

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

台灣溫泉水之氧化還原電位研究(1/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2116-M-041-002-

執行期間：94年11月01日至95年07月31日

執行單位：嘉南藥理科技大學環境工程與科學系(所)

計畫主持人：陳文福

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 95 年 5 月 25 日

摘 要

在水化學上，除了溫度與壓力外，氧化還原電位 (redox potential) 與 pH 是非常重要的基本水質之一。氧化還原電位代表水中及水岩系統 (water-rock) 中參予氧化還原反應物質的狀態，影響許多元素的存在狀態 (species)。雖然台灣的溫泉研究，已超過一百年的歷史，對於各地溫泉 (超過 100 處) 的地層、產狀、水溫、水質等，都已有基本認識，但是對於溫泉水的氧化還原電位 (redox potential) 還是相當缺乏瞭解。本研究的主要目的，在於實地量測溫泉源頭之溫泉水的氧化還原電位 (ORP: oxidation-reduction potential)，並分析溫泉中常見的氧化還原元素 (redox couples)，例如銨離子/硝酸鹽離子，硫酸根/硫化物離子，探討溫泉水中氧化還原主控的成份，以瞭解台灣地區溫泉水的氧化還原狀態，有利於將來更進一步，模擬溫泉泉質的演化、水岩反應，及微量元素 (包含重金屬) 的沉澱/溶解。

本研究採樣的溫泉源頭由北到南有天籟、名流、天祥、未來城、錦屏、虎山、四季、惠來、麒麟峰、泰雅、寶來等共 11 個溫泉源頭，分屬 8 個溫泉區，其中 5 個為自然湧出，6 個為鑽井。若以地質分區計，有 3 個在大屯火山區，3 個西部麓山帶，4 個在雪山山脈，1 個在中央山脈板岩區。

研究結果顯示：現地的氧化還原電位 (ORP) 量測值都小於 0 mV，顯示溫泉水皆屬於還原狀態。最高值為「天祥」(台北行義路) -23mV；最低值為「虎山」(苗栗泰安) -277mV。其氧化還原主控離子，主要為硫化物及銨離子。

在大屯火山區，因含高濃度的硫化氫 (火山氣體主成份之一)，所以屬於主控離子應為硫化物。位於西部麓山帶之未來城、虎山與麒麟峰，其中，未來城的主控離子應為銨離子，虎山則銨離子與硫化物兼具，麒麟峰的主控離子應為硫化物 (硫酸根還原作用)。位於雪山山脈的錦屏、四季、惠來及泰雅溫泉，四季、惠來及泰雅都是銨離子主控，錦屏則為硫化物 (硫酸根還原作用)。位於中央山脈板岩區的寶來溫泉應是銨離子主控。

關鍵詞：氧化還原、溫泉、台灣、地球化學

THE OXIDANT-REDUCED POTENTIAL OF HOT SPRINGS IN TAIWAN

ABSTRACT

In addition to temperature and pressure, redox potential and pH are also important parameters for water chemistry. Elements such as nitrogen, sulfur and carbon that participate the redox reactions in water and water-rock interaction can occur as a variety of species. The investigation of hot springs in Taiwan is more than one hundred years. Basic data of hot springs like geology, water temperature, pH and concentrations of major ions are well established. However, the redox states of Taiwan's hot springs are not known. The purposes of this study are to measure the oxidation-reduction potential (ORP) and determine the concentrations of the redox couples, i.e. $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ and $\text{SO}_4^{2-}/\text{HS}^-$ of hot springs water in Taiwan. The results of this study could help to uncover the chemical evolution of hot springs water, the processes of water-rock interactions i.e. dissolution/precipitation, and to conclude the species of traces elements.

We investigate a total of 11 hot springs that from north to south are Tien-La, Min-Liu, Tien-Shen, Future City, Gin-Pin, Hu-Shan, Four Seasons, Huen-La, Chi-Lin-Fon, Tai-Ya and Po-La. According to the geology, the 11 hot springs can be classified to 8 hot spring area. There are 3 hot springs located in Tatun Volcano area, 4 in Hsehshan Range, and 1 in the Central Range.

Key words: redox potential, hot springs, Taiwan, geochemistry

前 言

台灣地區的溫泉研究，最早可追溯至日據時期，研究的溫泉為台灣北部的金山（舊名金包里）與北投地區（中島榮次，1896；恩田重吉，1896），後續日本學者的研究，至少發表了超過 20 篇的論文。戰後顏滄波教授總其大成，在台銀季刊發表了一篇回顧的文章（顏滄波，1955）。光復後，比較有系統及大規模的研究，是 1960-1980 年政府大力推動的地熱能源探勘（礦業研究所，1969-1980），累積的相關報告與論文近百篇。近年比較大的調查與研究是經濟部水利署委託工業技術研究院能源與資源研究所，所進行的「台灣溫泉水資源之調查及開發利用--四年計畫」（工業技術研究院能源與資源研究所，1999-2003）。

