

溫泉何處來

■ 陳尉平 · 李振誥 · 甘其銓 · 萬孟璋

台灣擁有的豐沛溫泉資源，肇因於理想的地質構造、多孔隙或破碎的岩層、深長的裂隙、高山深谷起伏甚大的地形、充足的降雨量和地下水補注、異常高的地溫梯度等。

溫泉是泉水的一種，當某處泉水溫度高於當地地面空氣年平均溫度時，就稱為溫泉（thermal spring）或熱泉（hot spring）。這個定義是採用1971年懷特（D.E. White）的引述：「凡是水溫超過當地年平均溫度攝氏5度或華氏10度的泉水，都稱為溫泉。」在寒地的溫泉水溫可能僅有攝氏二、三十度，但這已經是大自然的恩賜，若在亞熱帶，這種水溫的泉水就不足為奇了。

本文所提到的溫泉，除非特別標示，泛指各種自然現象和地熱活動。所造成的地面上所見，溫水、熱水或蒸氣的噴流。由於地球上每個地區的年平均溫度都不同，因此各地區溫泉溫度的定義也會有所差異，然而依照「溫泉標準」，在台灣所指的「溫泉」，對「溫水」、「冷水」及「地熱（蒸氣）」分別有明確的定義。

「溫泉標準」第二條

符合本標準之溫水，指溫泉露頭或溫泉孔口測得之泉溫為攝氏三十度以上且泉質符合下列各款之一者：

- 一、 溶解固體量（TDS）：在五百（mg/L）以上。
- 二、 主要含量陰離子：碳酸氫根離子（ HCO_3^- ）二百五十（mg/L）以上、硫酸根離子（ SO_4^- ）二百五十（mg/L）以上或氯離子（含其他鹵族離子）（ Cl^- ，including other halide）二百五十（mg/L）以上。
- 三、 特殊成分：游離二氧化碳（ CO_2 ）二百五十（mg/L）以上、總硫化物（Total sulfide）大於一（mg/L）、總鐵離子（ $\text{Fe}^{+2}+\text{Fe}^{+3}$ ）大於十（mg/L）或鐳（Ra）大於一億分之一（curie/L）。

符合溫泉標準的溫水—指溫泉露頭或溫泉孔口測得的泉溫在攝氏30度以上，且泉質符合「溫泉標準」規定的泉水。

符合溫泉標準的冷水—指溫泉露頭或溫泉孔口測得的泉溫低於攝氏30度，且其游離二氧化碳在每公升500毫克以上。

符合溫泉標準的地熱（蒸氣）—指溫泉露頭或溫泉孔口測得的蒸氣或水或其混合流體，符合「溫泉標準」的泉溫及泉質規定。

溫泉的形成

形成溫泉的過程必須具備3個基本的地質條件。一般而言，理想條件包括適宜的地質構造或岩層與水文特性，如多孔隙高透水性或破碎岩層、深長裂隙或斷層帶，以提供水循環的通路。此外，須有充沛的降雨量與地下水源，以及異常高的地溫梯度做為溫泉水的熱源。

