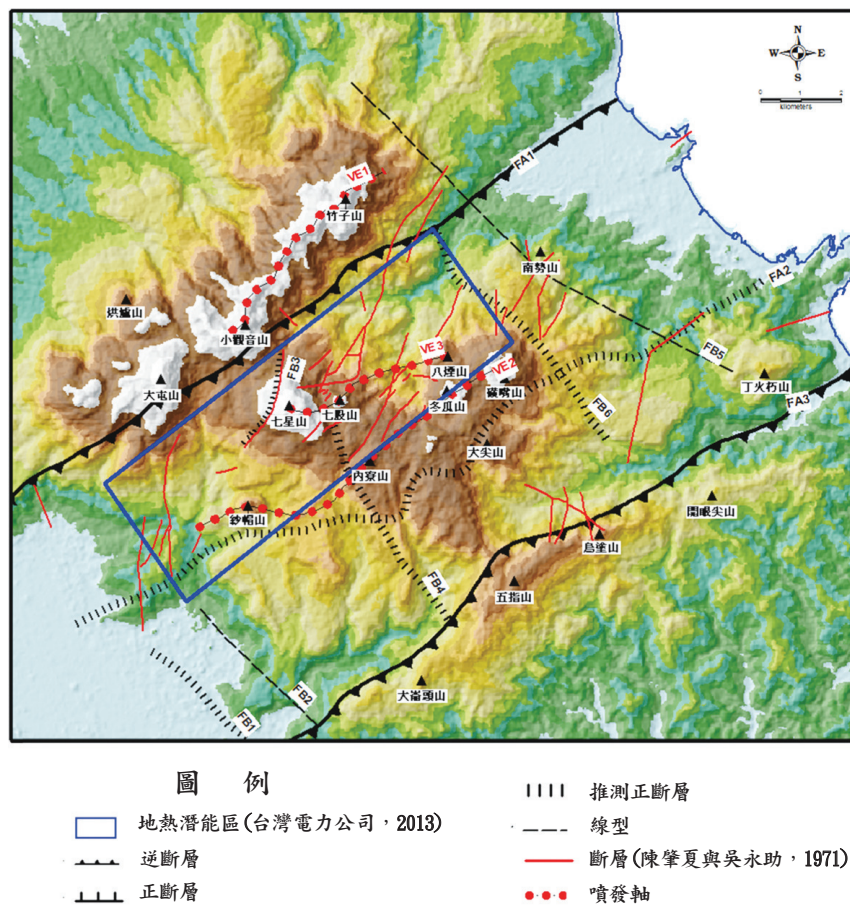


圖3 大屯山地區之地質構造線分布圖(本研究整理繪製)

軸。依據斷裂線的走向可分為兩類：(1) FA類斷裂線；與區域地質構造走向呈平行者，包括金山斷層(FA1)、呷哩岸線形(FA2)與崁腳斷層(FA3)等；呷哩岸線型為推測正斷層外，另兩斷層為逆斷層。(2) FB類斷裂線：與區域地質構造走向呈直交或斜交者，包括內湖斷層(FB1)、關渡小坪頂臺地崖角線(FB2)與、小油坑斷層(FB3)、內雙溪斷層(FB4)、頂中股海岸臺地崖角線(FB5)與大孔尾-大坪臺地崖角線(FA6)等；除小油坑斷層為確認正斷層外，其餘皆為推測正斷層或地形線型。呷哩岸線型分布於金山斷層與崁腳斷層之間，所有地熱徵兆區皆分布於呷哩岸線型與金山斷層間；線型的東南側為明顯單調的熔岩流覆蓋的老期火山區，而西北側則為地形變化較大，幾個較新的火山錐體分布，包括：磺嘴山-冬瓜山及紗帽山即順著線型的西北側排列(李錫堤, 1996)。田蓉禮(1991)指出本火山區包括有竹子山-小觀音山(VE1)與紗

帽山-內寮山-磺嘴山 (VE2)等兩噴發軸線；依據相似特性本研究新增七星山-七股山與八煙山 (VE3)噴發軸線。構成火山之線形排列有火山口、火山中心與區域火山等3類，其皆與沿區域性弱線的火山噴發活動有關(巫宗南, 1990)。

2.5 火山活動演化史

大屯火山群的活動與臺灣北部後碰撞作用的造山崩解張裂作用有關(李錫堤, 2001)；在200萬年以前屬於活動造山帶，第三紀的沉積岩地層被擠壓而形成一系列的逆衝斷層。早更新世以來，造山運動的推力逐漸消退，應力場由擠壓型轉變為伸張型；因地殼逐漸鬆弛，而使埋藏在地下的岩漿沿裂隙向上竄升，約於50萬年前火山開始噴發而形成大屯火山群。宋聖榮(1982)以4階段說明大屯火山群的演化：(1) 250萬年前；處於弧陸碰撞的狀態，大地應力為擠壓的狀態，岩漿不容易上升至地表而形成一些

零星的火山噴發。(2) 80萬年；沖繩海槽的張裂及其向西南延伸，應力由擠壓力轉變為張力狀態，在火山群的中心形成一個沉陷火山口。(3) 70萬年前；大量的岩漿沿著沉陷火山口的裂隙上升，劇烈的噴發持續了約20萬年，形成了大屯火山群。(4) 20萬年迄前今；火山的活動直到20萬年前才結束，並持續到現在。

莊文星(1992)利用鉀-氬法與核飛跡定年的結果，將火山的活動分為三期及其代表的火山亞群：(1)早期(250萬年前)；以涌仔山為代表，其附近的丁火朽山亦可能同期。(2)中期(75萬年前)；小觀音山與竹子山系列以及南大屯山等。(3)後期(50萬年前或更年輕)；磺嘴山與七星山。陳文山等(2007)利用LiDAR數值地形分析共找出51個火山錐體，因火山錐體為數眾多，依據層序分析將火山活動劃分為7期。若將陳文山等(2007)之結果疊合圖2的火山地形區，各亞群的噴發情形為：(1)竹子山亞群；皆為第4期。(2)大屯山亞群；南大屯山⁽²⁾、大屯山^(2、3、5)、面天山⁽³⁾與烘爐山⁽⁷⁾，除烘爐山外，大部分為2~3期。(3)七星山亞群；七星山^(2、5)、七股山^(2、3)、內寮山⁽²⁾、燒更寮⁽³⁾，除七星山為第5期以外，大部分以2~3期為主。(4)磺嘴山亞群；包含磺嘴山^(2、5、6)、荖寮湖山^(2、5)、大尖山^(2、3)、大坪岩流臺地⁽⁶⁾，除南側的大尖山外，北側火山皆有5~6期的活動。(5)丁火朽山亞群；涌子

山⁽¹⁾與之丁火朽山⁽³⁾，主要為1或3期的活動。

綜合上述結果，概略以火山群的南北分布狀況來看，可將其分為4期(如圖4)：(1)第1期(造山時期之火山活動)；以丁火朽山亞群為代表。(2)第2期(造山運動應力轉變)；分布在金山斷層-崁腳斷層間，有大屯山、七星山與磺嘴山亞群等；岩漿沿地殼裂隙廣泛性的噴發，而構成目前各亞群的基底。(3)第3期(正斷層時期)；在金山斷層北側的竹子山與大屯山亞群，以及呷哩岸線型南側的燒更寮-大尖山等火山噴發；因長期的侵蝕作用而造成火山錐體形貌不完整。(4)第4期(後正斷層時期)；分布於金山斷層與呷哩岸線型間，包括七星山與磺嘴山等火山噴發，推測與後期馬槽地區的岩漿活動有關，具完整的火山錐體且為目前地熱區的所在。

陳肇夏與吳永助(1971)利用地質、鑽井與等溫度線等資料，自北投至金山間繪製一條西南-東北向之地質剖面如圖5所示；在此剖面以七星山與磺嘴山間的馬槽陷落帶為最顯著的地質構造區；剖面的東、西兩側不論地形高程或等溫度線皆有顯著的變化，可能在地下存在有尚未發現的正斷層，在剖面西南側可能分布於七星山與臺北盆地間，而剖面東北側則分布在磺嘴山至金山間，可能是一個斷層陷落帶(如圖5)。

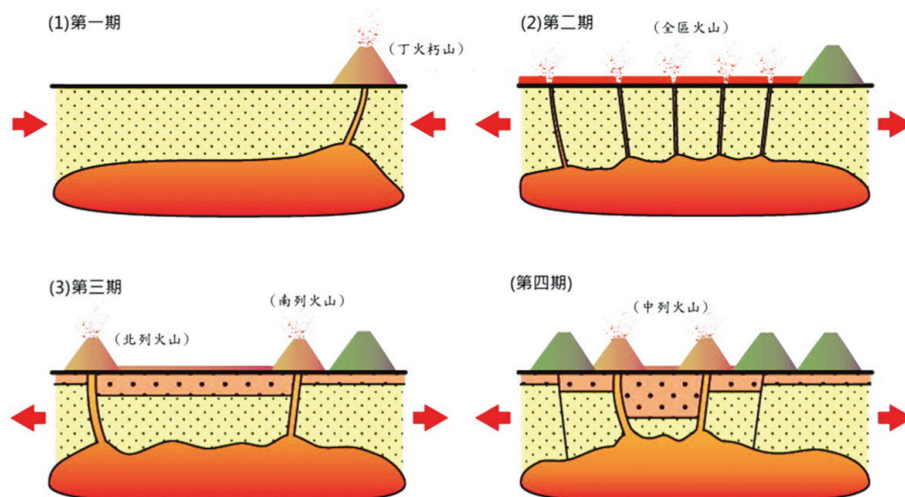


圖4 大屯火山群之火山活動演化示意圖(本研究繪製)

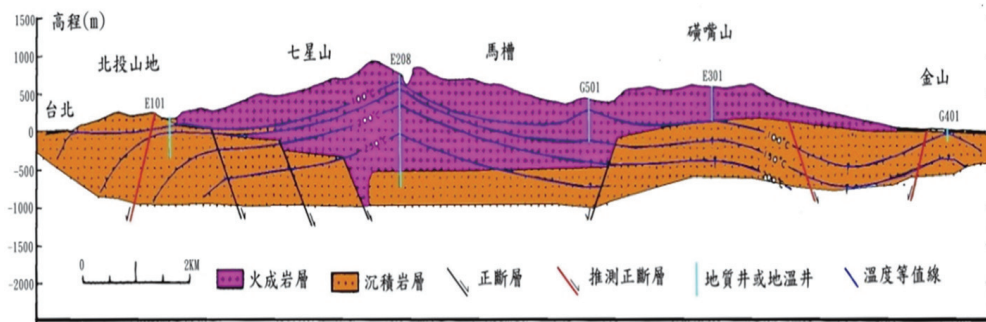


圖5 大屯山地熱區東西向之地質剖面圖(陳肇夏與吳永助，1971)

2.6 地熱系統之模式

一個地熱系統形成的條件如圖6所示(程楓萍等，1987)：(1)熱源：能夠提供較高溫且充足的熱量來源是一個地熱儲集區的基本條件。在大屯山地熱區的中心區蘊藏有大量的熱源，地下熱水的溫度多在 150°C 以上，最高可達 300°C ；此區具明顯的重力異常，其可能為密度較圍岩大的火山侵入岩或岩漿庫(余炳盛與魏正岳，1998)。(2)熱源儲集層：孔隙或裂隙發達的砂岩、礫岩或火山岩都是良好的含水層，可提供地下水的儲存空間及有助於地下水的循環作用(余炳盛與魏正岳，1998)。大屯山地熱區分布在一狹長地帶，在地質上明顯受到五指山層的控制(陳肇夏，2000)。覆蓋於五指山層的火山岩，部分為節理發達的安山岩或高孔隙率的凝灰角礫岩，當其厚度及延展性足夠，亦是良好的儲集層。(3)蓋層：儲集層的上方須有相當厚度且不透水的蓋層，才能將地熱資源封

