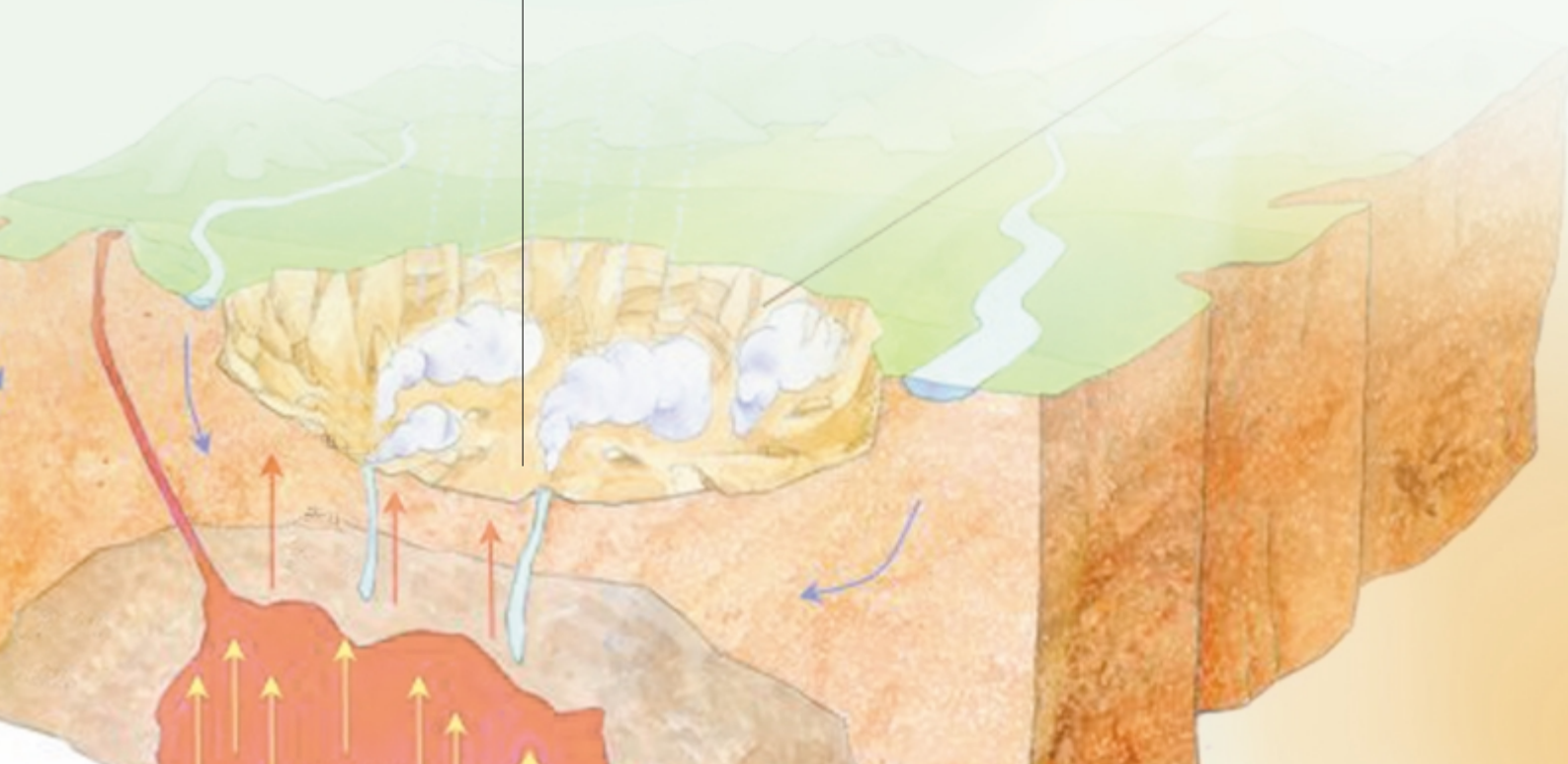


# 地熱資源

地熱儲集構造是熱源在下、儲集層居中、蓋層在上、地下水由側面補給，恰似一個天然燒開水的茶壺。根據普查及探勘，台灣主要地熱區有26處，如大屯山區、清水、金侖、廬山、土場及知本等。台灣各地地熱資源個別儲集層蘊藏量不大，未來的開發可朝結合地熱發電，地熱尾水利用及地方特色產業、多目標利用的願景發展。