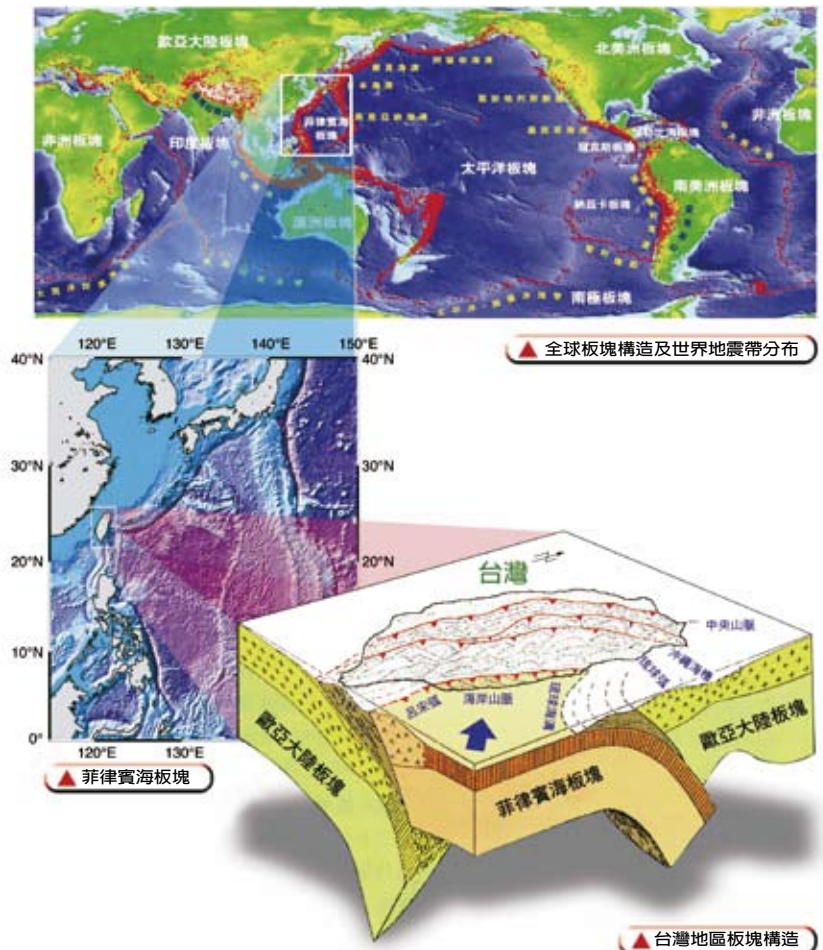
熱源 地底下必須有熱源存在才可加熱地下水成熟水，並儲存在地底深處。而熱源可分為3種。

地溫梯度—地質上表示地溫梯度的方法是，往地下深入1公里所上升的溫度。一般在古老穩定的大陸內部，地溫梯度是每公里攝氏20度；造山帶地區的地溫梯度約為每公里攝氏30度；海洋地區的地溫梯度則可達每公里攝氏50度。地溫梯度會有不同，主要與地球內部的熱源有關。

岩漿庫—是存在於地殼內部約5至15公里深，正在活動或尚未冷

卻的岩漿，或侵入的火山岩體。通常會使地溫梯度高於正常值的3倍以上，即超過每公里攝氏90度，有的甚至達到5至10倍的異常值，即超過每公里攝氏150度。

板塊運動擠壓摩擦—如造山變質帶，像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；或歐亞板塊與印度板塊碰撞所形成的喜馬拉雅山造山變質帶；或非洲板塊與歐亞板塊碰撞所形成的阿爾卑斯山脈造山變質帶。

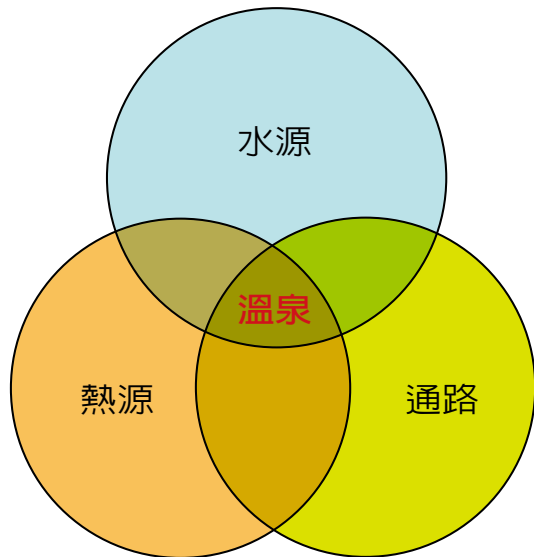


台灣地區的板塊運動。（圖片來源：中央氣象局）

台灣北部地區和東部外島曾發生大規模的火山活動，目前雖暫時停止，但高溫的岩漿餘溫仍存於火山底下，因此溫泉特別多。

通路 地底下有大量的熱水儲存著，若無適當的管道使熱水上升至地表，還是無溫泉可用。岩層裂隙雖不會促使熱水上升，但深達地底熱水儲存層的深裂隙，的確提供了使溫泉能湧至地表的路徑。一般而言，岩層中可能的裂隙有斷層、節理、層理、片理、劈理、裂縫等。