閉於地下而避免熱能散失。大屯山地熱區可能的地熱儲集層(五指山層)上覆有厚層狀之安山岩流，緻密結構的安山岩可成良好的蓋層。(4)地下水：地熱區若無地下水循環源源不斷的供應，於長期的抽用後而終至耗竭。大屯山地熱區之地下熱水的來源，主要來自於淺層地下水的補注，經由深部熱流混合而成；由區內竹子湖2012-2016年氣象資料顯示，年平均降水超過 $3,200\text{ mm}$ 以上(如圖7)，高於臺灣30年平均量 $2,400\text{ mm}$ 。(5)斷層與裂隙：為地下深處的熱水上升至地表的通路，及地表水深入地下而起深循環作用。高角度的正斷層會比低角度的逆斷層有利於地熱活動；連續性發育良好的裂隙，則可增加地層裂隙間之互通性，而形成深水循環最佳通路之一(吳質夫，1997)。大屯火山區在大地應力由逆斷層體系轉為正斷層發育，造成了火山活動，因火山噴發的貫穿及上舉作用，造成岩層破碎及斷層並提供了水循環的通路(周順安等，2003)。

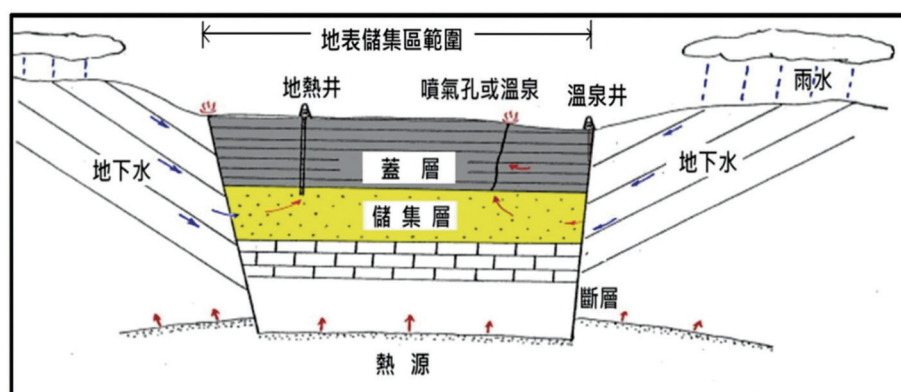


圖6 溫泉與地熱系統構成圖(程楓萍等，1987)

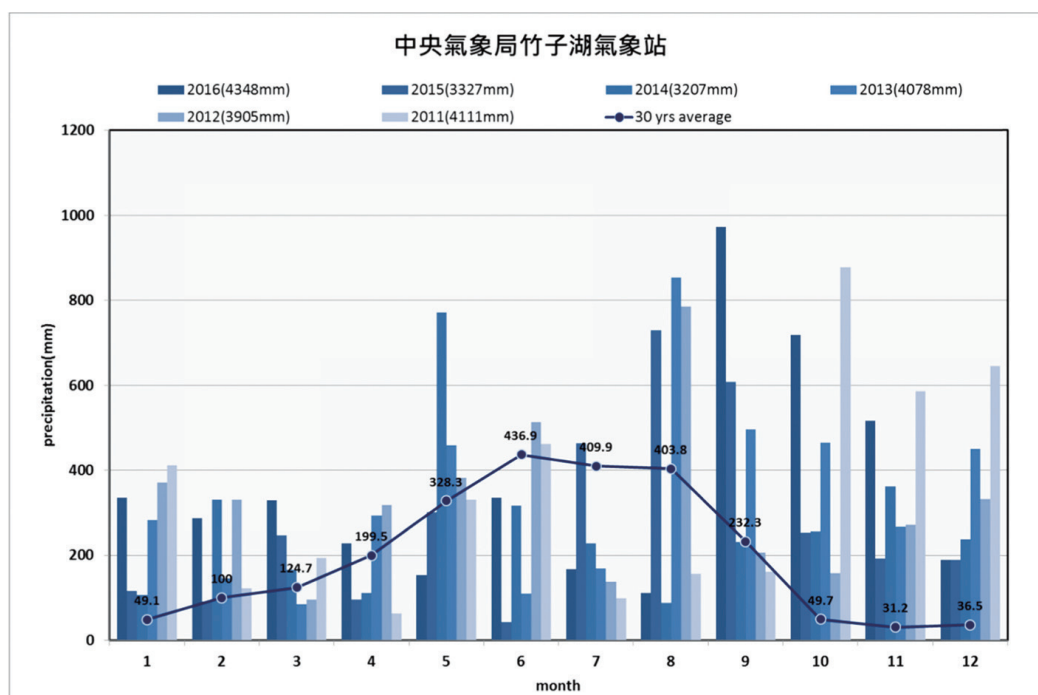


圖7 中央氣象局竹子湖測站逐年逐月降水量分布圖(本研究繪製)

3. 線型與儲集區判釋

本研究主要的工作內容有2項：(1)線型的判釋-找出區內地熱徵兆上升之通路(地質構造線)。(2)儲集區的判釋-由上述找出區內可能地熱儲集區之分布範圍與類型。以下章節先說明線型的判釋以及儲集層的判釋之基本介紹，其後以大屯山地熱區做為案例。

3.1 線型的判釋

溫泉的出露位置與線型構造有十分密切關係(鄭文哲等, 1980)；特別是有兩條或多條主要線型交叉相遇時，即有溫泉湧出；在地形上其往往因河流的侵蝕而造成深谷低地，而在地質構造則因地層的斷裂而形成良好的通路。臺灣地質主要係由沉積岩與變質岩等構成的褶皺造山帶，因此線型研究的成果亦多著重於此；本文除說明線型的原理與方法外，並探討火成岩區可能產生的線型類別。

3.1.1 原理與方法

線型分析是在航遙測資料上找出地面的成

線現象，經過分析研判以瞭解其地質意義，因此其必須具備有兩個條件：(1)線狀分布；(2)地質意義。線型可能代表地殼內受構造控制的斷裂或地層之界限，此種線狀構造在地面有時很難以發現，但可能由航遙測的全景效果而清楚的顯現出來。

線形的判釋作業有2項主要工作：(1)資料蒐集：是進行判釋前的先期工作，需要蒐集的資料有：(A)地質文獻；以瞭解區域之地質構造概況。(B)航遙測影像或地形圖，作為線型判釋的底圖。(2)判釋與數化：提供判釋成果圖的展示以及疊圖分析評估之用，內容包括：(A)線形辨認：斷裂構造所造成的地形或水系之地貌特徵，是最常被運用來進行線型的判釋(黃鑑水等, 1991)，包括斷層鞍部、山肩地形、酒瓶狀谷、三角刻面、壓力脊或斷塊脊、平直河道或線狀型山谷、懸谷、突然轉向的水系及線狀排列之凹地或蝕孔等。(B)數化處理：選擇具有繪圖與疊圖功能之地理資訊系統軟體即可。

3.1.2 火山岩山地之線型特性

大屯火山群之斷裂系統類別及其溫泉徵兆

分布狀況如圖8所示，依據文獻與本研究的判釋推估，包括3類的斷裂系統。各類的斷裂系統的成因與特性為：(1)由下伏基盤岩的斷層活動所造成的斷裂(如圖8A)；在金山-新莊斷層上盤之火山岩地區，有明顯的斷裂系統分布(陳肇夏與吳永助，1971；李錫堤，1993)，多數線形延伸與金山-新莊斷層略呈斜交，具正斷層特性；其係由基盤岩發生左移分量的正斷層活動所造成的上覆火成岩的斷裂現象(李錫堤，1993)。另大屯火山群內之溫泉，有很大部分呈北北東-南南東方向的谷地排列(陳柏淳等，2010)；可將其分類為A類溫泉線型(如圖8(C))，如七星山亞群之鼎筆橋野溪與松溪。(2)岩漿上舉所造成的火山錐體斷裂(如圖8(B1))；從航照或影像的觀察，即可見七星山與冬瓜山等兩火山錐體皆具有此類斷裂；著名米食『發糕』即顯示有相類似的效果。七星山錐體西側谷地的小油坑硫氣孔即為B1類溫泉線型(如圖8(C))。(3)火山錐體外圍地形邊界的斷裂(如圖8(B2))；在火山錐體所出露的火山岩最厚，而外圍的岩流臺地明顯變薄，因此兩火山錐體接觸處或錐體與臺地接觸地帶會為其弱帶，在外力作用時即斷裂；類似結構如巧克力塊間之凹槽部分。在磺港溪與

磺溪之間有一系列的溫泉分布，兩溪分別為大屯山亞群、北投山地與七星山亞群的分界，屬於B2類溫泉線型(如圖8(C))。

3.2 地熱儲集區的判釋

地熱是蘊藏在地殼表層約3-5公里深度之內，具有開採價值的天然熱水或蒸汽。雖然臺灣的溫泉具有數量多、分布廣，但要達到真正具有規模，可以大量開採之地熱儲集區，為數並不算多；大屯火山地熱區是其中之一。因為理想的地熱儲集區並非那麼容易形成，相較溫泉需要有更嚴格的條件(余炳盛與魏正岳，1998)；兩者在溫度、規模與探勘目標區等條件有很大的差異。一般溫泉的熱水只要高於40-50°C以上即可，而地熱則必須高於150°C。對於熱水量的需求兩者相差數十倍甚達到百倍以上，有若一般健檢驗血與捐血兩者不同的抽血量。溫泉業者基於上述需求，探勘時多以沿溫泉露頭周圍或其周邊地質斷裂帶，鑽鑿數百公尺探勘井只要取得熱水即可；地熱開發則必須真正找出蘊藏這些熱水的儲集構造或儲集區(由地下儲集層投影至地表的區域)，一般而言鑽鑿深度在1,000-3,000 m左右，需投入相當大的

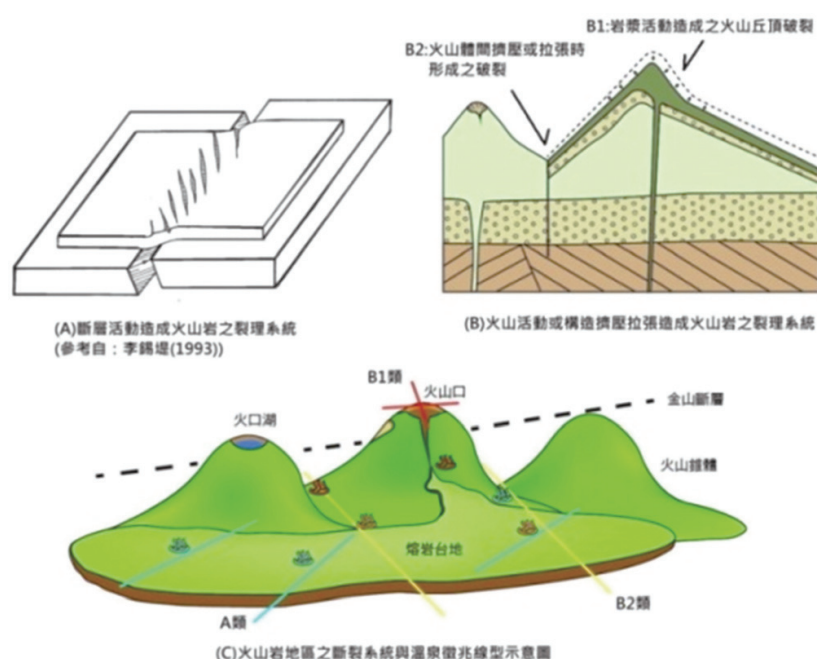


圖8 火山區之斷裂系統類別以及其與溫泉徵兆分布示意圖(本研究繪製)

成本，先期的儲集區判釋與評估是一項基本工作，這些都與未來地熱區的探勘成敗或開發成本有關。由線型成果來進行儲集區評估的概念如圖9所示；由線型的數量及其交截狀況大致可分3種類型：(1)一條溫泉線型(圖9A)；僅知道熱水自儲集層上升至地表通路狀況，無法直接提供儲集區的分布，需要一些間接資料來輔助判釋。(2)二條平行的溫泉線型(圖9B)；儲集區在兩線型間，其側向延伸狀況則較不明確。(3)有二條以上且有交截的溫泉線型(圖9C)；幾可確認儲集區的分布範圍。

3.3 大屯山地熱區案例研究

本研究判釋範圍以涵蓋金山斷層與唭哩岸線型間，經線形的判釋與儲集區的判釋結果，大屯火山地熱區自西而東可分為：北投、七星山、馬槽與磺嘴山等4個地熱區。以下說明各地熱區之特性：