雖然台灣的溫泉研究，已超過一百年的歷史，對於各地溫泉（超過 100 處）的地層、產狀、水溫、水質等，都已有基本認識，但是對於溫泉水的氧化還原電位（redox potential）還是相當缺乏瞭解。

在水化學上，除了溫度與壓力外，氧化還原電位與 pH 是非常重要的基本水質之一。氧化還原電位代表水中及水岩系統（water-rock）中參予氧化還原反應物質的狀態，影響許多元素的存在狀態（species）。例如溫泉中常見的硫元素（sulfur），其常見的狀態有六種：由氧化數最高+6 的硫酸根，到最低-2 的硫化物，溫泉中硫是如何存在，乃受氧化還原電位所控制（表一）。

再則，水中的重金屬，如鐵、錳、砷、鉻等，都至少有兩種價態，不同的價態，溶解度並不相同，例如鐵在三價氧化態時的溶解度與二價時（碳酸亞鐵或硫化亞鐵）相差數十次方（三價氧化鐵可視為不可溶）（Stumm and Morgan, 1995）。有時不同價態也影響其毒性，例如鉻及砷（陳健民，2002）。

地下水（包括溫泉）的氧化還原狀態，因為地下水往深處流動，漸漸缺氧，尤其地層富含有機質時，水中溶氧的消耗更快。一般而言，淺層的地下水較有可能含有溶氧，深層地下水，在缺氧後會進行硝酸根、錳、鐵、硫酸根等的還原作用，對於水質變化有很大的影響（Chen and Liu, 2003, 2005；陳文福，2003）。

本研究的主要目的，在於實地量測溫泉源頭之溫泉水的氧化還原電位（ORP: oxidation-reduction potential），並分析溫泉中常見的氧化還原元素（redox couples），例如銨離子/硝酸鹽離子，硫酸根/硫化物離子，探討溫泉水中氧化還原主控的成份，以瞭解台灣地區溫泉水的氧化還原狀態，有利於將來更進一步，模擬溫泉泉質的演化、水岩反應，及微量元素（包含重金屬）的沉澱/溶解。

本研究採樣的溫泉源頭由北到南有天籟、名流、天祥、未來城、錦屏、虎山、四季、惠來、麒麟峰、泰雅、寶來等共 11 個溫泉源頭（表二），分屬 8 個溫泉區，其中 5 個為自然湧出，6 個為鑽井。若以地質分區計，有 3 個在大屯火山區，3 個西部麓山帶，4 個在雪山山脈，1 個在中央山脈板岩區（圖一）。採樣時間為中華民國 94 年 5 月 23-25 日。

研究方法

採樣方法、現地檢測及樣品保存

採樣前須先和溫泉使用的業者聯絡，請業者帶路，有些溫泉源就在道路邊，但有些溫泉源頭離道路很遠（如寶來），需涉水過溪。照相機、全球衛星定位儀（GPS）、採樣瓶、紙、筆、地圖、pH計及導電度計等裝備都需隨身攜帶。

若是自然流出的溫泉露頭，或已有抽水機之溫泉孔（溫泉井），就在溫泉出口直接盛裝，並現地量測溫度、pH、及導電度。若無抽水機之溫泉孔（溫泉井），須自備貝勒管（bailer）放入井內採樣。

溫泉水質檢測有三項須在現場測定：pH、導電度及溫度。每次量測之前先以標準液，依照使用手冊方法校正。導電度為 1410 及 14100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、pH 三點校正為 4.0-7.0-10.0、氧化還原電位為 +280 及 -280mV。

因為許多溫泉水是還原態，故應進行還原電位標準液的查核或校正。因環保署尚未規定無氧及還原電位標準液，本研究使用鹼性維他命 C 溶液（APHA，1998）。配方為：純水一公升、維他命 C 1g、氫氧化鈉 0.1g；泡好 1 分鐘內即達穩定，溶氧小於 0.1mg/l，氧化還原電位 -250~-310mV（圖二）。

現地量測時將水管出水口接封閉測量槽（flow cell），以避免空氣混入，以手提式導電度計（美國 ORION Cond 130）、pH 計（德國 WTW pH Electrode SenTix 21）、水銀溫度計，每隔 5 分鐘記錄一次，當溫度、pH 及導電度值穩定（ $T\pm 0.1$ 、 $\text{pH}\pm 0.1$ ， $\text{EC}\pm 5\%$ ），停止量測後採水樣，以耐熱塑膠瓶（PE 瓶）盛裝水樣、貼上標籤，放置於冰桶中。並填寫採樣記錄表及照相存證。

水樣保存原則參考環保署及國際標準（如 APHA）規定（表三），碳酸氫根離子（鹼度）、硫酸根離子及氯離子，採樣後不超過 48 小時。硫化物很容易被氧化，採樣後以不超過 24 小時為原則。