■ 郭明錦



地熱是存在於地球內部的熱能，使得地溫隨深度而增加，而熱能也會經由地球內部傳送至地表消散。地溫梯度大約是每下探一公里，溫度上升攝氏30度。地球內部所蘊含的熱能巨大無比，然而以目前的技術，我們尚不能任意開採，只能開發地殼淺部地溫梯度異常高的地點的地熱資源。

當雨水降至地面，並滲入為地下水，再經斷層或裂隙深入地下，經地熱加熱後，大部分熱水儲存在滲透性良好的儲集層，如砂岩或裂隙岩層。小部分熱水再循環上升，湧出地表，形成溫泉或噴汽孔。熱水在儲集層時因受到蓋層的阻擋，會滯留在儲集層內，並在此發生對流作用。蓋層為一緻密不透氣的岩層，通常是沈積岩及火成岩，因為不發生對流作用，故其中溫度梯度很大。我們可想像此地熱儲集構造是熱源在下、儲集層居中、蓋層在上、地下水由側面補給，恰似一個天然燒開水的茶壺。

若鑽井鑽到儲集層，會有大量的熱水及蒸氣噴出。工程人員根據流體的溫度及壓力將其做不同用途，溫度高的用於發電，低的則直接用於暖房及工業用途等。

## 地熱系統的種類

根據地熱流體在儲集層中的形式，地熱系統大致可分成熱水型和蒸氣型兩種。熱水型的地熱系統是以熱水存在於儲集層中。水相控制儲集層壓力，其溫度最高可達攝氏370度左右，低者則僅數十度。攝氏200度以上的地熱系統，因為熱水到達地面後，可有10~30%轉變為蒸氣，故比較有發電價值。

蒸氣型是由高溫熱源供應熱量，加上岩層的低滲透性而形成。早期原是熱水型，後因熱水湧出量多於地下水注入量，逐漸轉變為蒸氣型；水受熱沸騰變成蒸氣，使水位下降至深部。部分蒸氣冒出地面，大部分蒸氣接近地表時又冷凝下來，蒸發熱則經由對流作用向地表傳送。在蒸氣儲集層中是熱水及蒸氣兩相共存，由蒸氣相控制儲集層壓力。熱水相因表面張力大，在小孔隙中流動，蒸氣相則經較大的管道逸出。世界上地熱系統中蒸氣型約占10%，熱水型約占90%。

## 世界的地熱資源

地球可看成是由三個同心圓所構成，亦即地殼、地函及地核。地球內部的溫度，一般推測地心內核（地表五千里以下）可能高達攝氏6,000度，外核（地表以下二千九百至五千公里）大約是攝氏3,000~5,000度，地函（地表以下三十至二千九百公里）則大約是攝氏500~3,000度。最外層的地殼好像蘋果的皮，其厚度在海洋地帶平均是7公里，在內陸則約20~65公里。地殼的地溫梯度平均是每公里攝氏30度左右。

地球內部的熱能是基本熱源，然而欲形成具有開發價值的地熱田，須有較高溫的熱源集中於地殼淺部，以提供充分的熱能。造成熱源局部集中或異常地溫梯度的原因，實際上與地殼板塊運動有密切的關係。目前已知地殼至少可分為 15 個板塊在運動，板塊交界面有四種不同的運動形態，即擴張、隱沒、互撞與平移。板塊運動的結果使其邊緣地帶溫度局部增高，熱能集中，形成顯著的異常地溫梯度，進而產生火山活動及火成岩的侵入，並使地震頻繁。世界上主要的地熱區大部分分布在板塊邊緣的火山活動帶中。