3.3.1 北投地熱區

北投地熱區以分布於磺港溪與磺溪兩溪間之溫泉群落最為著名；兩溪略呈“T”字形分布而以一山坳相隔(如圖10)。磺港溪呈東西流向之直流河，南北側分為大屯山之十八分臺地與北投山地。磺溪呈南北流向之直流河，西側為大屯山亞群與北投山地，東側為七星山亞群。北投地熱區之區域地質如圖11所示；出露的熔岩流層序為：大屯山熔岩及二子山熔岩(Ahy)、南大屯山頂部熔岩(Aph)、十八份熔岩(AP)、面

天山熔岩(Ahp)、大磺嘴岩流與南大屯山底部熔岩(AP)；以及3層火山碎屑岩之夾層(莊文星，1992)。北投山地係由五指山層及木山層等所組成。金山斷層與唭哩岸線型呈東西向分別經過地熱區北側的大屯山亞群與南側的北投沉積山地，數條南北向的斷層構造貫穿磺港溪谷地。

圖12為北投地熱區之斷層線與線型分布圖。在區內有5條南北向斷層經過溫泉或熱水換質帶，其中以硫磺谷溫泉較顯著有3條斷層經過。經由圖面判釋新增5條溫泉線型：(1)PT-1；由磺溪-竹子湖溪所成之直流河段，為大屯火山亞群-北投山地東側之地質與地形邊界(有雙重溪⁽⁵⁾與頂北投⁽⁶⁾溫泉)。(2)PT-2；由磺港溪之直流河段所構成，為大屯火山亞群與北投山地之地質與地形邊界(有長春⁽²⁾、挹翠橋⁽³⁾與硫磺谷⁽⁴⁾溫泉)。(3)PT-3；線型切過北投山地西北側，呈線狀崖與2個三角刻面地貌特徵(地熱谷⁽¹⁾溫泉)。(4)PT-4；具相反流向谷地與鞍部地貌特徵，可能是五指山層與木山層之地層交界(地熱谷⁽¹⁾溫泉)。(5)PT-5；金山斷層上盤山地與盆地交界處，大致與山腳斷層斷跡相當，有2處熱水換質區分布，顯示過去曾有熱水沿山腳斷層上升。北投地熱區儲集區之判釋成果如圖13所示；以磺港溪為界可再分為2個儲集區：(1)北投(A)；儲集區呈長1.9 km、寬0.7 km之矩形範圍，由北投山地北側的五指山層所組成，其4邊周界皆分布有溫泉徵兆(2)北投(B)；長2.1 km、寬0.8 km之矩形範圍，為火山碎屑岩所覆蓋的十八分臺地，其中北側無溫泉線型而以臺

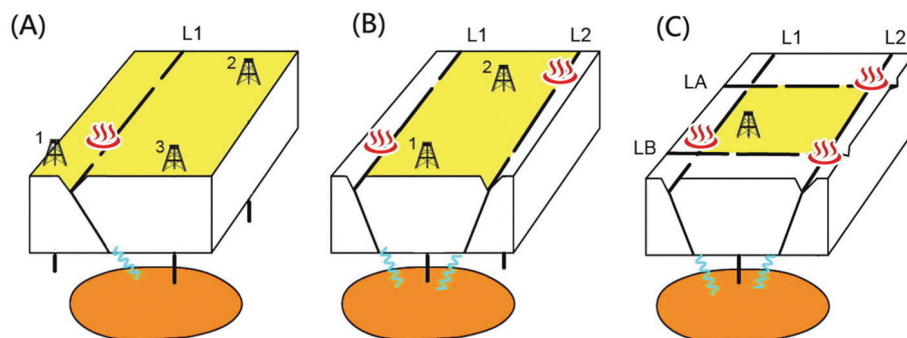


圖9 溫泉線型的分布況與儲集區判釋概念圖：(A)一條線型；(B)二條平行之線型；(C)二條以上線型並呈交截狀況(本研究繪製)

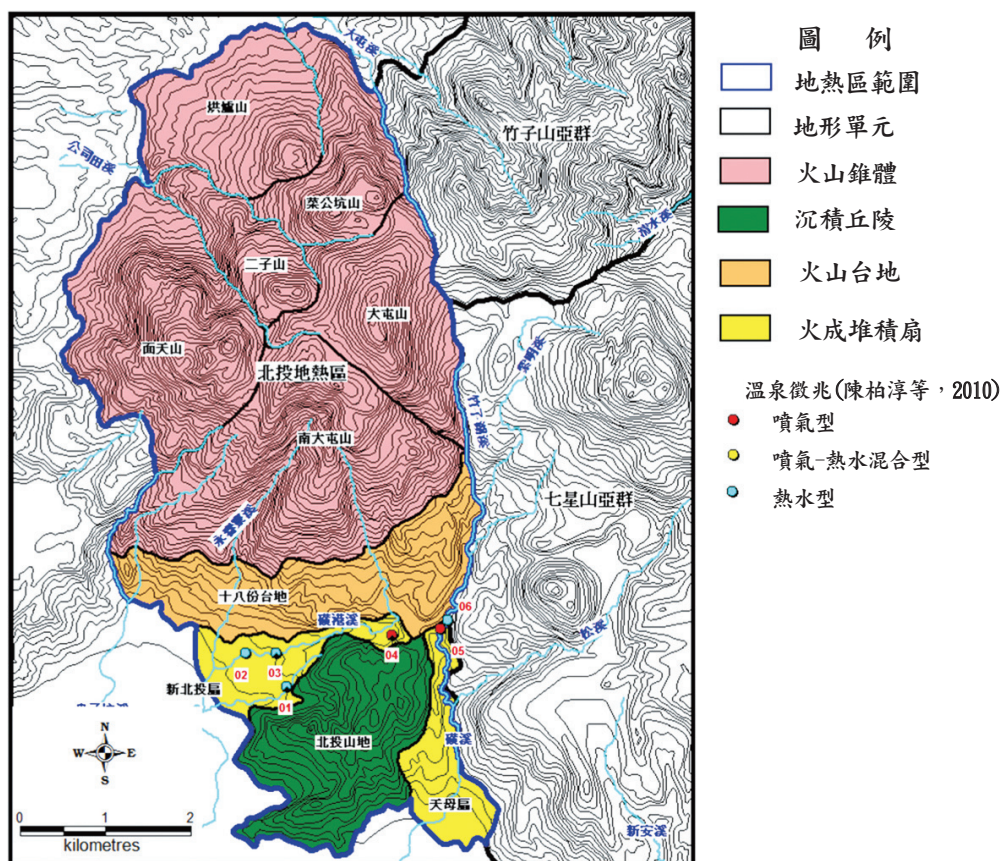


圖10 北投地熱區之地熱徵兆與地形分區圖(本研究整理繪製)

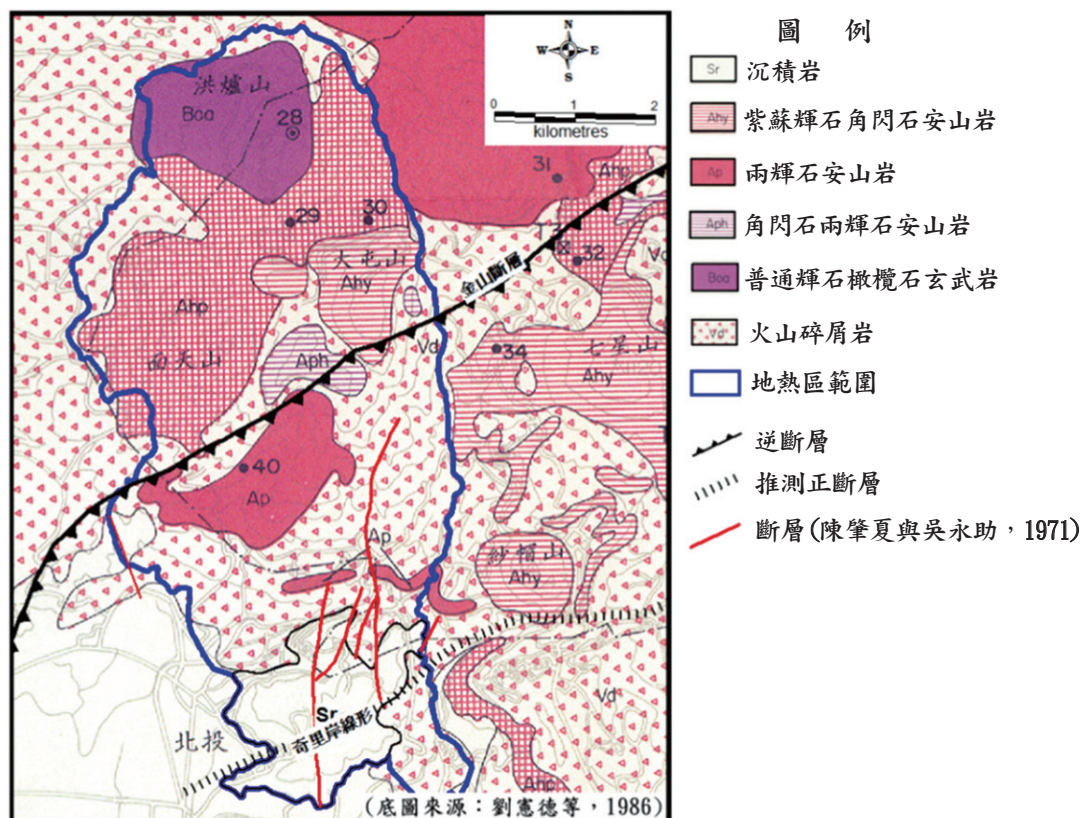


圖11 北投地熱區之區域地質(本研究整理繪製)

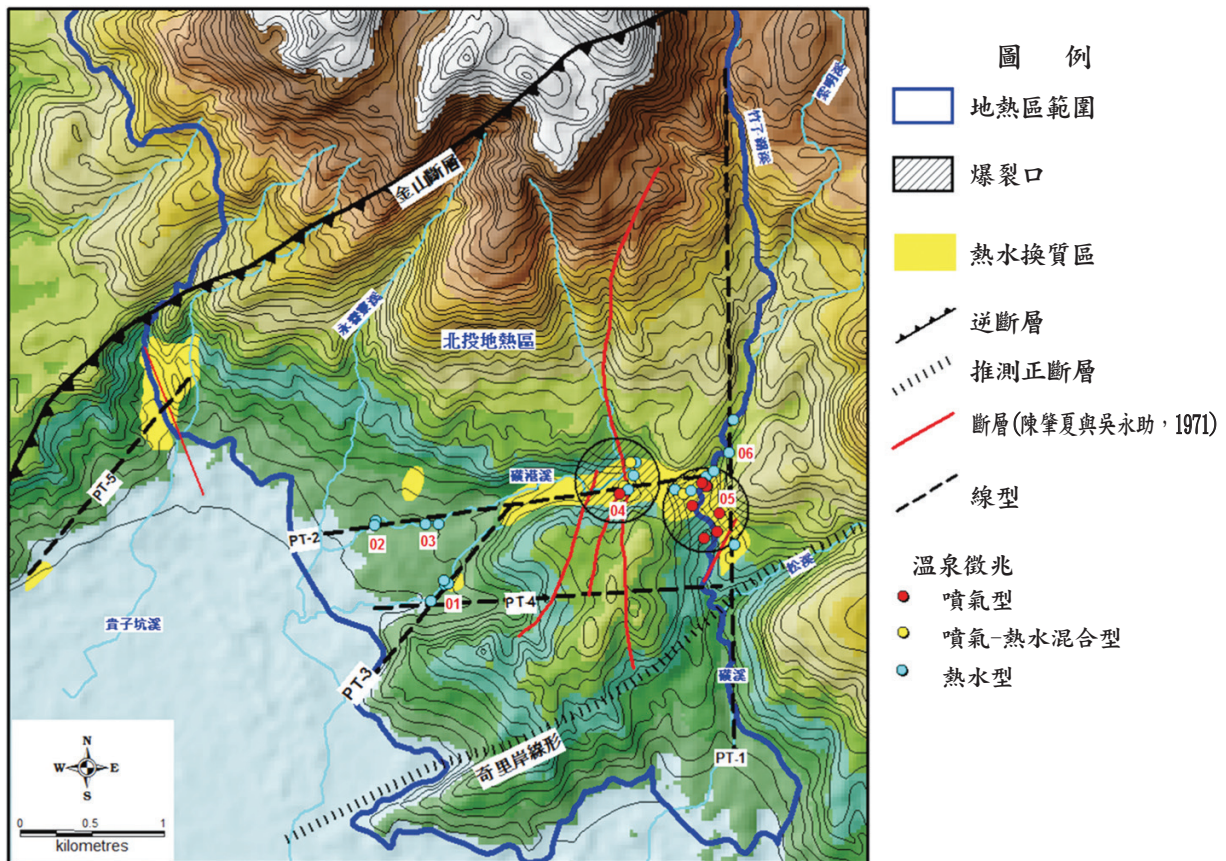


圖12 北投地熱區之斷層線與線型分布圖(本研究整理繪製)