化學分析方法

本研究之分析方法（表四），主要依據行政院環保署公告（NIEA）或國際組織之標準方法（APHA）。實驗室之品保品管，以檢量線、空白樣品、查核樣品、重覆樣品、添加樣品及標準水樣來控制，每一批次約 5-10 樣。查核樣品需來自不同於檢量線之標準品，添加樣品的基質為所採的地下水水樣，例如鹹水基質（氯化鈉高濃度）或是鈣鎂硬度高的地下水。

地質背景、溫泉水化學與氧化還原電位

大屯火山區--天籟、名流、天祥

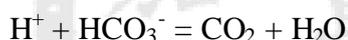
「天籟」及「名流」位於台北縣金山鄉，接近八煙溫泉及四磺坪溫泉，距離約 0.5-1 公里，泉質比較類似四磺坪溫泉。「天祥」位於台北縣北投區行義路，該

地的溫泉皆來自於上游的龍鳳谷溫泉。上述溫泉區都有許多噴氣孔，皆屬火山氣體與地面水或地下水混合的溫泉。

「天籟」與「名流」的泉質相近(表五、表六)，溫度為 68-80℃，導電度為 275-286 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，pH 為 2.49-2.74。主要陰離子以硫酸根為主，濃度為 97mg/L(表六)；鹼度為零，氯離子小於 10mg/L。主要陽離子中，鈣、鎂、鈉、鉀都很低，都小於 10mg/L。根據陳耀麟(2001)的研究，四磺坪溫泉的總溶解固體(TDS)約 350-500mg/L，其中矽濃度高達 100-150mg/L。因此推測，天籟與名流溫泉中的陽離子應以矽為主，但因矽在水溶液中通常以二氧化矽存在，應不會形成導電離子(Hem, 1992; Brookins, 1988)。

天籟的氧化還原電位為-145mV(在名流採樣時故障，該點缺數據，硫化氫濃度高的溫泉，很容易使電子儀器鏽蝕)。水中硫化氫濃度大於 5mg/L，已超出檢測上限(表六)。天籟與名流的銻離子濃度分別是 4.70 與 1.10 mg/L，也是顯示還原環境。根據以上證據，天籟與名流應屬於還原性的溫泉水，因為硫化氫的濃度高於銻離子，所以氧化還原電位的主控原因應為水中的硫化氫。

火山氣體(volatile components)中，硫化氫是常見的主要成份之一，在國內外的文獻中常有報導(Mason and Moore, 1982; 何孝恆, 2001)。此氣體與地下水混合後，硫化氫溶於水中，放出氫離子，消耗鹼度，pH 降至 2.49-2.74。



溫泉水湧出地面(或淺層含水層)後，混入氧氣，硫化氫被逐步的氧化，由元素硫(零價、固態) 硫代硫酸根、亞硫酸根、最後的氧化態是硫酸根，因此溫泉水中的陰離子以硫酸根為主。

「天祥」的溫泉水來自龍鳳谷，雖然也是火山氣體與水的混合，但和天籟與名流的泉質相差很多(表五)，溫度為 58℃，導電度為 5840 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，pH 為 1.39。主要陰離子也是以硫酸根為主，濃度為 1740 mg/L(表六)；鹼度為零，氯離子為 393 mg/L。主要陽離子中，鈣及鉀較高，分別為 189 及 170 mg/L。根據陳耀麟(2001)的研究，龍鳳谷溫泉的總溶解固體(TDS)約 500-800mg/L，顯然比「天祥」的溶解固體低，因龍鳳谷也屬於地面水與火山氣體混合的溫泉，混合比例常因地面水的多寡而差異很大，所以造成本次分析結果與陳耀麟(2001)不同。

「天祥」溫泉的氧化還原電位為-23mV，水中硫化氫濃度大於 5mg/L(表六)，銻離子濃度 5.49 mg/L，也是顯示還原環境。推測水中的硫化氫是氧化還原電位的主控原因。

西部麓山帶—未來城、虎山、麒麟峰

「未來城」位於台灣北部的林口台地，林口交流道的北側約一公里處。本溫泉井鑿深達 1500 公尺，地層狀況並不清楚，只能推測是深層的受壓含水層。因為導電度很高，達 18900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (海水約 50000 $\mu\text{S}/\text{cm}$)，推測地層水的循環很差，幾乎沒有降雨的影響，是古老的地層水。

溫度為 47.6 ，pH 為 7.14(表五) 陰離子以氯離子為主，濃度高達 6960 mg/L (表六)；鹼度為 110 mg/L，硫酸根很少，只有 17.8 mg/L，推測可能因硫酸根還原作用，但並沒有測到硫化物(濃度小於 0.03 mg/L)，表示硫酸根還原作用已停止。陽離子中，以鈉離子濃度最高，達 3620 mg/L；鈣離子次之，濃度為 592 mg/L。值得注意，銨離子濃度達 54.8mg/L，是本次採樣 11 口中最高的；又，氧化還原電為-216mV，表示本溫泉處於以銨離子為主的還原狀態。