水源 水是構成溫泉最重要的因子，若無水，即使有很高的熱源、離子成分和裂隙，也無法形成溫泉。溫泉的水源主要是：天水、地表水、地下水、海水、地層水、化石水、岩漿水等。其中，大部分非火山地區的溫泉，多是天水或地表水滲入地底下熱水儲存層，然後被加熱並與圍岩發生化學反應，溶解圍岩的化學成分，而形成溫泉。儲存熱水的地層必須與周遭的岩層有靜水壓力差存在，才能促使熱水上升至地表以形成溫泉。



形成溫泉的3大要素

台灣北部地區和東部外島曾發生大規模的火山活動，目前雖暫時停止，但高溫的岩漿餘溫仍存於火山底下，使得「後火山活動」相當劇烈地進行著，因此溫泉特別多。而所謂「後火山活動」，是指火山噴發後，地底下還有岩漿餘熱，會釋放出火山氣體和熱量，並加熱淺處的地下水使它沸騰，再噴出於地表，溫泉就是其現象之一。

有些地方雖有溫泉，卻沒火山，是因為岩漿活動還沒達到衝出地面形成爆發的能力而已，但它卻足以把地下水「燒」熱變成溫泉。

台灣位於菲律賓海板塊與歐亞板塊的碰撞造山帶上，因碰撞擠壓使得地震特別多。地層也容易發生斷層和褶皺作用，使岩層不斷抬升和破碎，形成今天所看到的山脈。而岩石又是一種不良的導熱物質，熱能不易散失，隨著地層不斷抬升，地熱長期累積的結果，就造成中央山脈地區較高的地溫梯度。

溫泉和斷層是息息相關的，有了斷層，溫泉（地底下的熱水）才能冒出地表。台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓板塊的交界處，由於板塊之間相互推擠，才形成了台灣這座島嶼，板塊運動的附加產物則是斷層。民國88年發生的921大地震，就是因為車籠埔斷層錯位移動所造成的。而地震發生後，除了讓谷關溫泉受創甚深之外，還造成許多原本的溫泉露頭移位或消失。

由於溫泉的形成要同時滿足3大要素，熱源、水源及通路，其中最大的自然通路是斷層。台灣的地震大部分是由於斷層的錯動所造成的，因此斷層錯動後極可能讓原本的通路閉合，並在他處開啓另一通路。因此在地震後，溫泉露頭確有可能移位甚或消失。



北投溫泉（地熱谷）。（圖片來源：嘉南藥理科技大學台灣溫泉研究發展中心）

溫泉的分類

溫泉其實就是富含礦物質的地下水。每當下雨過後，雨水滲透進土層成為地下水，這些地下水可能流經地殼深處，受到地熱加熱而提高水溫，或流經火山地帶而受到火山岩漿加熱升溫。

這些加熱過的地下水在岩層中流動時會溶解許多礦物質與混合氣體，若受到擠壓而湧出地表或經由人為鑿取便成為溫泉。因為溫泉在岩層間高溫高壓的環境下容易與岩石礦物發生化學反應，溶解固體和氣體物質，或與原來的液體混合，造成含有不同成分的各种溫泉。

溫泉的分類可採用下列3種方式：地質性質—火成岩區、變質岩區、沉積岩區；化學性質—硫酸鹽泉、碳酸氫鹽泉、氯化物泉；溫度—低溫、中溫、高溫、沸騰。

一般來說，位於火成岩區的溫泉，如北投溫泉，由於是經由後火山作用生成，水質主要含有硫酸鹽，溫度則是高溫甚至沸騰。位於變質岩區的溫泉，如知本溫泉，由於變質岩中富含碳酸氫根離子，當與岩石中的鈉、鉀、鈣等陽離子結合後，形成以碳酸氫鹽泉為主的水質，而其泉溫是