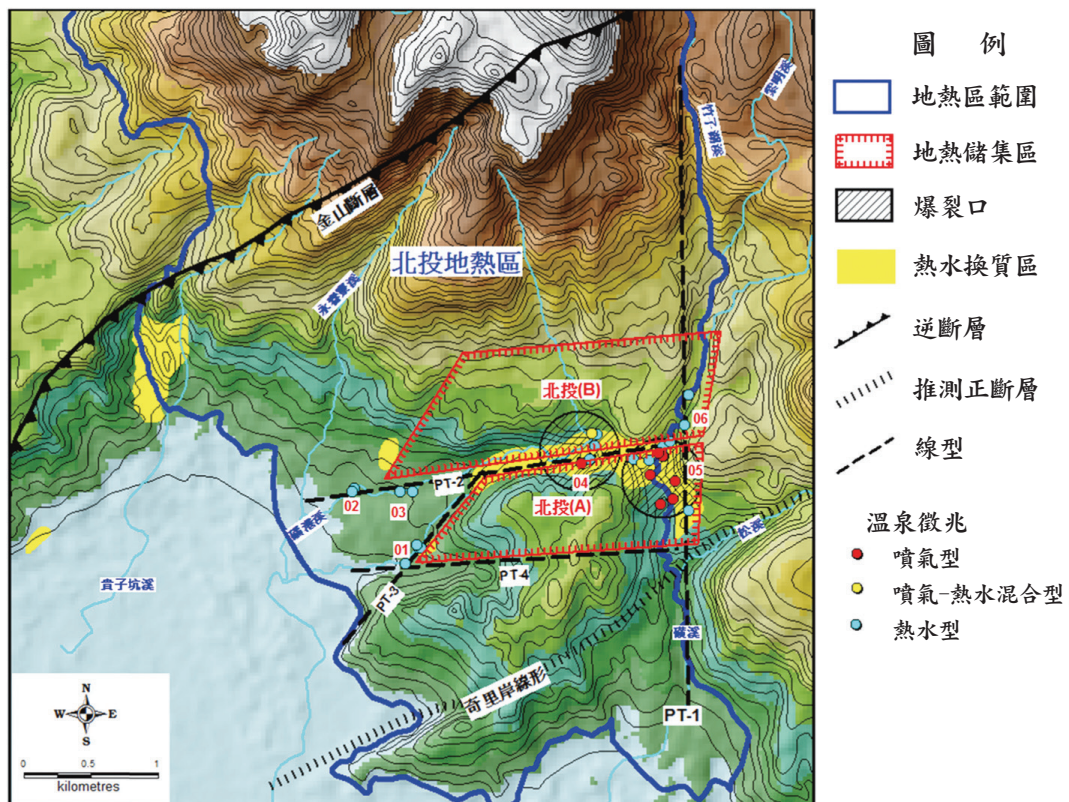


圖13 北投地熱區之儲集區判釋圖(本研究繪製)

地階後崖做為其北界。整體來看這些溫泉徵兆的特性，東側的雙重溪爆裂口有顯著的硫氣孔分布，往西在硫磺谷爆裂口則為噴氣-熱水混合型出現，更往西則多呈熱水型式出現，顯示溫度變化由東往西漸減。

3.3.2 七星山地熱區

七星山地熱區以分布於七星山亞群之七星火山；溫泉約沿七星山的西北與東南兩側、東北-西南向的2條線形分布(如圖14)。七星山火山的範圍大致由磺溪-清水溪-馬槽溪與松溪等溪流所圍繞之區域，具有典型的火山錐體與火山臺地地貌，可見數處的山間盆地與谷地地貌為本區的特色。七星山地熱區之區域地質如圖15所示；包括七星山及紗帽山熔岩(Ahy)、陽明山熔岩(Ahp)與2層的火山碎屑岩(vd)(莊文星，1992)；熔岩構成火山錐體(如七星山與紗帽

山)，火山碎屑岩覆蓋臺地面上。金山斷層與呷哩岸線型通過本火山區之南北兩邊，小油坑斷層切過七星山之西北側；在東北側接鄰馬槽一帶有明顯的斷層構造分布，其他還有七星山的東南側(2條)與小隱潭溪谷地(1條)。

圖16為七星山地熱區之斷層線與線型分布圖。本區的溫泉或熱水換質帶主要分布於小油坑斷層及七星山東斷層(石再添等，1986)之間。8條溫泉線型皆與溫泉的布列有關，依據走向與成因可分3種類型：(1)東北-西南向的斷裂系統；包括有QXS-4(小油坑斷層及其南緣的鼎筆橋野溪)、QXS-2(松溪與七星山東斷層)與QXS-6(中山樓谷地與七星山東斷層)。(2)火山錐體的斷裂線；QXS-7(自小油坑谷地延伸至丘頂東側)，有小油坑(19)爆裂口。(3)火山或火山錐體之邊界斷裂；QXS-1(七星山東北側線狀崖，南側接內雙溪斷層)，構成七星火山與七股

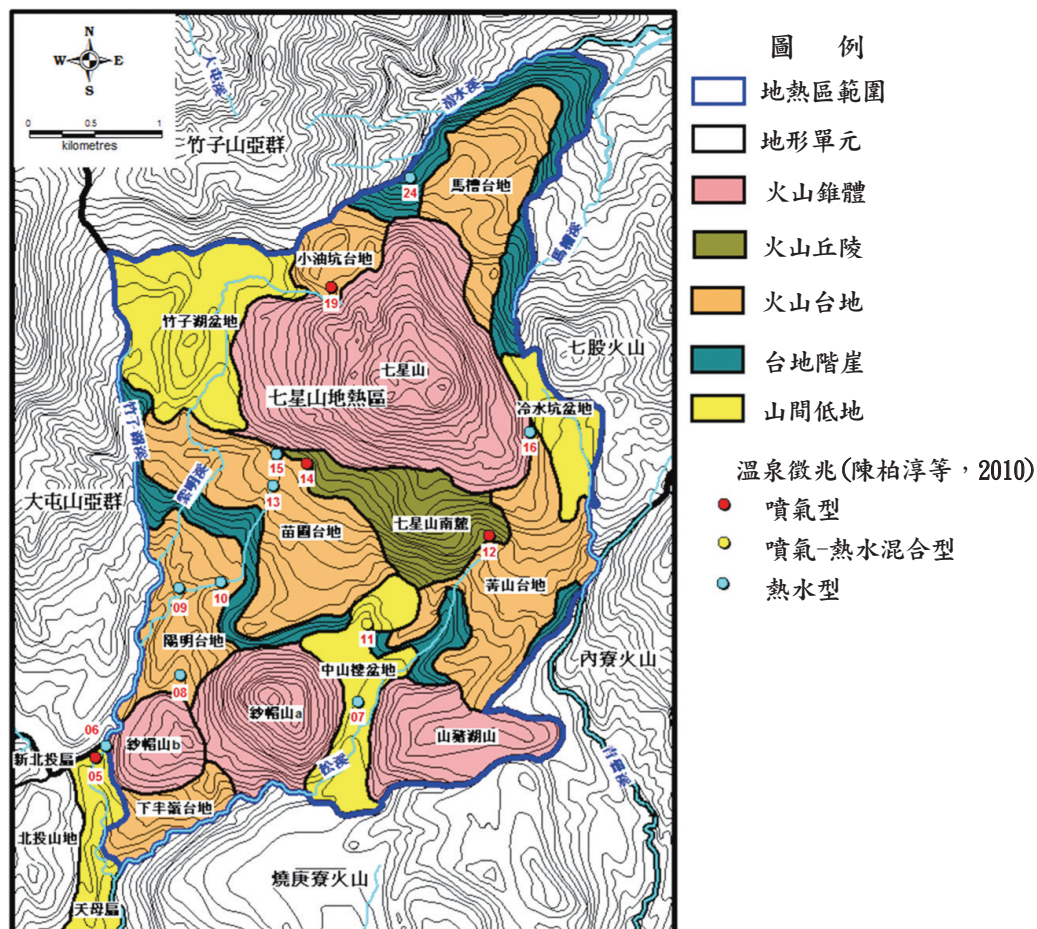


圖14 七星山地熱區之地熱徵兆與地形分區圖(本研究整理繪製)

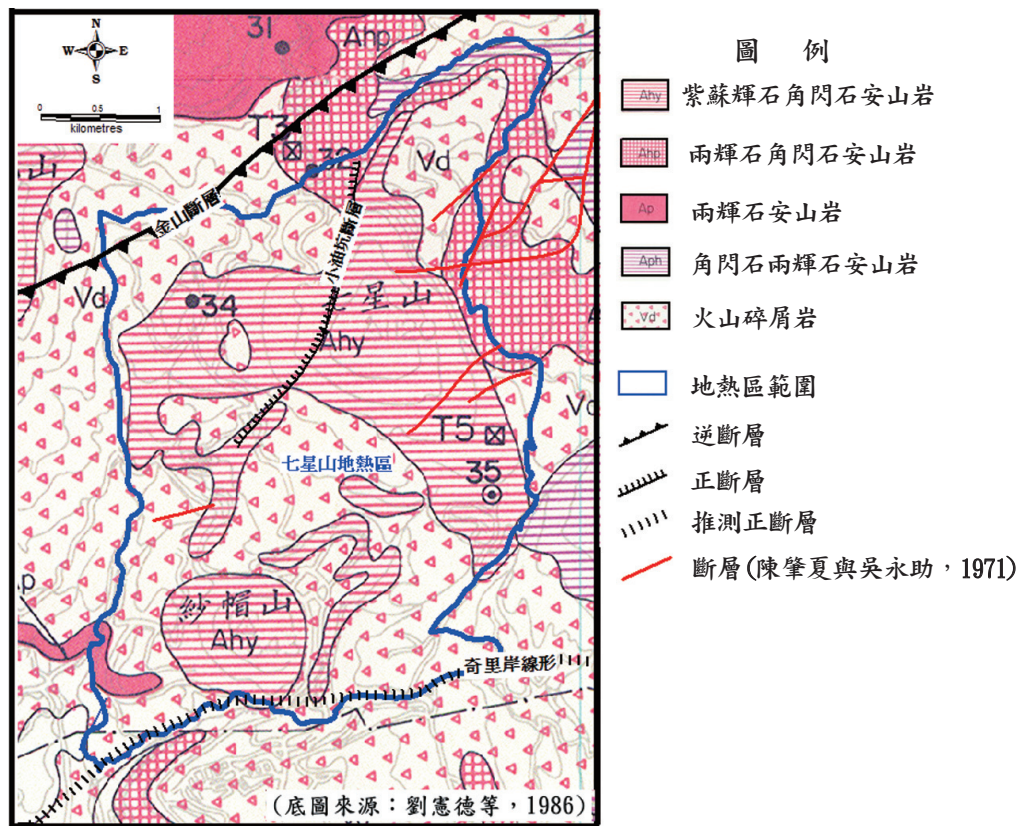


圖15 七星山地熱區之區域地質(本研究整理繪製)