「虎山」位於苗栗縣泰安鄉汶水溪邊，臨近虎山吊橋，由中新世地層的裂隙中自然湧出。泉溫約 46 、導電度 813 μ S/cm pH 為 6.76 氧化還原電為-277mV (表五)。陰離子以碳酸氫根為主，鹼度高達 1083 mg/L (表六)；其次為氯離子 65.3 mg/L，及硫酸根，48.7 mg/L；因硫化物濃度為 0.09 mg/L，表示有硫酸根還原作用在進行。陽離子中，以鈉離子濃度最高，達 480 mg/L；鈣離子次之，濃度為 26 mg/L。

銨離子濃度 5.24 mg/L，氧化還原電-277mV，硫化物濃度為 0.09 mg/L，表示本溫泉處於以銨離子或硫化物兩者兼有的還原狀態。

「麒麟峰」溫泉位於台中大坑的大里溪的北側，中臺醫專北方約二公里。本溫泉鑿井約 2000m (?)，地層狀況並不清楚，推測是深層的受壓含水層，但導電度並不高，只有 1210 μ S/cm，溫度為 30.1 ，pH 為 8.00，氧化還原電-97mV (表五)。陰離子以碳酸氫根為主，鹼度 420 mg/L (表六)；其次為硫酸根 45.0 mg/L，及氯離子 21.6 mg/L；因硫化物濃度 0.24 mg/L，表示有硫酸根還原作用在進行。陽離子中，以鈉離子濃度最高，達 225 mg/L；鉀離子次之，濃度為 28.8 mg/L。銨離子濃度則在偵測極限下，小於 0.025 mg/L。

氧化還原電-97mV，硫化物濃度 0.24 mg/L，表示本溫泉以硫酸根還原作用為主。

雪山山脈—錦屏、四季、惠來、泰雅

「錦屏」溫泉位於新竹縣尖石鄉的錦屏溫泉區，地質上屬於雪山山脈。本溫泉並非自然露頭，而是鑽井約 1000 公尺。導電度並不高，只有 813 μ S/cm，溫度為 41.3 ，pH 為 8.55，氧化還原電-182mV (表五)。陰離子以碳酸氫根為主，鹼度 415 mg/L (表六)；硫酸根及氯離子都很低，分別為 5.1 及 4.2 mg/L；有微量的硫化物-0.04 mg/L，表示可能有硫酸根還原作用在進行。陽離子中，以鈉離子濃度最高，達 176 mg/L；鈣、鎂、鉀離子都極低，都小於 3.5 mg/L。銨離子濃度則在偵測極限下，小於 0.025 mg/L。

氧化還原電-182mV，硫化物濃度 0.04 mg/L，表示本溫泉以硫酸根還原作用為主。

「四季」與「惠來」溫泉都位於台中谷關，沿大甲溪之河床，井深分別為 80m 及 150m 深，推測溫泉水產自始新 - 漸新世變質砂頁岩的裂隙。「四季」溫泉導電度並不高，只有 490 μ S/cm，溫度為 57.7 ，pH 為 7.72，氧化還原電-266mV (表五)。陰離子以碳酸氫根為主，鹼度 218 mg/L (表六)；硫酸根及氯離子都

很低，分別為 11.6 及 7.6 mg/L。陽離子中，以鈉離子濃度最高，達 106 mg/L；鈣、鎂、鉀離子都極低，都小於 11 mg/L。沒有硫化物，但銨離子濃度為 1.60 mg/L，表示本溫泉可能以銨離子為氧化還原主控離子。

「惠來」溫泉距離「四季」只有一百多公尺，水質相類似。導電度並不高，只有 592 μ S/cm，溫度為 58.2 $^{\circ}$ C，pH 為 7.82，氧化還原電-245mV（表五）。陰離子以碳酸氫根為主，鹼度 273 mg/L（表六）；硫酸根及氯離子都很低，分別為 14.1 及 8.45 mg/L。陽離子中，以鈉離子濃度最高，達 131 mg/L；鈣、鎂、鉀離子都極低，都小於 9 mg/L。沒有硫化物，但銨離子濃度為 2.47 mg/L，表示本溫泉也是以銨離子為氧化還原主控離子。

「泰雅」溫泉位於南投國姓與仁愛鄉的交界，沿北港溪之河床，井深約 600m，推測溫泉水產自始新 - 漸新世變質砂頁岩的裂隙。導電度 763 μ S/cm，溫度為 33.9 $^{\circ}$ C，pH 為 8.18，氧化還原電-55mV（表五）。陰離子以碳酸氫根為主，鹼度 299 mg/L（表六）；硫酸根及氯離子都很低，分別為 6.5 及 4.4 mg/L。陽離子以鈉離子濃度最高，達 121 mg/L；鈣、鎂、鉀離子都極低，都小於 8.3 mg/L。沒有硫化物，但銨離子濃度為 1.80 mg/L，表示本溫泉也以銨離子為氧化還原主控離子。

