

台灣溫泉監測的現況

■ 陳文福

有一天，溫泉不再自然湧出，打井也抽不到水……

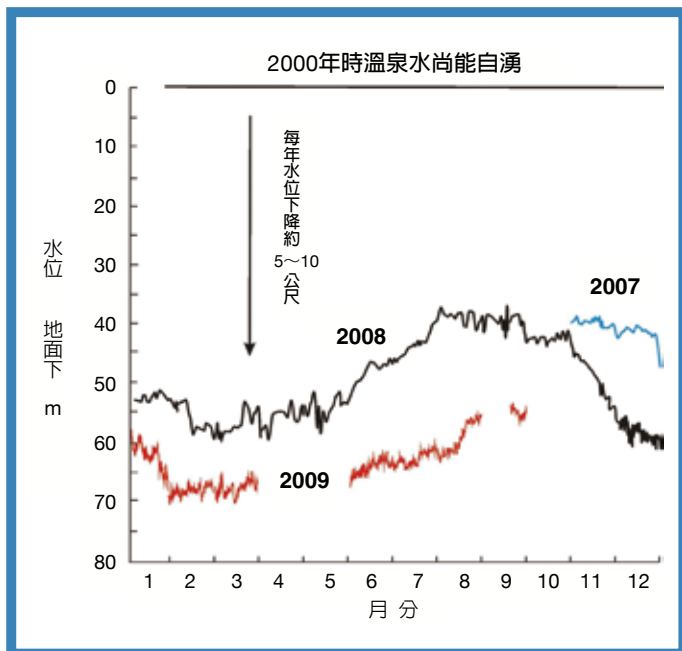
溫泉的產量是有限的

經濟愈成長，國人愈重視休閒和養生。溫泉度假一直是最受歡迎的休閒之一，每當假日，人潮湧現，溫泉區的發展日益蓬勃，而溫泉需求量也日漸增加。早年大部分的溫泉都自然湧出，少數幾家旅館分配著用也夠。近年來因旅館增加太快，原有的溫泉不夠用，於是每家旅館鑿設自有的溫泉井競相抽用，缺乏管制的結果，溫泉水越來越少。台灣大約有一百餘處的溫泉，其中約十餘處的商業發展最盛，而以台灣南部屏東縣四重溪溫泉的超抽現象最明顯。

四重溪溫泉已有百餘年的歷史，曾被選為台灣4大溫泉之一。溫泉露頭位於公共浴室的後方，十餘年前仍能自然湧出，但因溫泉井大量開發，溫泉露頭已經乾枯消失。近10年水位日漸下降，淺井已抽不到水，迫使各家業者的井越鑿越深。

早期約鑿一百多公尺深，但沒幾年，一百公尺抽不到水，於是加深至二、三百公尺。過不久，二、三百公尺的溫泉井水量也不夠了。特別是在元旦假期和農曆年時，溫泉水更顯不足。目前四重溪溫泉區都須依賴三、四百公尺深的溫泉井抽水，且因自然補注趕不上人為的抽用，水位已低至地面下五十公尺深。

有著迷人溫泉文化的日本，也曾出現類似溫泉枯竭的狀況，例如箱根溫泉區。箱根溫泉一帶群山環抱，湖水如鏡，溫泉眾多，以箱根湯本、塔之澤、堂島、宮下、底倉、蘆之湯、古賀等「箱根七湯（溫泉）」，加上箱根山附近的小涌谷、宮城野、千石原、蘆湖等17處溫泉，統稱為箱根溫泉鄉。



四重溪溫泉因各家業者鑿井過度抽水，水位越降越低。

「箱根七湯」始建於1684至1687年間，箱根溫泉鄉共有溫泉336處，溫泉湧出量在日本全國名列前茅。箱根以箱根湯本為中心，集中有大型飯店和溫泉旅館，蘆湖的遊覽船、大湧谷火山等景觀也是箱根必遊之處，箱根每年遊客多達一千九百多萬人。

1940年代及二次大戰後，日本的箱根溫泉區開始發展機械鑿井，大量溫泉井無限度地抽取溫泉水，導致1965年湯本溫泉停止湧出。此外，有些

溫泉的湧出量，10年間有減少的趨勢，如底倉溫泉。許多溫泉井的水位都很深，例如小湧谷溫泉井的水位約在地面下80~90公尺；而強羅溫泉井的水位約在地面下160~180公尺。有些溫泉則有泉溫下降的趨勢，如木賀溫泉，1963年水溫還有攝氏45度，至2002年水溫只有36度，40年間水溫下降了9度。