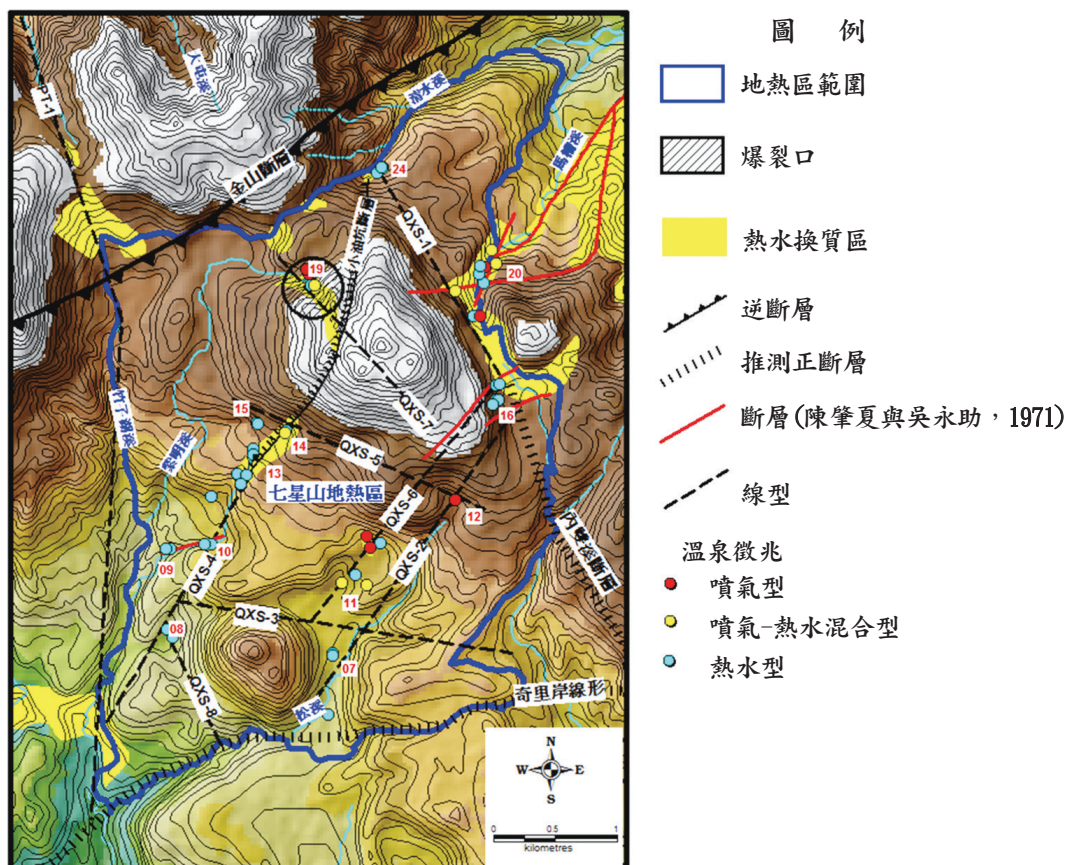


圖16 七星山地熱區之線型判釋圖(本研究整理繪製)

火山的地質與地形邊界；QXS-3與QXS-8(包括鞍部、線狀以及相反流向谷地等)為紗帽山北側與西側之地形界線；小隱潭河谷斷跡為小油坑斷層之次生斷層。七星山地熱區儲集區之判釋成果如圖17所示；以七星山南側地形邊界可再分為2個儲集區：(1)七星山(A)；長1.3 km的正方形範圍；火山碎屑岩所構成的臺地、丘陵與盆地等，4個周界皆有溫泉徵兆。(2)七星山(B)；長2.1 km、寬0.85 km、底邊1.35 km之梯形範圍；七星山熔岩所構成的火山錐體，4個周界皆有溫泉徵兆。另在七星山西北側為小油坑爆裂口，有明顯的硫氣孔。由溫泉徵兆的特性來看：火山錐體周緣以硫氣孔分布為主，外圍的臺地則依次出現噴氣-熱水混合型及熱水型式現，溫度變化由火山錐體往外圍漸減。

3.3.3 馬槽地熱區

馬槽地熱區分布於七星山亞群之七股火山(又稱麻瘋山)；溫泉徵兆沿馬槽溪與大油坑

溪等兩溪谷分布，2溪平行並呈南南西-北北東流向(如圖18)。本火山較其周圍火山如七星火山、內寮火山、大尖火山、冬瓜山與竹子山等低矮。馬槽地區推測為岩漿作用所成的地表陷落區，地表範圍可能分布於順時針排列的3個臺地階崖(頂中股臺地(1)、擎天崗臺地(2)與馬槽臺地(3))內。馬槽地區內僅有1座七股山錐體，臺地與丘陵是其主要的地貌。馬槽地熱區之區域地質如圖19所示；由麻瘋山熔岩(Ahp)、大油坑-磺溪岩流(Aph)與火山碎屑岩(vd)等組成(莊文星，1992)；熔岩構成七股山錐體以及臺地階崖與丘陵等，而火山碎屑岩則覆蓋臺地面上。金山斷層與唭哩岸線型經過火山之南北外圍地帶，區內斷層林立，特別的是沿馬槽溪與大油坑溪及其兩岸坡地。

圖20為馬槽地熱區之斷層線與線型分布圖。經過馬槽溪及大油坑溪的斷裂線與溫泉或熱水換質帶有顯著的關係。區內有6條溫泉線型，依據成因來看分為3種類型：(1)火山或

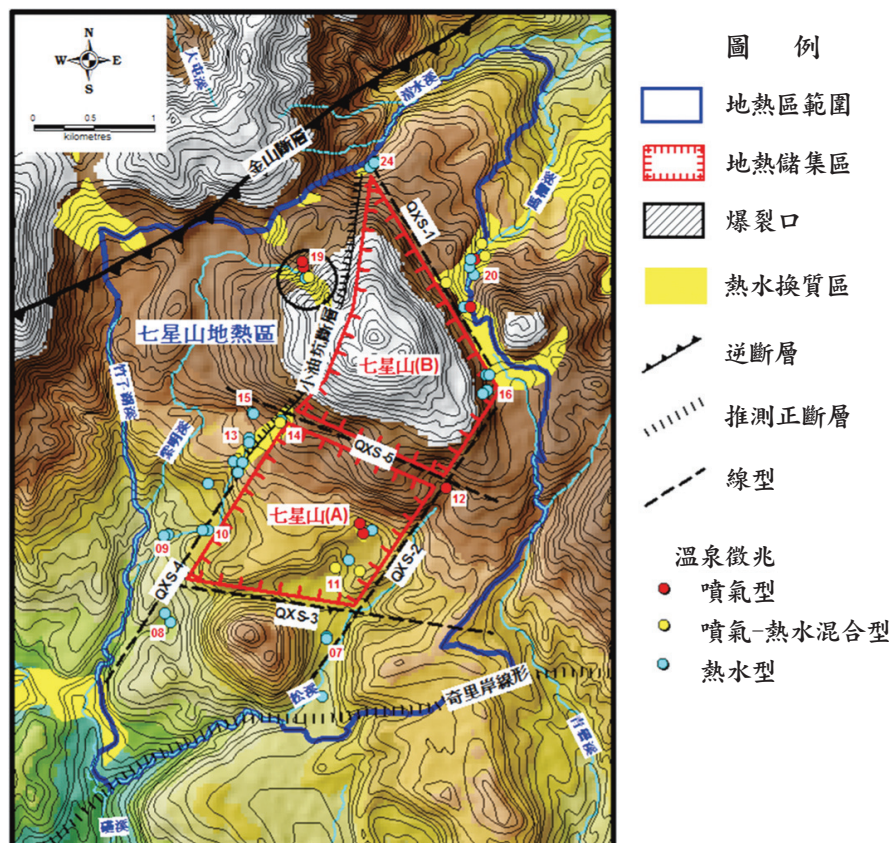


圖17 七星山地熱區之儲集區判釋圖(本研究繪製)

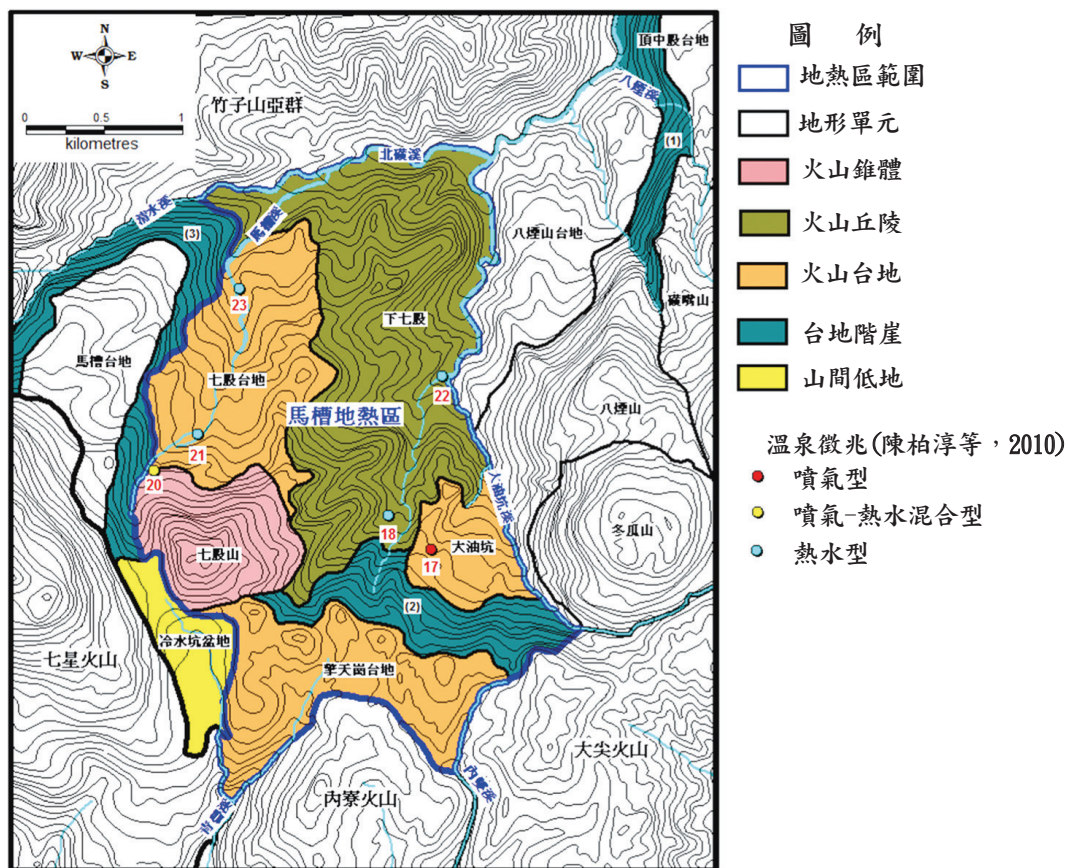


圖18 馬槽地熱區之地熱徵兆與地形分區圖(本研究整理繪製)

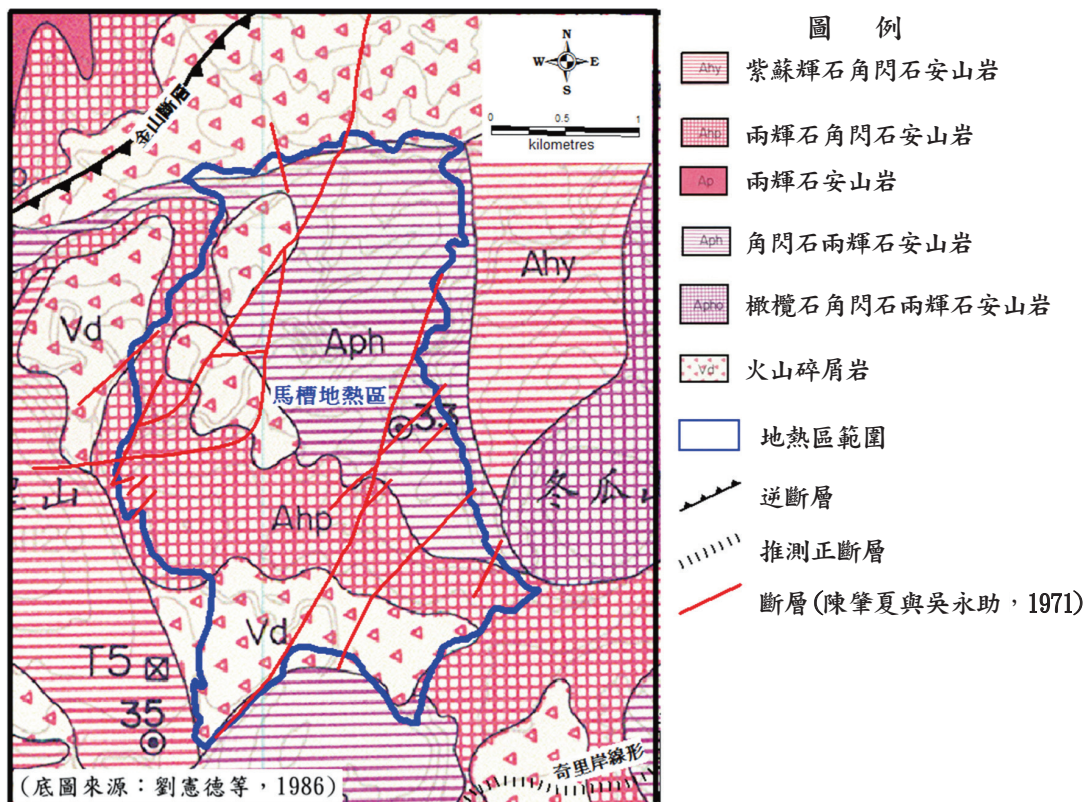


圖19 馬槽地熱區之區域地質(本研究整理繪製)