中央山脈板岩區—寶來

「寶來」溫泉位於高雄六龜，沿寶來溪之河床，本溫泉為自然湧出，產自中新世的板岩及砂岩的裂隙。導電度 2040 μ S/cm，溫度為 59.0 $^{\circ}$ C，pH 為 6.95，氧化還原電-240mV（表五）。陰離子以碳酸氫根為主，鹼度 930 mg/L（表六）；硫酸根及氯離子都很低，分別為 11 及 23 mg/L。陽離子以鈉離子濃度最高，達 410 mg/L；其次鉀離子 37 mg/L、鈣離子 31 mg/L、鎂極低 4.6 mg/L。沒有硫化物，但銨離子濃度為 13.9 mg/L，表示本溫泉以銨離子為氧化還原主控離子。

結 論

本研究採樣的溫泉源頭由北到南有天籟、名流、天祥、未來城、錦屏、虎山、四季、惠來、麒麟峰、泰雅、寶來等共 11 個溫泉源頭，分屬 8 個溫泉區，其中 5 個為自然湧出，6 個為鑽井。若以地質分區計，有 3 個在大屯火山區，3 個西部麓山帶，4 個在雪山山脈，1 個在中央山脈板岩區。現地的氧化還原電位(ORP)量測值都小於 0 mV，顯示溫泉水皆屬於還原狀態。最高值為「天祥」(台北行義路) -23mV；最低值為「虎山」(苗栗泰安) -277mV。

本次調查的 11 個溫泉，其氧化還原主控離子，主要為硫化物及銻離子。在大屯火山區，因含高濃度的硫化氫(火山氣體主成份之一)，所以屬於主控離子應為硫化物。位於西部麓山帶之未來城、虎山與麒麟峰，其中，未來城的主控離子應為銻離子，虎山則銻離子與硫化物兼具，麒麟峰的主控離子應為硫化物(硫酸根還原作用)。位於雪山山脈的錦屏、四季、惠來及泰雅溫泉，四季、惠來及泰雅都是銻離子主控，錦屏則為硫化物(硫酸根還原作用)。位於中央山脈板岩區的寶來溫泉應是銻離子主控。

在非火山區的溫泉水中，除了兩個溫泉(錦屏及麒麟峰)外，其餘 6 個溫泉都含有 1~55mg/L 的銻離子，顯示銻離子在溫泉的氧化還原中有重要影響，西部平原區的受壓含水層之地下水也普遍含有銻離子(陳文福，2003)，作者認為，較深層的地下水(含溫泉)中的銻離子來自地層中的有機質降解，例如動植物殘體內的氨基酸與蛋白質，降解並溶於水中，並非來自近代的人類污染。

雖然溫泉以還原態為主，但進入儲槽後，因受到不同程度的空氣混入，使得水中還原態的離子(例如硫化物及銻離子)漸漸被氧化，而形成正值的氧化電位(表五)，所以在儲槽中所測的氧化還原電位應不能代表溫泉水的原始狀態。

誌 謝

感謝台糖公司地下水中心協助採樣，國科會及水利署經費補助，嘉南藥理科技大學台灣溫泉研究發展中心諸位老師及助理，觀念上的討論及行政上的協助。

參考文獻

- 中島榮次(1896)金包里溫泉定量分析表。藥學，528-529 頁。(日文)
- 何孝恆(2001)台灣北部大屯火山群火山噴氣來源之探討。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文。
- 恩田重吉(1896)北投庄溫泉探見及分析表。藥學，408-411 頁。(日文)
- 恩田重吉(1896)金包里溫泉三種。藥學，412-413 頁。(日文)
- 陳文福(2003)台灣地區之地下水氧化還原環境及污染物宿命。水文地質調查與應用研討會論文集，經濟部中央地質調查所，第 85-101 頁。
- 陳文福(2004)台灣地區地下水觀測網水質常態監測與調查分析(1/2)：經濟部水利署委託台糖公司新營廠地下水開發保育中心出版。
- 陳正宏(1990)臺灣之火成岩。經濟部中央地質調查所。