火山活動及火成岩侵入到地表淺處可造成較高溫的地熱田。這一類熱源存在於地殼 5~15 公里深，正在活動或尚未冷卻的岩漿庫，或侵入的火山岩體中，其地溫異常值常高於正常值的三倍以上，即地溫梯度每公里超過攝氏 90 度，例如分布在環太平洋隱沒帶的火山環、熱點上方的夏威夷和中洋脊頂端的冰島等，都有岩漿庫存在於地底下。

如果沒有火山活動，而是以板塊活動帶的地溫異常帶為熱源所造成的地熱區，其範圍常較大，但溫度較低。這一類熱源是由板塊運動

所引起，造成的地溫梯度異常值，可能是正常值的一倍半至二倍，也就是地溫梯度值在每公里約攝氏 45~60 度。其異常區域的範圍可能很大，大致整個山脈都能涵蓋其中，如歐亞板塊和菲律賓海板塊碰撞所形成的台灣中央山脈造山變質帶。世界上主要的地熱區大都分布在板塊邊緣的火山活動帶中。

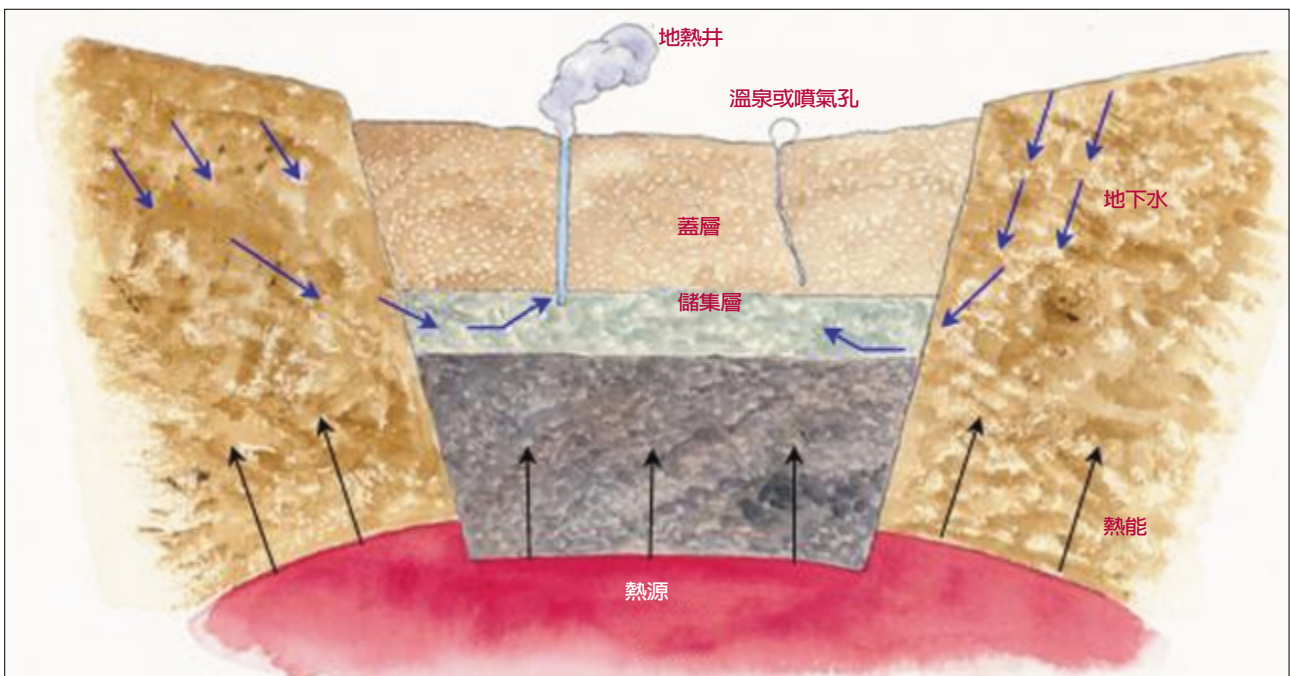
### 台灣的地熱資源

台灣位在菲律賓海板塊與歐亞板塊的碰撞造山帶上，因為碰撞擠壓，地震特別多；同時，地層也容易發生斷層和褶皺，使岩層不斷地抬升和破碎，形成今天我們所看到的山脈形貌。而岩石又是一種不良的導熱物質，熱能不容易散失；隨著地層不斷地抬升，地熱長期累積的結果，造成中央山脈地區較高的地溫梯度。此外，台灣北部地區和東部外島，曾發生大規模的火山運動；目前雖暫時停止，但高溫的岩漿餘溫仍存在於火山底下。