知本溫泉（噴氣井）。（圖片來源：嘉南藥理科技大學台灣溫泉研究發展中心）



礁溪溫泉（湯圍溝）。（圖片來源：嘉南藥理科技大學台灣溫泉研究發展中心）



金山溫泉（圖片來源：嘉南藥理科技大學台灣溫泉研究發展中心）



蘇澳冷泉（圖片來源：嘉南藥理科技大學台灣溫泉研究發展中心）



關子嶺溫泉（露頭）。（圖片來源：嘉南藥理科技大學台灣溫泉研究發展中心）

經由造山運動帶異常的高溫所提供，因此大致是中溫。位於沉積岩區的溫泉，如礁溪溫泉，由於岩中含有氯離子，因此其主要水質是氯化物泉，另因可能與含水層中的冷水混合，泉溫大致是低溫。

上述是簡易的溫泉分類，部分溫泉可能因不同的環境作用而與前述的分類結果不甚相符。如靠海邊的金山溫泉，屬火成岩區溫泉，溫度超過攝氏80度，呈酸性，硫酸根離子、氯離子、鈉離子等濃度都相當高，且常有黃色的硫磺晶體析出，和北投溫泉很相似，推斷可能是海水與由火山生成的溫泉混合所形成的。

又如蘇澳冷泉屬變質岩區溫泉，湧出時伴隨許多二氧化碳氣泡冒出，可能由於其熱源溫度不高，加上二氧化碳上升膨脹過程的吸能作用，讓泉溫保持約攝氏22度的低溫。另外關子嶺溫泉是沉積岩區溫泉，泉溫最高卻可達攝氏87度，其原因目前仍在研究中。

台灣地區的天然資源眾多，如風力、地熱等，而地熱顯露在地表上的特徵就是溫泉資源，近年來這一資源已成為開發利用的重點項目。

■ 溫泉是少數能夠不斷再生的天然資源，若是缺乏管理而不當地過度開發，仍會像石油一樣，終被使用殆盡。

由上述說明可知，台灣擁有的豐沛溫泉資源，肇因於理想的地質構造（即火成岩區、變質岩區及沉積岩區）、多孔隙或破碎的岩層、深長的裂隙、高山深谷起伏甚大的地形、充足的降雨量和地下水補注、異常高的地溫梯度等。

台灣溫泉的分布

因為溫泉種類的多樣、齊全，使台灣具有全球溫泉博物館的地位。低溫的、沸騰的；清澈的、灰濁的；高山的、平原的……令人目不暇給。台灣溫泉分布相當廣泛，除了彰化、雲林和澎湖外，各

台灣的溫泉分布（以行政區域劃分）

縣市別	溫泉名稱	合計（處）
台北市	七坑、大油坑、小油坑、小隱潭、中山樓、地熱谷、竹子湖、冷水坑、後山、馬槽、硫磺谷、頂北投、湖山、陽明山、鼎筆橋、龍鳳谷、雙重溪	17
台北縣	八煙、大埔、加投、四磺坪、庚子坪、金山、烏來、磺港	8
桃園縣	四稜、爺亨（又名巴陵）、新興（一號、二號）	3
新竹縣	小錦屏、北埔冷泉、秀巒、泰崗、清泉、新埔、錦屏	7
苗栗縣	泰安、雪見	2
台中縣	白冷、谷關、德基	3
南投縣	丹大、太魯灣、加年端、石城谷冷泉、東埔、春陽、紅香、國姓冷泉、清流、惠蓀、雲海奧萬大、瑞岩、萬大北溪、萬大南溪、精英（一號、二號）、樂樂谷、廬山	17
嘉義縣	中崙	1
台南縣	六重溪、龜丹、關子嶺	3
高雄縣	七坑、十坑、十二坑、十三坑、大岡山冷泉、不老、少年溪（舊名桃源）、勤和、石洞、多納、高中、梅山、復興、雲山、萬山、寶來	16
屏東縣	大武、雙流（舊名壽梵）、旭海、四重溪	4
台東縣	栗松、摩刻南、碧山、霧鹿、下馬、暇末、彩霞、轆轤、紅葉、桃林、上里、利吉、知本、綠島朝日、金峰（1 & 2）、比魯、金崙（1 & 2）、近黃、都飛魯、土坂、普沙羽揚	21
花蓮縣	文山、龍澗冷泉、二子山、萬榮、富源、瑞穗、紅葉、安通、東里（一號、二號）、富里	10
宜蘭縣	礁溪、員山、梵梵、清水、排骨溪、蘇澳冷泉、土場、多望溪、仁澤、烏帽、四區、碧侯（舊名五區）、四季、龜山島	14
合計		126