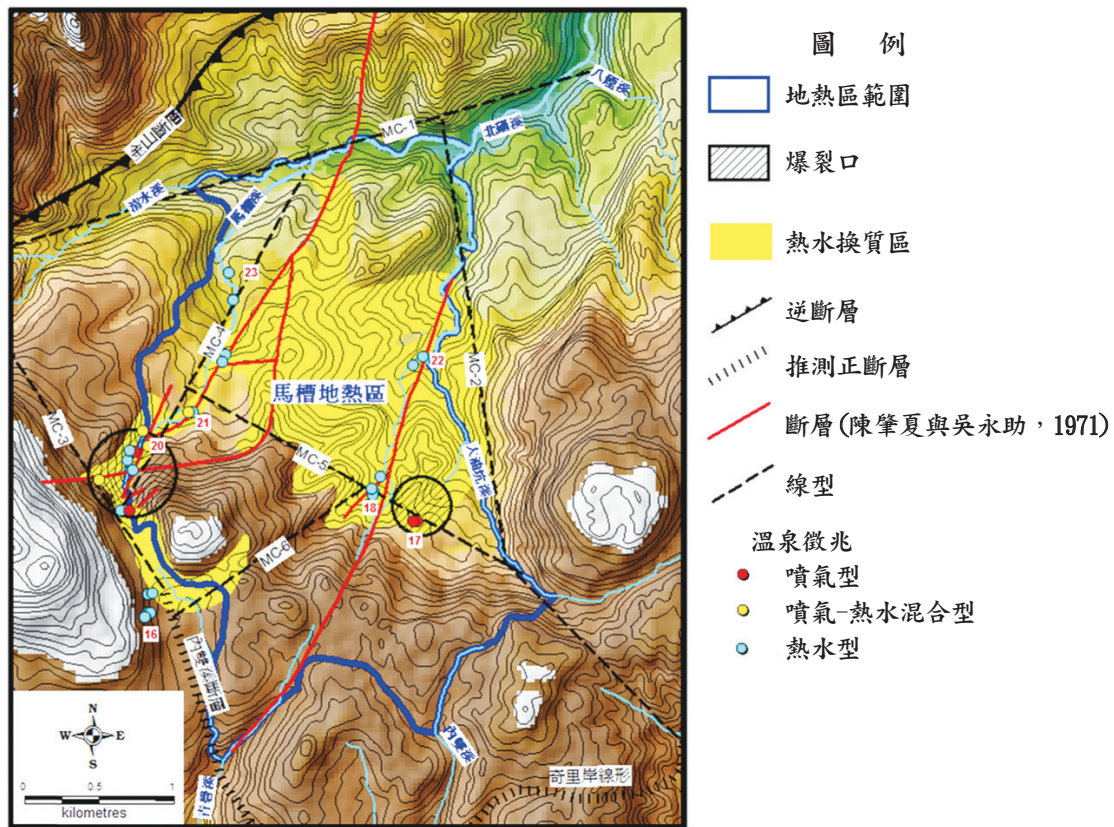


圖20 馬槽地熱區之線型判釋圖(本研究整理繪製)

火山錐體之邊界處斷裂；MC-1 (清水溪直流河段、北接竹子山亞群)、MC-2 (沿大油坑溪發育、東接磺嘴山亞群之冬瓜山)、MC-3 (呈線狀崖、西接七星火山)與MC-6 (呈線狀谷、構成七股山東南界)。(2) 北北東-南南西斷裂系統；MC-4約沿馬槽溪分布，相類似的有大油坑支流與清碧溪連線之斷層也是。(3) 沉陷區周界斷裂；MC-5約沿擎天崗臺階崖與七股山北界延伸。馬槽地熱區之儲集區判釋成果如圖21所示；七股山-擎天崗階崖為分界可再分為2個儲集區：(1) 馬槽(A)；長約1.1 km偏斜的正方形範圍；由熔岩構成的七股山錐體，4個周界皆有溫泉徵兆與熱水換質作用。(2) 馬槽(B)；長2.9 km、寬1.6 km與底邊2.4 km之梯形範圍，為岩流與火山碎屑岩所構成之火山丘陵臺地，除北側外另3個周界皆有溫泉徵兆；區內有明顯的熱水換質區分布。在馬槽與大油坑等2個爆裂口，有明顯的硫氣孔，在馬槽溪與大油坑溪2溪谷則以熱水型式為主，其溫度由爆裂口較高而往外

圍漸低趨勢。

3.3.4 磺嘴山地熱區

磺嘴山熱區以分布於磺嘴山亞群西北側之磺嘴火山；溫泉徵兆分布在磺山⁽²⁵⁾ (煥子坪)、死磺子坪⁽²⁷⁾ 與八煙⁽²⁶⁾ 等3個爆裂口(如圖22)。磺嘴火山的範圍約由北磺溪-大油坑溪-頭前溪-貢寮溪等溪流所環繞，具有典型的火山錐體與火山臺地；冬瓜山、八煙山與磺嘴等火山錐體矗立於南側，八煙、頂中股與大孔尾等臺地以分布於北側。磺嘴山地熱區之區域地質如圖23所示；由冬瓜山與磺嘴山熔岩(Apho)、八煙山熔岩(Ahy)與火山碎屑岩(vd)等所組成(莊文星，1992)；熔岩構成磺嘴山、冬瓜山與八煙山等火山錐體，而火山碎屑岩則覆蓋於臺地面上。金山斷層與呷哩岸線型經過火山之南北兩側；在磺山與煥子坪爆裂口間之大孔尾臺地有顯著的斷層分布，八煙臺地之東緣也有1處斷層分布。

圖24為磺嘴山地熱區之斷層線與線型分布

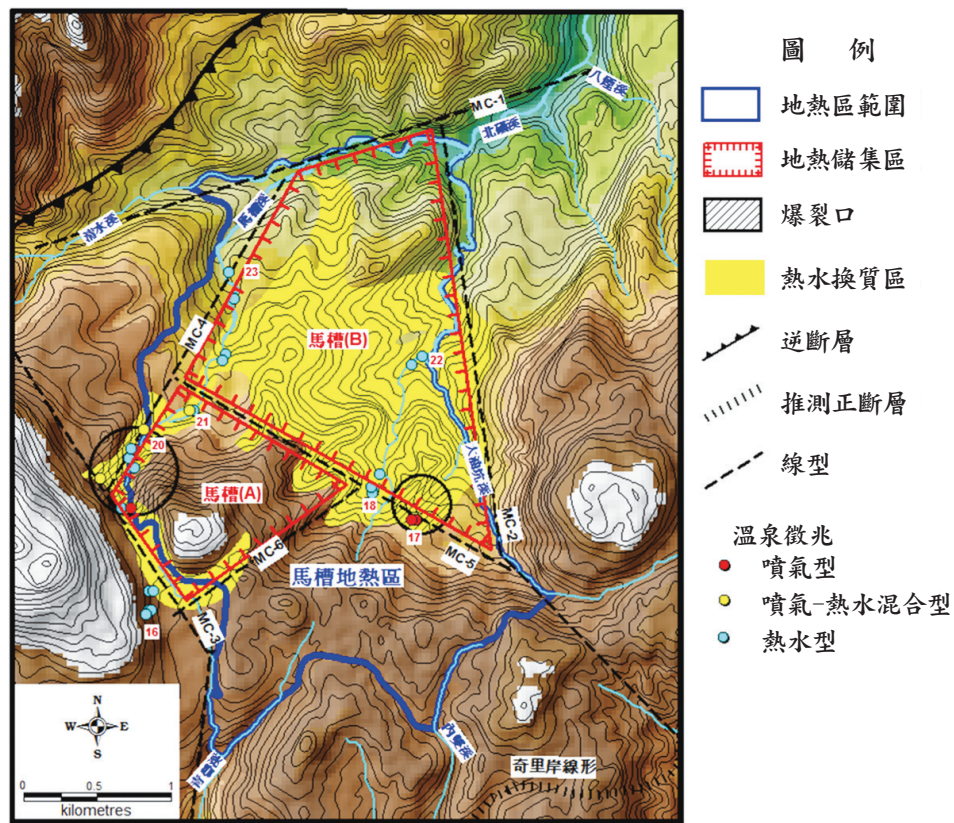


圖21 馬槽地熱區之儲集區判釋圖(本研究繪製)

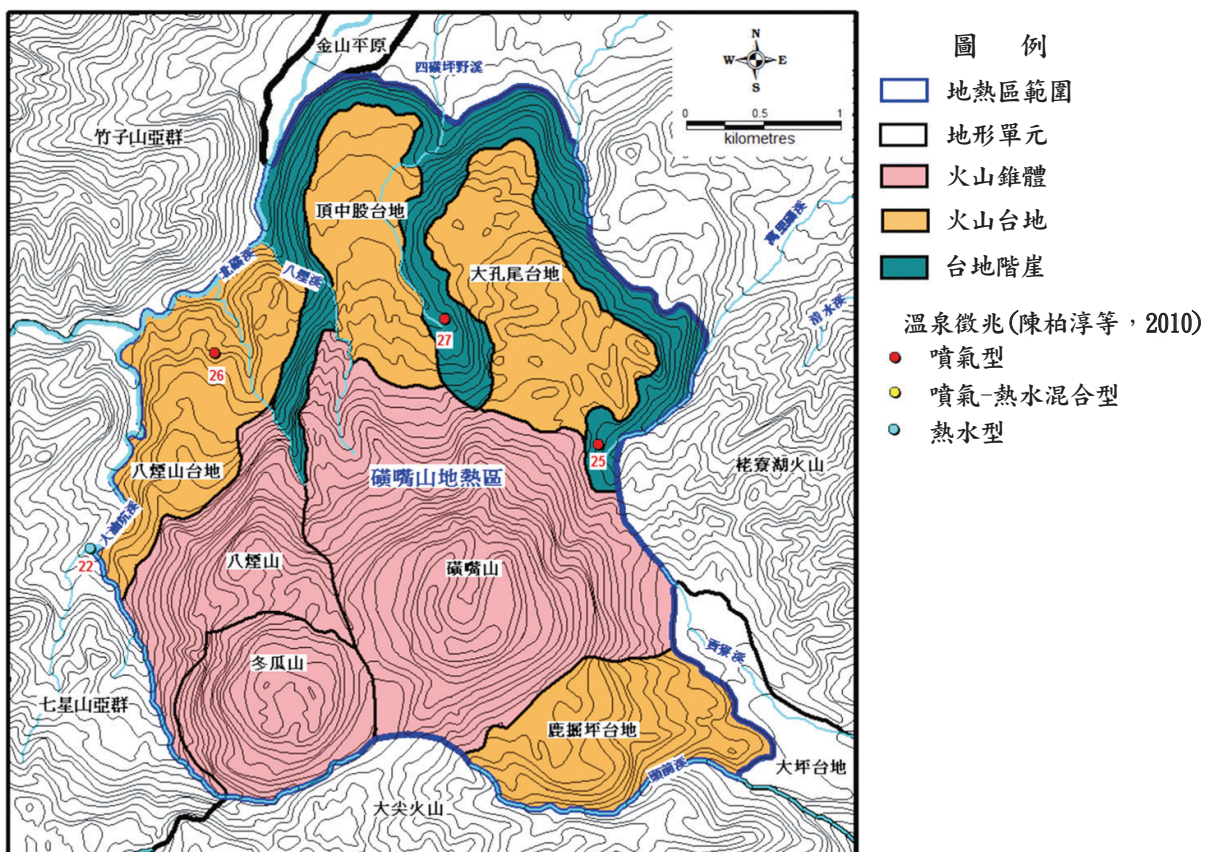


圖22 礦嘴山地熱區之地熱徵兆與地形分區圖(本研究整理繪製)