台灣又位於西太平洋邊緣，冬天受東北季風、夏天受西南季風和颱風的影響，雨量豐沛。台灣的年平均雨量在二千五百公釐以上。

#### 地熱儲集層示意

熱源在下、儲集層居中、蓋層在上、地下水由側面補給，恰似一個天然燒開水的茶壺。



豐沛的雨水降到地面後，就沿著裂隙或破碎的岩層滲入地下，受到地溫梯度或岩漿的餘溫加熱，以致產生豐富的地熱資源，而溫泉即是地熱系統重要的特徵之一。

台灣火山性地熱系統僅有北部大屯地熱區及宜蘭外海的龜山島兩處，其它地熱區皆屬非火山性熱水型地熱系統，大多分布於中央山脈變質岩地區，少數分布於西部山麓帶的沈積岩地區。

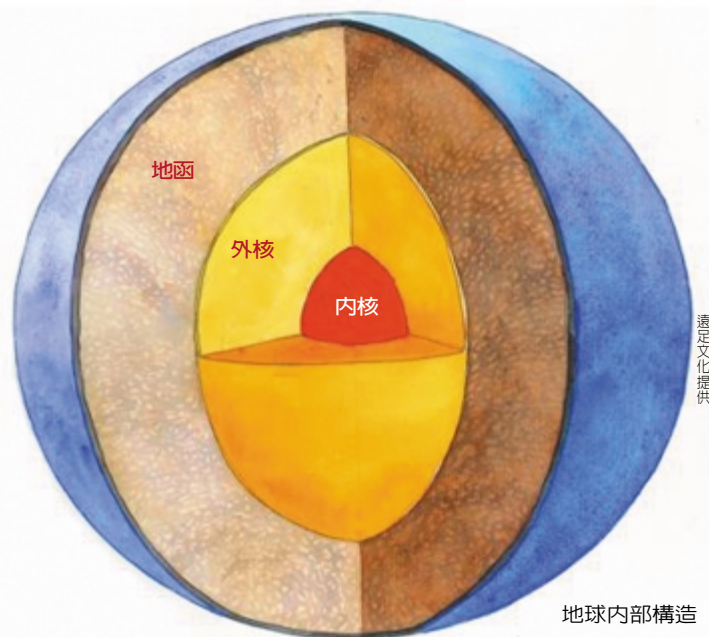
火山性地熱系統的熱源主要來自岩漿。在火山活動的地區，地底下有岩漿庫可提供大量的熱源。而火山噴發時所形成的火山碎屑岩，或是火山劇烈活動對岩層產生爆破作用，形成豐富的裂隙和斷層；此時若有地表水，就可能滲入地下深處，被加熱而形成高溫的溫泉或蒸氣。

火山性大屯地熱區的地下溫度，在鑽探所及的深度，二千公尺範圍內是攝氏200~300度，地熱流體主要產自基盤的五指山砂岩及覆蓋其上的安山岩質火山岩中的裂隙。地熱流體的化學特性是含高鹽分及多量硫酸根，呈相當強烈的酸性，pH 值在 2 ~ 5 之間，腐蝕性甚強。不凝結氣體以二氧化碳與硫化氫為主，由於形成地熱儲集層的裂隙不甚發達，各井產量較低。

非火山性變質岩區的地熱系統的熱源主要來自高的地溫梯度。以台灣為例，由於位處歐亞板塊和菲律賓海板塊的聚合邊界，造山運動劇烈，地殼抬升速度高，每年可達五公釐以上，部分地區甚至每年達二十公釐；而岩層是熱的不良導體，高溫的地殼抬升至淺處，而岩層無法快速散熱，於是在地殼淺處就累積了多餘的熱能，形成甚高的地溫梯度，約每公里可上升攝氏 45~60 度，較全球平均地溫梯度，高出甚多。中央山脈由於有甚高的地溫梯度存在，加上高山峻嶺的地形配合，谷底的地面水