- 陳健民 (2002) 環境毒物學。新文京開發出版有限公司。
- 陳肇夏 (1975) 台灣溫泉成因與地熱探勘之我見。地質, 第 1 卷, 第 2 期, 第 107-117 頁。
- 陳肇夏 (1981) 地熱地質與探勘。貞觀出版社, 115 頁。
- 陳肇夏 (1989) 台灣的溫泉和地熱。地質, 第 9 卷, 第 2 期, 第 327-340 頁。
- 陳肇夏 (2000) 溫泉及地熱資源。臺灣能源礦產及地下水資源, 經濟部中央地質調查所, 第 142-160 頁。
- 陳耀麟 (2001) 大屯火山區溫泉水之化學成份及其對河水之影響。國立台灣大學地質科學研究所博士論文。
- 顏滄波 (1955) 台灣之溫泉。台銀季刊, 第 7 卷, 第 2 期, 第 129-147 頁。
- 礦業研究所 (1969) 大屯火山群地熱探勘工作報告之一。礦研所報告, 第 90 號。
- 礦業研究所 (1970) 大屯火山群地熱探勘工作報告之二。礦研所報告, 第 102 號。
- 礦業研究所 (1971) 大屯火山群地熱探勘工作報告之三。礦研所報告, 第 111 號。
- 礦業研究所 (1973) 大屯火山群地熱探勘工作報告之四。礦研所報告, 第 126 號。
- 礦業研究所 (1975) 臺灣地熱資源探勘工作報告之一。礦研所報告, 第 146 號。
- 礦業研究所 (1977) 臺灣地熱資源探勘工作報告之二。礦研所報告, 第 163 號。
- 礦業研究所 (1978) 臺灣地熱資源探勘工作報告之三。礦研所報告, 第 170 號。
- 礦業研究所 (1979) 臺灣地熱資源探勘工作報告之四。礦研所報告, 第 174 號。
- 礦業研究所 (1980) 臺灣地熱資源探勘工作報告之五。礦研所報告, 第 181 號。
- 工業技術研究院能源與資源研究所 (1999-2003), 台灣溫泉水資源之調查及開發利用 (四年計畫)。經濟部水利署委託。
- Brookins, D.G. (1988) Eh-pH diagrams for geochemistry. Springer-Verlag, New York, USA.
- Chen, W.F. and Liu, T.K. (2003) Dissolved oxygen and nitrate of groundwater in Choshui fan-delta, Western Taiwan Environmental Geology, 44, 731-737.
- Chen, W.F. and Liu, T.K. (2005) Ion activity products of iron sulfides in groundwater: implications from the Choshui fan-delta, western Taiwan. Geochimica et Cosmochimica Acta, 69(14), 3535-3544.
- Hem, J.D. (1992) Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254.
- Mason, B. and Moore, C.B. (1982) Principles of geochemistry,
- Stumm, W. and Morgan, J.J. (1995) Aquatic chemistry. Wiley Interscience, New York, USA.

表圖目錄

表一：自然水環境中硫的常見狀態 (species)

表二：採樣溫泉之源頭基本資料

表三：水樣保存方法

表四：化學分析方法

表五：本研究溫泉水之溫度、導電度、pH 及氧化還原電位

表六：本研究溫泉之主要離子成份

圖一：溫泉採樣點及其地質分區

圖二：鹼性維他命 C 溶液溶氧小於 0.1mg/l, 氧化還原電位-250~-310mV



表一 自然水環境中硫的常見狀態(species)

英文	中文	化學式	氧化數	備註
Sulfate	硫酸根	SO_4^{-2}	+6	最終之氧化態
Sulfite	亞硫酸根	SO_3^{-2}	+4	
Sulfur dioxide	二氧化硫 (氣態)	SO_2	+4	溶於水形成亞硫酸(H_2SO_3)
Thiosulfate	硫代硫酸根	$\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$	+2	一個硫取代一個氧
Sulfur	硫元素	S	0	
Sulfide	硫化物 (通稱)	含有 S^{-2}	-2	最終之還原態
	硫化物 (水溶液)	H_2S 、 HS^- 、 S^{-2}		
	硫化物 (固態)	硫化金屬、如 FeS 、 PbS 、 CuS ...等		
	硫化氫 (氣態) Hydrogen sulfide	H_2S		

表二 採樣溫泉源頭之基本資料

地點	溫泉區	所在縣市	源頭型式	採樣日期	X 座標(m)	Y 座標(m)
天籟		台北金山	湧出	940524	309957	2787721
名流		台北金山	湧出	940524	309997	2787598
天祥	行義路	台北北投	湧出	940523	302612	2781544
未來城		台北林口	井深 1500m	940524	286097	2774073
錦屏	錦屏	新竹尖石	井深 1000m	940525	270331	2729598
虎山	泰安	苗栗泰安	湧出	940525	246763	2707343
四季	谷關	台中和平	井深 80m	940524	250127	2677939
惠來	谷關	台中和平	井深 150m	940524	250246	2677890
麒麟峰		台中北屯	井深 2000m	940524	223027	2676166
泰雅	北港溪	南投互助	井深 600m	940523	243739	2663025
寶來	寶來	高雄六龜	湧出	940125	220547	2554146