溫泉水量減少、水溫下降、溫泉井抽不到水等警訊，迫使日本政府和溫泉產業重視溫泉的管理和監測。

溫泉監測

有鑑於此，日本在各縣市政府成立了相關的溫泉研究機構，例如在箱根溫泉成立了「神奈川縣溫泉地學研究所」，監測溫泉的基本性質，如泉量、水溫、水質等。該研究所有專屬的人員、儀器，並定期公布溫泉的相關研究和監測數據。溫泉監測的基本資料完備後，可利用水位觀測等資料，推算出溫泉的流向和蘊藏，才能有效進行總量管制等相關措施。

溫泉監測除了可提供溫泉保育外，箱根溫泉的觀測資料也有其他用途，例如輔助火山的活動性監測和地震預報監測。因為箱根溫泉是火山環境生成的溫泉，熱水在地層下深部流動，許多沿著斷層帶或岩漿活動的裂隙，一旦火山或地震斷層開始變化，地層中的力量有所改變，往往也影響其中的溫泉水。因此溫泉水的變化，除了是抽水所影響外，也可反應火山和地殼的力量變化。

就溫泉資源管理的角度而言，溫泉井的水位是監測的首要目標，其次是水溫的監測，水質當然也是重要考量之一。



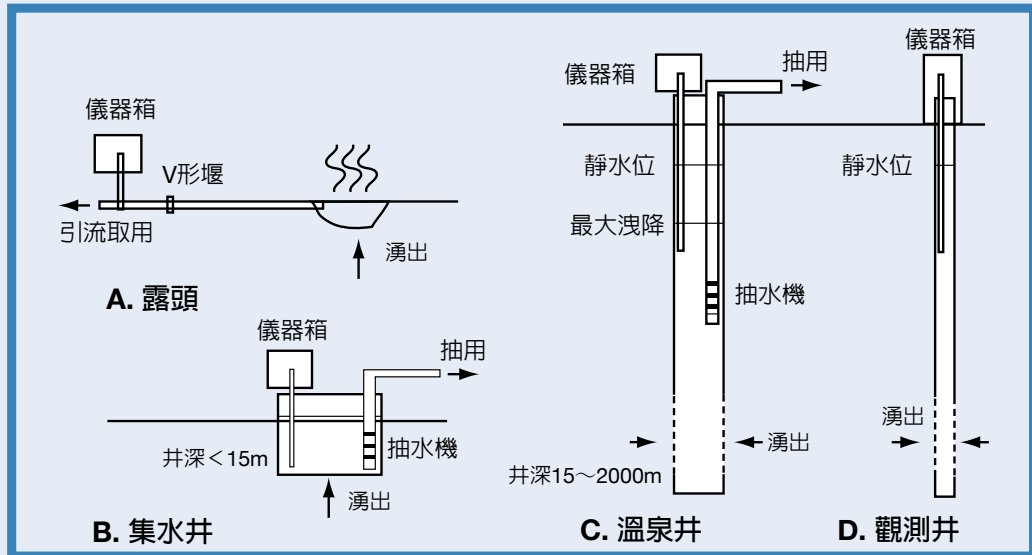
因應不同的溫泉產出型態，設置不同的監測站。照片中是屏東縣四重溪溫泉的監測站，可即時顯示水位、水溫及導電度。溫泉水的導電度可反應出溫泉中的礦物質濃度。

相對於日本在溫泉監測上的積極做法，台灣在這一方面的起步較晚。直到2008年，經濟部水利署才委託嘉南藥理科技大學台灣溫泉研究發展中心，開始進行溫泉監測技術的研究和測試。

到底要監測溫泉的什麼特性？溫泉水質成分複雜，要監測哪些性質呢？首先要釐清溫泉監測的目的。就溫泉資源管理的角度而言，溫泉井的水位是監測的首要目標，必須了解水位變動，才能知道溫泉的抽用是否超過自然補充。其次是水溫的監測，以了解水溫是否下降。水質當然也是重要考量之一，但是許多水中的化學成分，以現有的技術和預算並不適合現地監測。比較可行的是使用導電度電極，在價格和準確度上都可滿足自動監測所需。

因此儀器自動監測的部分，設定為水位、水溫和導電度3項。pH和氧化還原電位的電極雖然很普遍，但因電極會老化，常置水中約1個月後就有測值偏離的情形，3個月就需更換電極，所以並不建議每小時連續監測。