位又較高山中的地下水位低很多，於是在谷底形成了相當大的靜水壓力差；而變質岩區的節理、片理、劈理等裂隙又特別發達，因此，中央山脈變質岩區的溫泉大多發生在山谷河床中，如山脈東側的清水、仁澤、土場、瑞穗、知本和金崙溫泉等，以及南橫公路沿線的寶來和霧鹿等溫泉。

非火山性沈積岩區地熱系統基本上比較少。以宜蘭礁溪溫泉為例，即是老的斷層被新的河流沖積扇沈積物所覆蓋，熱水沿著老的斷層裂隙上湧至沈積物底下，然後與沈積物中的地下水混合，形成豐沛的礁溪溫泉。另外，以關子嶺溫泉為例，其組成的岩層是上新世的泥岩和泥質砂岩，膠結度差，不太可能有深長延續的裂隙通到



地殼深處（深度可能超過二至三公里），以供熱水上湧至地表；其次因台灣造山運動，中央山脈快速地隆起，侵蝕大量的沈積物堆積在沈積盆地內，形成高壓的地質環境，高的地壓迫使地層熱水沿著裂隙上升至地表形成溫泉。

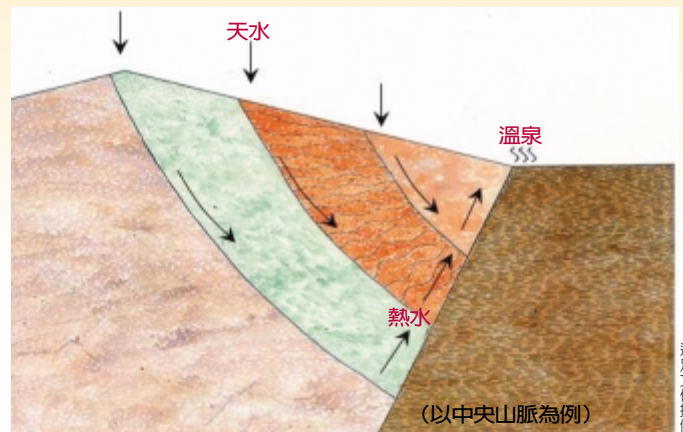
大多數非火山性地熱區的熱水化學特性都很相似，主要成分是碳酸氫鈉，總含量約3,000 ppm 左右，pH 值在8~9之間，呈弱鹼性，所含

不凝結氣體主要是二氧化碳。所產地熱流體以熱水為主，約占總產量90%以上，屬於熱水型地熱系統。熱水品質甚佳無腐蝕性，因此值得開發並推廣。惟熱水中所含的化學物，當壓力降低後容易產生結垢，阻塞生產通路或井孔。

根據普查及探勘，台灣已有近百處溫泉。台灣主要地熱區有26處，而依據儲集層體積排序前五名分別是大屯山區、清水、金命、廬山、及土場。其儲集層平均溫度分別是攝氏245、200、160、180、及170度。