表三 水樣保存方法及期限

檢驗項目	水樣 需要量 (mL)	容器	保存方法	保存期限
溫度	現場檢測			
pH 值				
導電度				
碳酸氫根離子 (鹼度)	200	玻璃或塑膠 瓶	暗處,4 冷藏	48 小時
鈉、鉀、鈣、 鎂、鉍、氟、 氯、溴、硝酸 根、磷酸根、 硫酸根等離子	100	玻璃或塑膠 瓶	暗處,4 冷藏	48 小時
硫化物	500	玻璃或塑膠 瓶	每 100mL 之水樣加入 4 滴 2N 醋酸 鋅溶液,再加入氫氧化鈉使水樣之 pH>9, 暗處,4 冷藏	24 小時

表四 化學分析方法及偵測極限

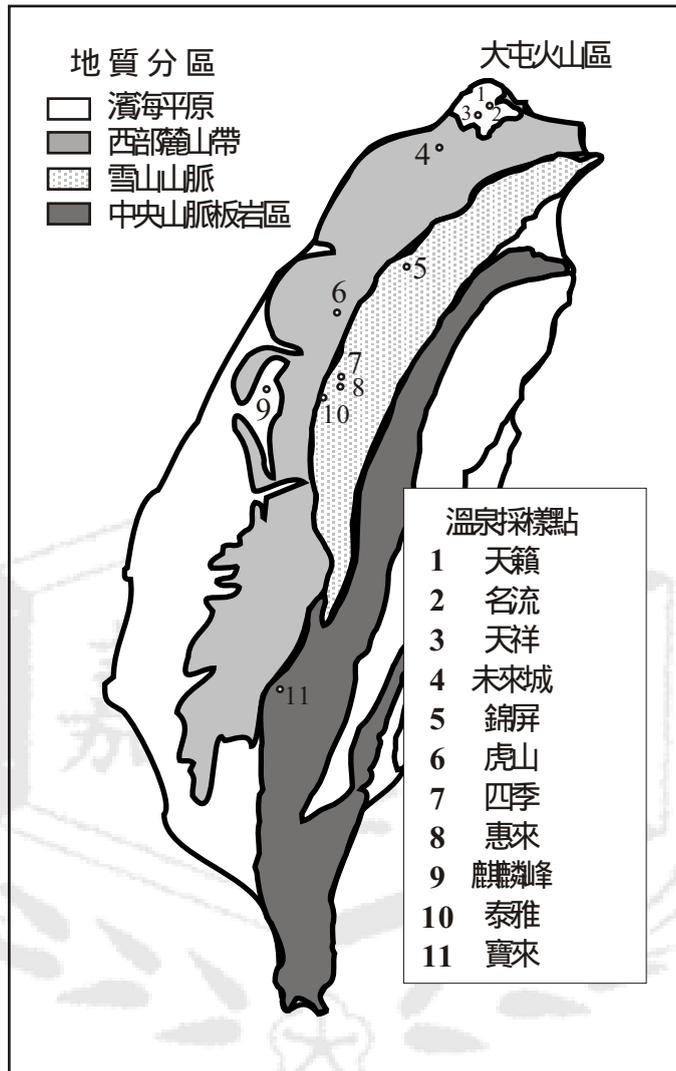
項 目	檢 驗 方 法	偵測極限	單位
1. T(水溫)：溫度計法	現地檢測 NIEA W217.50 A	靈敏度 0.1	
2. pH：電極法	現地檢測 NIEA W424.50 A	靈敏度 0.01	
3. ORP：電極法	現地檢測 APHA(20th) 2580 B	靈敏度 0.1	mV
4. EC：導電度計法	現地檢測 NIEA W203.51 B	靈敏度 0.01	μ S/cm
5. Alkalinity：滴定法	NIEA W449.00 B	15	mg/L
6. Cl ⁻ ：	NIEA W415.51 B	0.50	mg/L
7. SO ₄ ²⁻ ：離子層析法		0.50	mg/L
8. NO ₃ ⁻ -N：		0.10	mg/L
9. Ca：EDTA 滴定法	APHA(20th) 3500-Ca B	0.50	mg/L
10. Mg：EDTA 滴定法	NIEA W208.50 A	0.30	mg/L
11. Na：燄光光度計法	APHA(19th) 3500-Na D	0.50	mg/L
12. K：燄光光度計法	APHA(19th) 3500-K D	0.45	mg/L
13. NH ₃ -N：納氏比色法	NIEA W416.50 A	0.025	mg/L
14. 硫化物：甲烯藍法	NIEA W433.50 A	0.035	mg/L