至於溫泉水中的各種離子，例如碳酸氫根、硫酸根、氯離子、鈣、鎂、鈉等主要離



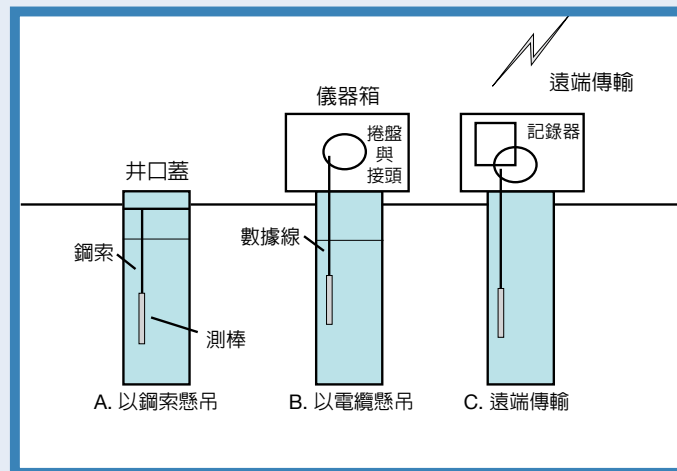
因應不同地形與構造物，以及不同的取水方式，因地制宜設立各種監測站。(A) 溫泉露頭，(B) 集水井，(C) 溫泉井，(D) 觀測井。

子，和鐵、錳、鋅等微量元素，可能會有短期或長期的變化，需要每年採樣兩次（半年一次，分旱雨季）送回實驗室分析，以監測溫泉水質的長期變化，建立完善的資料庫。如此可以了解：降雨是否會改變溫泉水質？從深部湧出的溫泉，在接近地面時如何和淺層地下水混合？不同季節或不同地下水抽用型態，溫泉水質如何變化？

設立溫泉監測站的第1個挑戰是，溫泉的產出型態五花八門，監測儀器必須因地制宜來設置。有些是一大池的溫泉水，例如北投的地熱谷；有些是大口徑的井；有些是小口徑的井，但井中充滿電線和抽水機，很難放置儀器。因此在設站過程中，常需要水電人員和鑿井重機械的幫忙。

儀器的設置由簡至繁有3種基本方式：最簡單的方式是以鋼索把儀器懸掛於水中，優點是費用便宜，但是每次讀取資料都須把測棒拉起，再把數據讀入電腦；以電纜（數據線）懸掛於水中，在數據的收取上比較方便，因為電纜線的末端在井口，所以只要把末端接到電腦的傳輸端就可接收資料，不需移動測棒；以電纜懸掛於水中並接遠端傳輸，這方法不需人員至現場取數據，所測的數據會自動傳到位於研究中心的電腦端。

雖然儀器可以自動地長期記錄數據，但為求數據的可靠性，仍需要人工定期校正和保養。通常每年兩次，工作人員在現場以手提式水位計、導電度標準液及標準溫度計，比較量測值和自動儀器監測值。若誤差過大，則進行現場校正；若無法現場校正，則以備用儀器替換。



儀器設置的3種基本模式。以鋼索懸吊監測最便宜，但耗費較多的人工；遠端傳輸最方便且省時間，但仍需人工定期至現場校正。



現場研究人員量測及校正監測儀器



台東縣知本溫泉井噴出的溫泉水折射出美麗的彩虹



台東縣知本的溫泉井噴出高溫（攝氏140度）高壓（5個大氣壓）的溫泉水。



高溫高壓井的水壓與水溫監測儀器

溫泉水溫的監測

監測溫泉的第2個挑戰是溫度。電子儀器多半不耐熱，尤其要長期泡在高溫的溫泉中。有些溫泉溫度可達攝氏100度，例如台東知本、南投廬山、台北北投的部分溫泉等。知本溫泉區約有四十餘口溫泉井，少數淺井的水溫是攝氏40~70度，大多數的水溫高於100度，最高可達150度。這高溫的熱水經由井孔流出時，因解壓造成部分沸騰，管內水和水蒸氣混合而自湧，壓力可達 $5\text{kgw}/\text{cm}^2$ 以上。

想了解壓力、溫度和出水量的變化，可把耐高溫高壓的監測儀器分別裝設於井頭和儲槽，進行通常4小時的抽水（開井）和4小時的回升（關井、關閉進槽體的閥門）試驗。

詳細量測溫泉井的溫度，由上而下的井溫剖面監測可以用來追蹤溫泉的源頭。例如礁溪溫泉，最熱的溫泉井在西北方的春和浴室，水溫最高約攝氏65度。往東南至福崇寺，井水溫降到約60度；至湯圍公園和太子飯店井，溫度約50~55度；最遠的奇立丹地區，水溫只剩40度。以這溫度範圍長約1.5km、寬約1km，可界定出溫泉的源頭、分布和流向。