### 地熱的利用

地熱資源的利用有發電及直接利用兩大類。根據二〇〇〇年統計資料，全世界地熱發

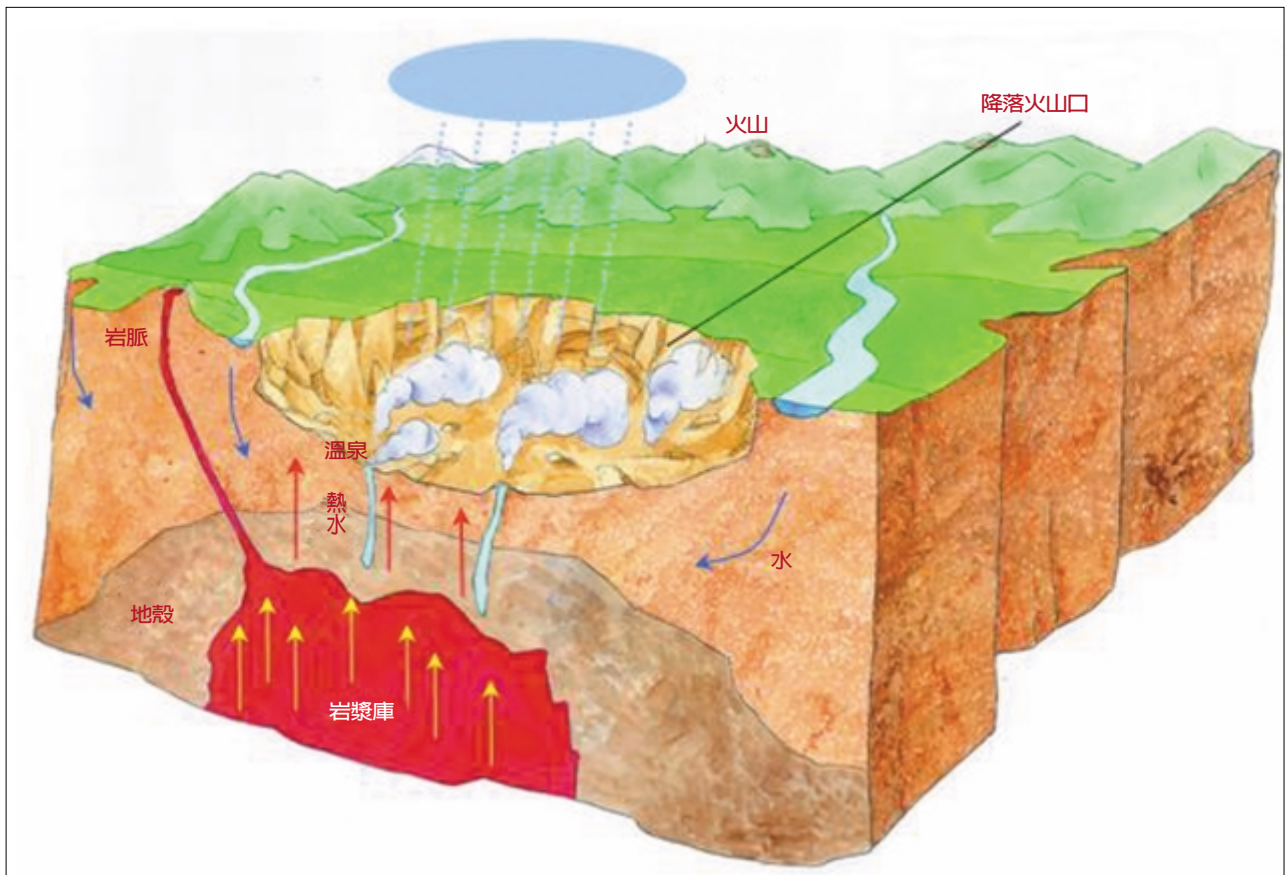


變質岩區地熱形成示意圖

遠足文化提供

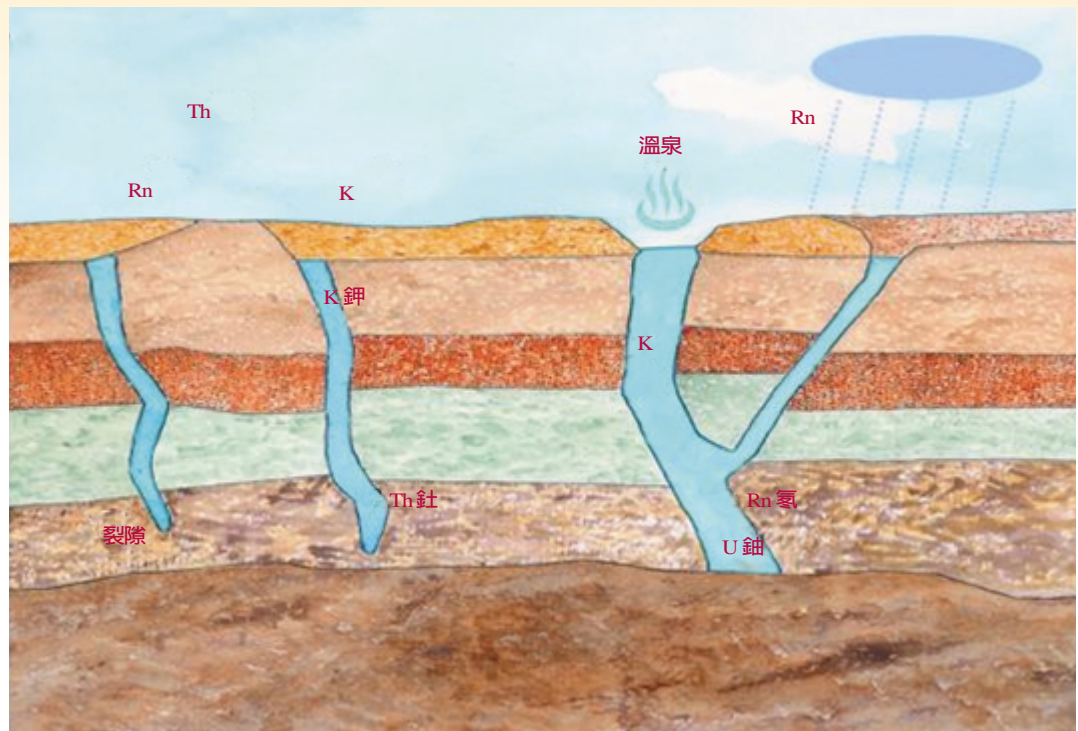
電裝置容量合計八千百萬瓦，直接利用裝置容量合計一萬五千百萬瓦。地熱區大多位於偏僻的山區且交通不便，早期因輸送電力比較容易，所以地熱的利用以發電為主，後來才朝向直接利用發展。原因之一是地熱發電只能達到一成左右的利用效率，而直接利用可提高至三

火成岩區地熱形成示意圖



遠足文化提供

成或四成。又因中低溫熱水型地熱資源（溫度是攝氏50~150度）遠比高溫蒸氣型地熱資源（溫度高於攝氏150度）多，有些國家如匈牙利、羅馬尼亞、法國等的地熱溫度不高，不可能做為地熱發電之用，但在直接利用上卻有十足的潛力。



遠足文化提供

#### 地熱的利用

根據其溫度高低可做各種用途。傳統式蒸氣發電所需地熱流體溫度在攝氏150度以上。如果使用雙循環熱交換式發電所需地熱流體溫度可顯著降低至攝氏100度左右。又暖房及溫室用途所需溫度約攝氏80度，溫水游泳池則約攝氏30度。