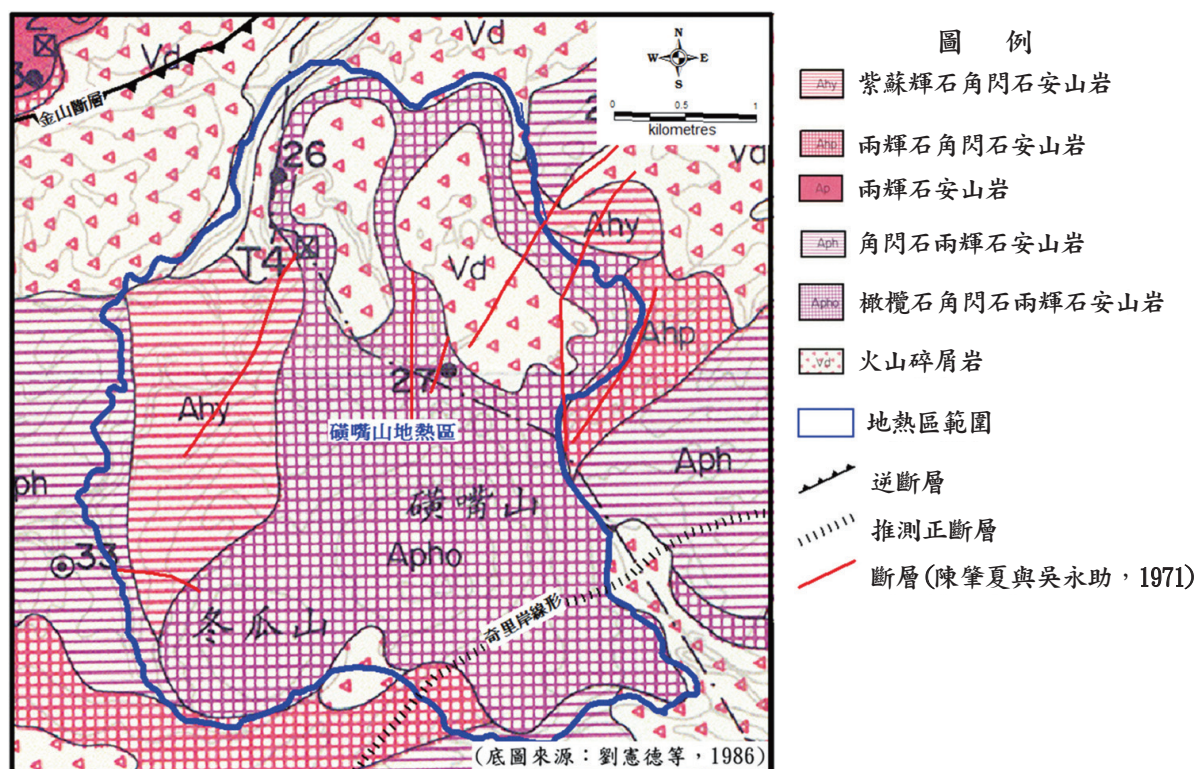


圖23 礪嘴山地熱區之區域地質(本研究整理繪製)

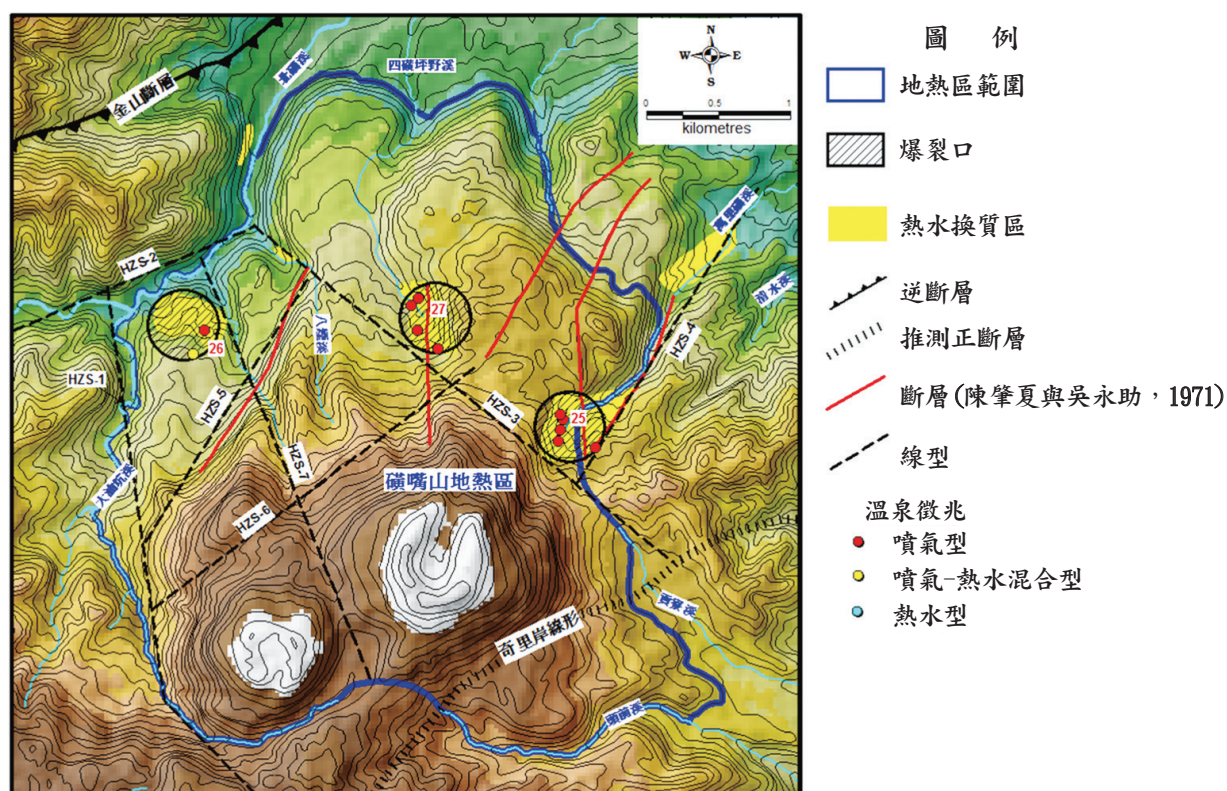


圖24 礪嘴山地熱區之線型判釋圖(本研究整理繪製)

圖。通過死礮子坪與礮山爆裂口的斷層以及八煙東南側臺後崖處斷層，與本區的溫泉或熱水換質帶有顯著的關係。區內7條溫泉線型皆屬地形邊界線形，由其走向趨勢來看有2類：(1) 南北至北北西-南南東走向的斷裂；HZS-1 (約沿大油坑溪分布，西界七星山亞群)、HZS-7 (礮嘴山-冬瓜山鞍部及線狀谷分布，礮嘴山與冬瓜山-八煙山等分界)、HZS-3 (貢寮溪上游溪谷-火山錐山麓線-八煙山下游溪谷等連線，礮嘴山與其東北側臺地分界)。(2) 東西至東北-西南走向的斷裂；HZS-2 (北礮溪直流河段、北接竹子山亞群)、HZS-5 (沿八煙臺地階後崖發育、馬槽沉陷區周界)、HZS-6 (礮嘴山-冬瓜山等北側山麓線)、HZS-4 (萬里礮溪線狀河、臺地與丘陵之地形界)。礮嘴山地熱區儲集區之判釋成果如圖25所示；包括八煙(1處)與礮嘴山(3處)儲集區：(1) 八煙(A)；長1.6 km、寬0.85 km與底邊0.63 km之梯形範圍，由臺地構成；雖有4個周界，但是仍以八煙爆裂口範圍內才有溫泉徵兆

與熱水換質作用。(2) 礮嘴山(A)；長1.9 km、寬0.5 km之矩形範圍，由臺地構成；僅有2個邊界具溫泉徵兆或換質腐蝕作用，以礮山與死礮子坪爆裂口有顯著的地熱徵兆，而往東北側延展狀況，無直接的地表證據。(3) 礮嘴山(B)；長0.9 km、寬0.95 km之矩形範圍，以臺地地形為主；地貌上雖呈現4個邊界，但僅東側接鄰死礮子坪爆裂口。(4) 礮嘴山(C)；長1.7 km、寬1.7 km之矩形範圍，由礮嘴山火山錐體構成；包括4個地貌邊界，但僅東側接鄰礮山爆裂口。溫泉徵兆僅分布在八煙、礮山與死礮子坪等3個各自獨立的爆裂口，無其他溫泉出露佐證，故其熱源僅能推估其可能的趨勢。因八煙爆裂口接鄰馬槽地熱區，推測有可能來自馬槽陷落區的岩漿活動；至於位在礮嘴山東北側的礮山與死礮子坪爆裂口，熱源是否來自礮嘴山，地表無明顯的證據，不過礮嘴山為新期的火山，或許還存在火山之殘餘熱流。

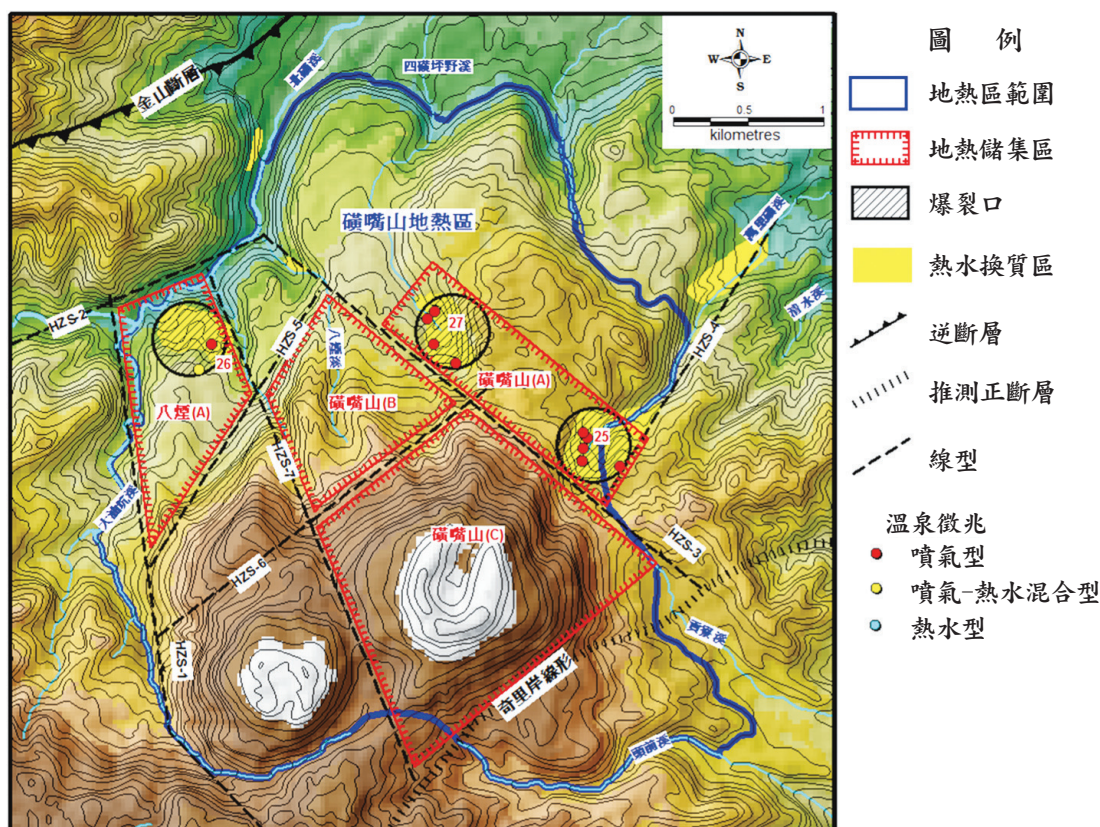


圖25 礮嘴山地熱區之儲集區判釋圖(本研究繪製)