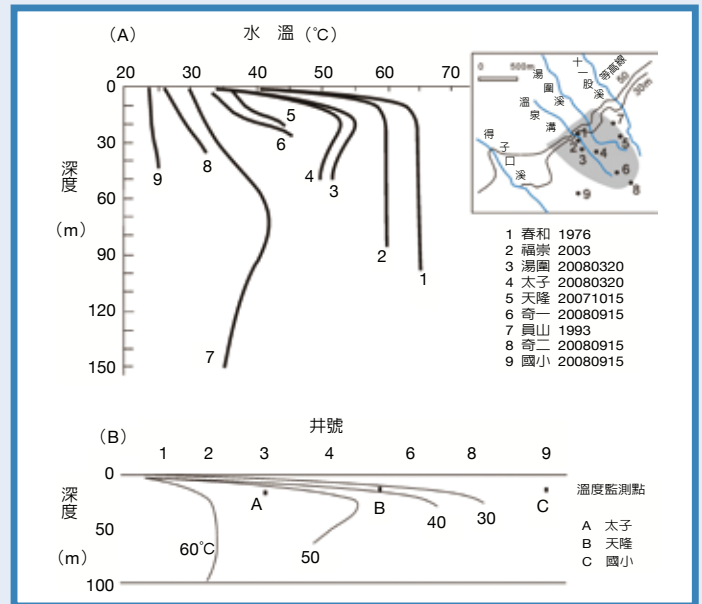


宜蘭縣礁溪溫泉的湯圍溝溫泉公園，其附設的公共浴室擁有台灣第1張「溫泉標章」。

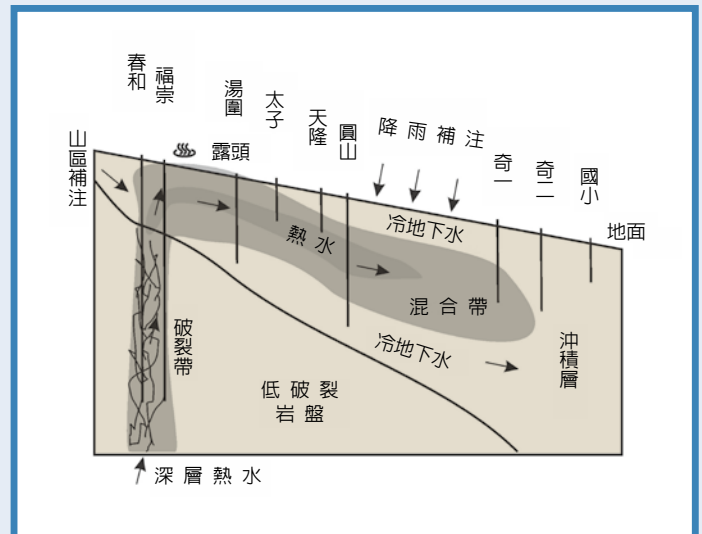
礁溪溫泉部分井的井溫剖面是上下冷、中間熱，反應出特殊的水平地層分布。熱水由西北方進入沖積層後，沿地層的水平面流動，向下游流動和擴散都以水平方向為主，因上方和下方都是較冷的地層，所以形成上下冷而中間熱的現象，這現象因人為抽水而更明顯。本區有超過90家以上的旅館，大都自有溫泉井，井深約20~50m。在這含水層大量抽水，有助於上游的熱水持續向這層流動。溫度最高的層次，應是水流最快的層次，在湯圍和太子井約在地面下20m，在員山井約在地面下75m。

溫泉與降雨的關係

許多溫泉的水位和湧出量與降雨關係密切，雨量越多，溫泉的湧出量越多，溫泉水位越高。以四重溪溫泉為例，公共浴室溫泉井2008年水位最低在2~3月、最高在8~9月，最高和最低水位落差達13m。其中連續假期新曆年及農曆年，水位下