（節錄整理自：宋聖榮、劉佳玫（民國92年），台灣的溫泉）

很多國家已經把溫泉這項天然資源推廣到更多不同層面的應用，不僅讓溫泉的用途多樣化，也使溫泉的附加價值大幅提升。

地幾乎都有溫泉出露。把各縣市的溫泉位置標誌後，多數分布在變質岩區，如雪山山脈、中央山脈板岩區和大南澳片岩區，少數則分布於火成岩區，如大屯火山區、龜山島、綠島，以及沉積岩區，如西部麓山帶、蘭陽平原、海岸山脈等。

台灣地區的天然資源眾多，如地下水、風力、潮汐、地熱等，而地熱顯露在地表上的特徵就是溫泉資源，近年來這一資源已成為開發利用的重點項目。

台灣溫泉的未來

早在清朝時代，台灣就已因開採硫磺礦而有發現溫泉的紀錄。在日據時代，由於日本人對溫泉的熱愛，在許多溫泉區建設警光山莊，以供日本駐台軍警休閒養生之用。然而目前在一些開發較早的溫泉區，除了溫泉業者變多之外，對於溫泉的使用量也變大，因此產生溫泉量不足的困擾。

溫泉是少數能夠不斷再生的天然資源，若是缺乏管理而不當地過度開發，仍會像石油一樣，終被使用殆盡。資源的使用可為人類創造價值，然而若是不合理地過度使用，就像是殺雞取卵般造成後代子孫資源的匱乏。但若是有意識地妥善使用，還是可以在創造價值與環境保護之間達成平衡。

針對溫泉資源永續利用的目的，可提供的觀念與做法有3：避免浪費—以總量管制為目標；提高使用效率—溫泉水回收再利用；增加水量—溫泉人工補注。

有些溫泉業者已開始嘗試把使用過的溫泉水回收再利用，以增加對溫泉資源的使用效率。雖然一般的消費者較不能接受自己所泡的溫泉水是再利用水，然而依照目前因資源保育永續的理念所延伸而出的政策，是鼓勵並朝向可再利用水的方向執行，因此應予以支持。

但是欲使消費者使用再利用水泡湯或其他用途，至少需考量：衛生—是否有其他病菌或毛髮等問題；水質—是否溫泉水中的礦物質已遭稀釋或變質，而不具有原本療效等問題。

在台灣，我們最熟悉的溫泉用途就是泡湯休閒，然而這種用法大致是以一份水換取一份的價值。然而在其他國家，如俄羅斯、法國、德國、匈牙利、美國、冰島及日本，已經把溫泉這項天然資源推廣到更多不同層面的應用，不僅讓溫泉的用途多樣化，也使溫泉的附加價值大幅提升。因此現階段國內各界須致力於各種可能溫泉產品的技術研發，未來才有辦法以一份水換取十份的價值。

陳尉平

嘉南藥理科技大學休閒保健管理系

李振誥

成功大學資源工程學系

甘其銓·萬孟璋

嘉南藥理科技大學環境工程與衛生系