4. 結論與建議

(1)大屯火山群地熱區地下溫度在150-300°C之間，是我國最具地熱能開發潛能的區域。目前潛能區所涵蓋溫泉範圍的大尺度圖件，無法精確指出具有儲集層構造之區域，如何選擇一個適合且正確的地熱發電廠址是地熱開發初期的重要工作，中尺度地熱儲集區分布圖是地熱電廠開發選址的一項必要的圖件。

(2)大屯山地熱區之歷年來的調查與研究成果極為豐碩，但有關地熱儲集區開發選址的研究較為缺乏。本研究藉由先期的文獻資料之地質環境盤點，輔以GIS地理資訊系統軟體進行航遙測地質判釋作業，找出與地熱通路有關的地質線型，最後再依據這些線型的分布，評估出地下地熱儲集層在地表投影之儲集區的分布，有待後續相關調查的整合與驗證，及提供管理單位或業者選擇地熱廠址之參考。從區域地質與地質構造的分布情況，大屯火山群地熱區，自西而東可分再區分為北投、七星山、馬槽及磺嘴山等4個地熱區(如圖26)。

(3)北投地熱集區以分布於北投磺港溪與磺

溪“T”字形交會之兩側區域。以磺港溪為界可將本地熱區分為二；北側的北投(B)儲集區分布於十八分火山臺地，南側的北投(A)儲集區為分布於北投山地北端由五指山層出露之區域。

(4)七星山地熱儲集區以分布於七星火山之中央地帶，儲集區呈現東北-西南延伸矩形區域；小油坑斷層與七星山東側斷層構成其邊界。以七星山山麓線為界區分為二：北側七星山(B)儲集區為七星山錐體，溫泉徵兆以硫氣孔較顯著；南側七星山(A)儲集區為臺地地形區，則多見溫泉露出為主。

(5)馬槽地熱儲集區分布於七股火山之中央地帶，儲集區座落於馬槽溪與大油坑溪之間，呈北北東-南南西延伸之多邊形區域。以七股山山麓為界區分為二：南側馬槽(A)儲集區為七股火錐體，溫泉徵兆有硫氣孔與噴氣-熱水混合；北側馬槽(B)儲集區為丘陵與臺地地形區，除大油坑坑爆裂口外，皆以溫泉露出為主。

(6)磺嘴山地熱儲集區佔據磺嘴山之大部，主要以八煙爆裂口、死磺子坪-磺山爆裂口連線為中心，其中八煙孤立於西北隅。八煙(A)儲集區以八煙臺地上的八煙爆裂口為主，具有顯

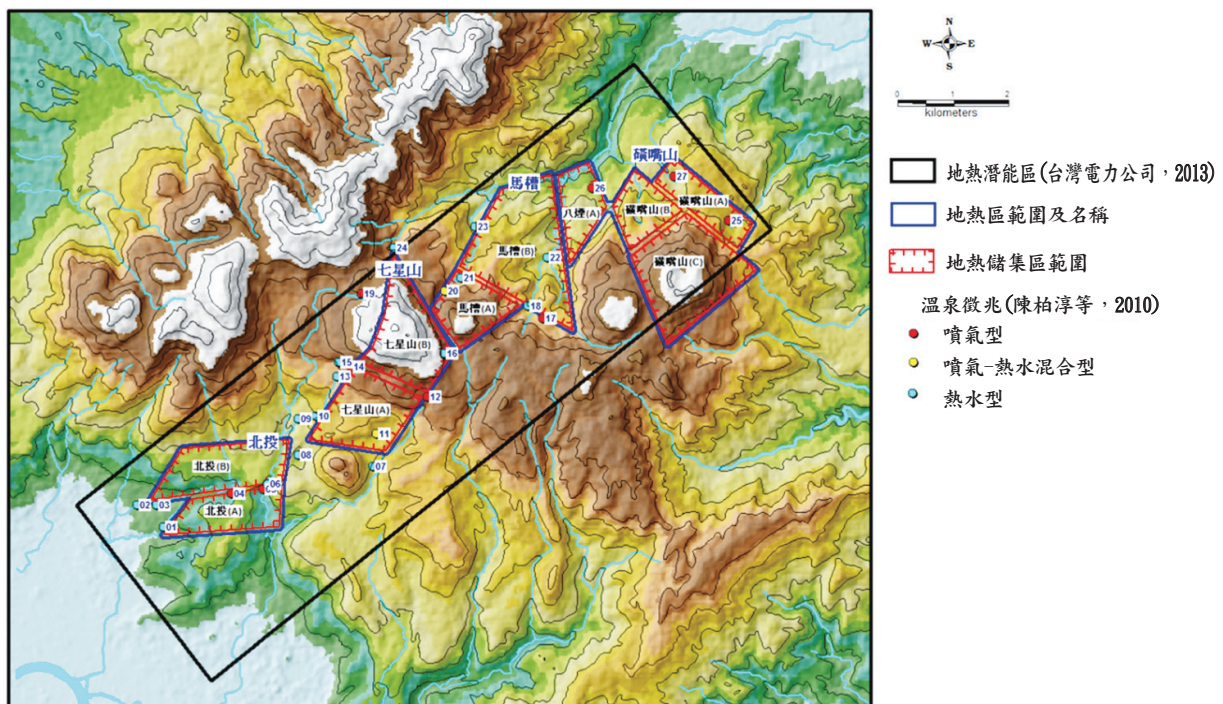


圖26 大屯山地區之地熱區與儲集區分布圖(本研究整理繪製)

著的硫氣孔徵兆。磺嘴山儲集區，以貢寮溪-八煙溪連線與磺嘴山山麓線為界可分為三區；磺嘴山(A)儲集區主要為臺地所分布，主要地熱徵兆包括磺山與死磺子坪兩爆裂口。磺嘴山(B)儲集區亦為臺地分布；僅東側界線接鄰死磺子坪爆裂口。磺嘴山(C)儲集區以磺嘴山火山錐體為主，在其東側界線接鄰磺山爆裂口。整體來看，磺嘴山地熱區之主要以熱點狀的爆裂口為主，顯示其地下具有高溫的環境；然因地質斷裂線較不發達，僅有少數屬於溫泉線型，其它多為地形線型；故僅八煙(A)與磺嘴山(A)兩儲集區確認性較高；至於磺嘴山(B)與磺嘴山(C)兩儲集區，可能需有其它資料佐證。

誌 謝

本文承蒙經濟部能源局編號107-d0102「高效能地熱發電技術研發計畫(3/3)」支持，特此致上感謝之意。

參考文獻

- 王鑫、李桂華、許玲玉與洪富峰，1983。陽明山國家公園地質及地形景觀，內政部營建署。
- 台灣電力公司，2013。再生能源處：臺灣地熱發電潛能場址研究計畫期末報告。
- 田蓉禮，1991。陽明山國家公園區域新期構造之研究，國立臺灣大學地理學研究所碩士論文。
- 石再添、鄧國雄、張瑞津、石慶得與楊貴三，1986。臺灣活斷層的地形學研究，師大地理研究報告。
- 余炳盛與魏正岳，1998。臺灣的礦產系列(11)大地氣息-溫泉與地熱，臺灣博物，第18卷，第1期。
- 吳質夫，1997。重修臺灣省通志『經濟志礦業篇』，臺灣省文獻委員會。
- 宋聖榮，1982。大屯山地質踏青，臺灣博物，第18卷，第1期。
- 宋聖榮與邱淑美，2005。陽明山溫泉、地熱資源與利用調查，陽明山國家公園管理處。
- 巫宗南，1990。陽明山國家公園之地形分類及其成因，國立臺灣大學地理學研究所碩士論文。
- 李錦發、林朝宗、賴典章、蘇泰維、邱禎龍與曾俊傑，1999。臺北盆地之成因之探討，經濟部中央地質調查所特刊，第11號。
- 李錫堤，1993。金山-新莊斷層的活動性評估，工程地質技術運用研討會(V)論文專集。
- 李錫堤，1996。數值地形的彩繪明暗製圖與應用，地工技術，第56期。
- 李錫堤，2001。臺北都會區活斷層與地震災害潛勢。臺北都會區地質災害研討會論文集。
- 周順安、蔣立為與歐陽湘，2003。臺灣溫泉水資源潛能探討，水文地質調查與運用研討會論文集。經濟部中央地質調查所。
- 莊文星，1992。臺灣之火山活動與火山岩，國立自然科學博物館。
- 陳文山、楊志成、楊小青、劉進金、詹瑜璋、謝凱旋與謝有忠，2007。從LiDAR的2公尺數值模擬地形分析大屯火山群的火山地形，經濟部中央地質調查所彙刊，第20號。
- 陳正宏，1990。臺灣之火成岩，經濟部中央地質調查所。
- 陳宏宇與劉佳玫，2013。臺灣地熱潛能之發展。臺灣能源期刊，第1卷，第1期。
- 陳柏淳、蕭如瑾與黃武良，2010。大屯火山群溫泉水質分類與含砷量調查，經濟部中央地質調查所彙刊，第23號。
- 陳肇夏，2000。溫泉與地熱資源，臺灣經濟礦物，第三卷『臺灣能源礦產及地下水資源』，經濟部中央地質調查所。
- 陳肇夏與吳永助，1971。臺灣北部大屯地熱區之火山地質，中國地質學會會刊，第14號。

程楓萍、鄧天德、鄧國雄、陳文尚、張寶堂、鄭釗輝與郭大玄，1987。陽明山國家公園溫泉水資源調查與利用規劃及管理研究計畫報告，內政部營建署陽明山國家公園管理處。

黃鑑水，2005。臺灣地質圖說明書，第4號臺北圖幅(第三版)，經濟部中央地質調查所。

黃鑑水、李錦發與劉桓吉，1991。臺灣北部崁腳斷層之地質調查與探勘，經濟部中央地質所彙刊，第7號。

臺北市政府建設局，2005。『臺北市溫泉區地質、資源及利用情形調查分析』總結成果報告書，工研院能資所執行。

臺北縣政府水利及下水道局，2007。水利及下水道局：臺北縣金山萬里地區溫泉資源、

地質及使用現況委託調查分析案成果報告書，工研院能資所執行。

劉憲德、苟澎生與賴典章，1986。北部安山岩地區碎石母岩骨材資源，臺灣地區陸上砂石資源調查與研究報告，第4卷。經濟部中央地質調查所。

鄧國雄、劉鴻喜、楊貴三、程仁宏、聞祝達、徐積祥與趙弘兆，1988。陽明山國家公園之地形研究，內政部營建署陽明山國家公園管理處。

鄭文哲、黃清隆、盧誌銘、袁文忠、潘國樑、宋國城與劉進金，1980。遙測運用於地熱區地質構造調查研究報告，69年度經濟部科技發展專案遙測運用研究計畫。

Identification of Geothermal Reservoir by Using Topographic Lineaments—A Case of Tatun Volcano Group

Tsun-Cheng Weng^{1*} Li-Wei Chiang² Tai-Rong Guo³
Hsin-Yu Chiu⁴ Hsiang-Ling Kan⁵

ABSTRACT

Tatun volcano groups (TVG) is the largest geothermal potential area in Taiwan. There are many studies discussing the potential area in TVG by considering regional scale, while none of them provide site scale selection. This study use remote sensing to identify main geothermal potential areas. Further environment geology study, lineament characteristics identification and geothermal reservoir to identify types of TVG geothermal area. Based on the study result, four main potential geothermal reservoir types are identified which are Beitou, Cising, Matsao and Huangtsuishan, respectively. Integrated the characteristics of environment geology and geothermal potential, every geothermal type of reservoir could divided into sub-potential areas that provided geothermal exploitation site selection reference.

Keywords: Tatun volcano groups, Lineament identification, Geothermal reservoir.

¹ Researcher, Green Energy and Environment Research Laboratories.

² Senior Engineer, GEL, ITRI.

³ Senior Researcher, GEL, ITRI.

⁴ Associate Researcher, GEL, ITRI.

⁵ Research Assistant, GEL, ITRI.

*Corresponding Author, Phone: +886-3-5914274, E-mail: wengsj@itri.org.tw

Received Date: July 4, 2018

Revised Date: September 5, 2018

Accepted Date: November 6, 2018