#### 台灣地熱資源開發的未來展望

台灣地熱資源共26處，主要地熱區多屬非火山性熱水型地熱系統，火山性地熱系統僅有大屯山地熱區一處。大屯山地熱區潛能最大，惜因所生產熱水的酸性腐蝕問題尚未解決，暫停其開發利用。非火山性熱水型地熱區的規模較小，每區發電潛能最高僅約數百萬瓦，適合中小規模的開發。除利用於發電，以供應當地電力或產業自用之外，尚可供工、農、商業和一般住宅的直接利用及發展觀光等多目標的用途。

台灣自產能源不豐，地熱是重要能源之一。在各種替代能源中，地熱資源的開發可望

在短期內獲得成果。如何配合區域性經濟計畫及地方產業結構，以做最有效的開發利用，是值得研究的重要課題。另外鼓勵民間投資及外資參與，也是加速地熱開發可行途徑。

國科會為推動國內再生能源的利用，曾先後在清水地熱田建造試驗用電廠及三百萬瓦先導型電廠，獲得了地熱發電的寶貴經驗。研究人員發現當地熱流體生產和儲集層補注平衡時，地熱是可永續經營的再生資源。正確掌握地熱儲集層自然補注，是提供未來良好儲集層管理的基礎。研究發展人工補注及解決地熱生產的結垢及腐蝕問題，是推動國內地熱資源永續經營的關鍵技術。台灣各地地熱資源個別儲集層蘊藏量不大，未來的開發可朝結合地熱發電，地熱尾水利用及地方特色產業、多目標利用之願景發展。 □

郭明錦  
成功大學資源工程系

沈積岩區地熱形成示意圖