表五 溫泉水之溫度、導電度、pH 及氧化還原電位

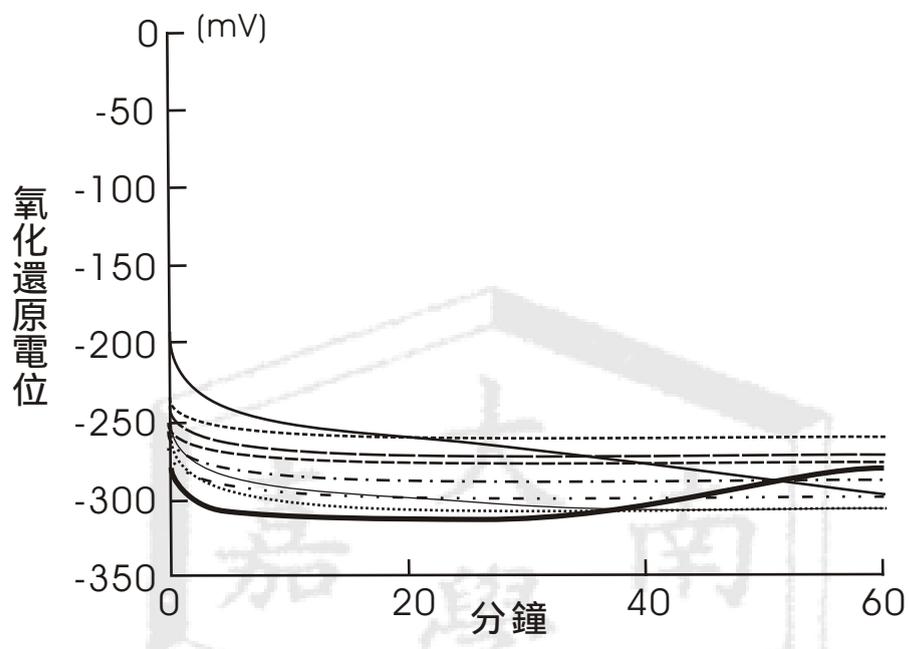
地點	採樣處	溫度	導電度 μ S/cm	pH	氧化還原電位 mV
天籟	源頭	68.5	275	2.74	-145
	儲槽	73.6	329	2.52	95
名流	源頭	80.0	286	2.49	
	儲槽	56.0	503	2.60	493
天祥	源頭	58.3	5840	1.39	-23
	儲槽	53.1	4130	1.65	382
未來城	源頭	47.6	18900	7.14	-216
	儲槽				
錦屏	源頭	41.3	813	8.55	-182
	儲槽	41.8	809	8.42	-11
虎山	源頭	46.1	2340	6.76	-277
	儲槽	40.9	2350	6.89	-236
四季	源頭	57.7	490	7.72	-266
	儲槽	54.1	496	7.81	-242
惠來	源頭	58.2	592	7.82	-245
	儲槽	58.9	593	7.90	-231
麒麟峰	源頭	30.1	1216	8.00	-97
	儲槽	65.4	1005	8.62	-112
泰雅	源頭	33.9	763	8.18	-55
	儲槽	48.5	674	8.15	27
寶來	源頭	59.0	2040	6.95	-240
	儲槽	50.0	2030		112

表六 主要離子濃度

	地點	導電度	Na	NH4	K	Ca	Mg	Alkalinity	F	Cl	Br	NO3	PO4	SO4	Sulfide
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	天籟	400	6.6	4.70	<0.1	9.8	2.8	<1.0	0.21	8.9	<0.1	0.25	<0.1	97.8	>5
2	名流	388	7.3	1.10	3.8	8.9	3.2	<1.0	0.28	9.1	0.39	0.36	<0.1	96.4	>5
3	天祥	8100	35.6	5.49	170	189	35.8	<1.0	2.13	393	<0.1	1.78	1.72	1740	>5
4	未來城	19070	3620	54.8	179	592	121	110	1.98	6960	23.4	<0.1	<0.1	17.8	<0.03
5	錦屏	775	176	<0.025	3.4	3.1	0.4	415	1.16	4.2	<0.1	<0.1	<0.1	5.1	0.04
6	虎山	2270	480	5.24	13.1	26	6	1083	1.27	65.3	<0.1	0.49	<0.1	48.7	0.09
7	四季	498	106	1.60	4.1	10.3	0.9	218	2.21	7.6	<0.1	<0.1	<0.1	11.6	<0.03
8	惠來	594	131	2.47	4.6	8.2	0.6	273	2.76	8.45	<0.1	0.25	<0.1	14.1	<0.03
9	麒麟峰	1025	225	<0.025	28.8	17.7	7.6	420	1.12	21.6	1.33	7.36	1.13	45.0	0.24
10	泰雅	589	121	1.80	6.3	8.3	2.3	299	1.75	4.4	0.43	0.49	<0.1	6.5	<0.03
11	寶來	1996	410	13.9	37.0	31.5	4.6	930	4.3	23.1	<0.1	1.9	<0.1	11.4	<0.03



圖一 溫泉採樣點及其地質分區



圖二 鹼性維他命C溶液泡好1分鐘內即達穩定，溶氧小於0.1mg/L，氧化還原電位-250~-310mV, 配方：純水一公升、維他命C 1g、氫氧化鈉0.1g