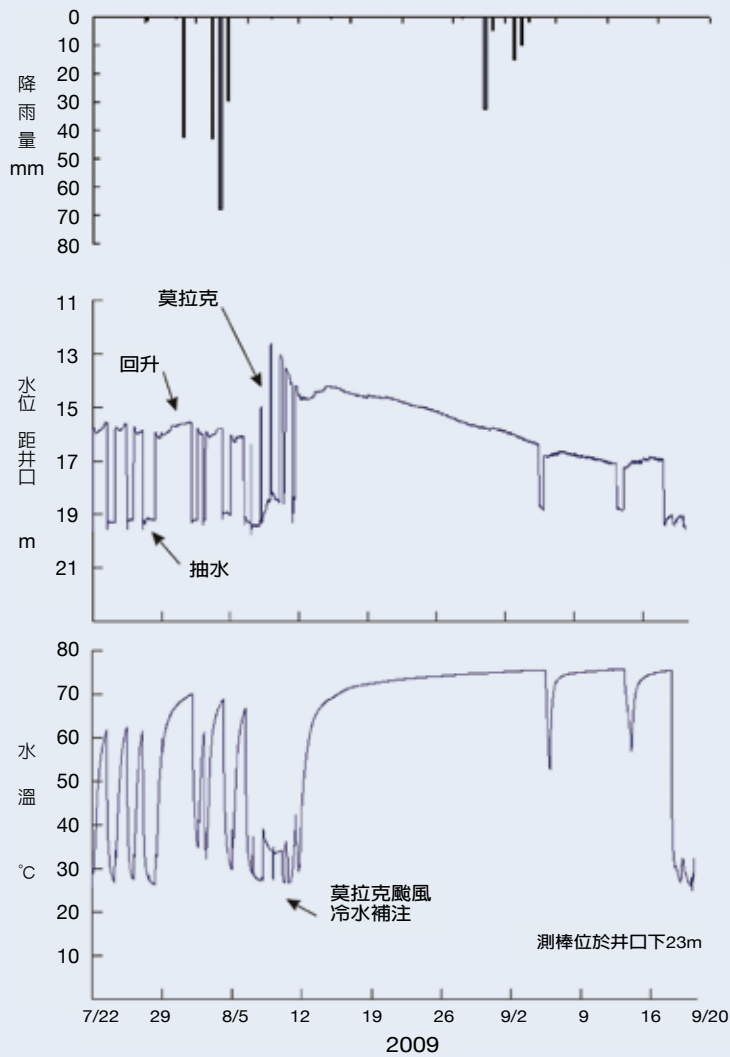


礁溪溫泉的溫度剖面，顯示出中間熱、上下較冷的分布。



礁溪溫泉的成因：溫泉發源於山區的四稜砂岩，流入沖積層後改呈水平流動。

天然的溫泉是大地賜予的稀有寶物，
自古以來溫泉提供人們休閒觀光和理療之用，
如果過度開發，將造成這珍貴資源的傷害。



莫拉克颱風造成知本溫泉水位上升及水溫升高，顯示颱風豪雨能帶來可觀的溫泉補注水量。溫泉有補注來源，才能用之不竭，永續經營。

降特別明顯，達3~5m。比對中央氣象局恒春站的雨量紀錄，2008年6~8月是降雨最多的月份，月降雨量達400~650mm，可推論四重溪溫泉的補注和降雨有極明顯的關係。

屏東縣2008年降雨，以6月份最多。降雨集中在3個時段：2~5日、14~16日及26~28日。降雨當天，「公共浴室」井的水位並沒有立即上升，例如在2~5日的降雨，水位持平於6.5m；6日起雨停了，水位開始上升；至13日止，水位由6.5m上升至8.5m，共上升了2m。其餘的兩個降雨時段，也有類似的情形，反應出四重溪的溫泉含水層和地面水或和淺層土壤水的連通性並不好，水位的上升應是因為水由深部受壓水層湧入。

知本溫泉和礁溪溫泉也有同樣的現象。2009年8月8日莫拉克颱風帶來的降雨，使水位上升3m，水溫短暫下降至攝氏35度。颱風過後水位持續下降，可能是因地下水（冷及熱水）向河床流出。到九月初，水位又回到原來高度，水溫則明顯上升，由颱風前的60~70度，上升至颱風後的70~80



台北市地熱谷是強酸性溫泉（pH約1.5），不銹鋼及鈦金屬的監測儀器放入溫泉水後約3個月，就會嚴重腐蝕而不堪使用。

度，推測是深層的熱水受到區域性的補注，水壓變大往上層流動。礁溪溫泉則在颱風豪雨期間，因上游地下水壓變大，溫泉井中大量湧出溫泉水。

溫泉資源是非常珍貴的，天然的溫泉是大地賜予的稀有寶物。雖然自古以來，溫泉提供人們休閒觀光和理療之用，但如果過度開發，將造成這珍貴資源的傷害，人們也無法再享受這上天的厚愛。

希望我們對於溫泉監測的努力，能讓大眾更了解溫泉的形成和開發的現況，有助於合理管理和永續經營。

陳文福

嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所
