

國內太陽能熱水系統使用水質分析

李清安 張克勤* 李聰盛* 鍾光民*

財團法人成大研究發展基金會

*國立成功大學

聯絡電話：06-3300691 轉 110

摘要

國內太陽能熱水系統安裝面積從民國七十五年至九十二年底已突破一百萬平方公尺，普及率日益提高，但伴隨著安裝面積的增加，其安裝使用上之各種問題也逐一浮現，其中管線內部的結垢與腐蝕等水質問題影響太陽能熱水系統之使用年限、使用品質及其經濟效率最為明顯。本文針對依據經濟部能源委員會 89 年 2 月公佈之「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法」所提出安裝補助申請之用戶中，配合現場查核時進行水樣採集，分析其藍氏飽合係數 (LSI) 值，以判斷其結垢或腐蝕之傾向。

依目前所收集之有限資料分析結果顯示：自來水部份因有自來水公司進行供水品質管制，故水質變異量較小；其中僅南投縣之水質無結垢傾向；台中縣及離島地區（尤其是金門地區 LSI 值明顯偏低）則具發生腐蝕傾向；其餘地區之 LSI 值顯示皆易於管路中形成水垢。地下水部份則發現：桃園縣幾個鄉鎮 LSI 值較低屬於具嚴重腐蝕傾向；另高屏地區除屏東縣內埔鄉、高雄縣大樹鄉 LSI 值較低有明顯腐蝕傾向外，其餘鄉鎮大

多屬具結垢傾向。

前言

我國對太陽能熱水系統的應用雖起步較晚，至民國六十七年才有自製產品出售（康，1986），但在政府部門有計畫之推廣與技術研發輔導策略下，國內太陽能熱水系統不論在製造技術之純熟度或是安裝銷售市場之民眾接受度，近年來皆有大幅度的提昇；特別是自經濟部能源委員會於民國八十九年一月二十六日公布實施「太陽能熱水系統推廣獎勵辦法」（該辦法已於民國九十二年二月六日為「太陽能熱水系統推廣獎勵要點」所取代）後，截至九十二年底，此段期間熱水系統集熱器申請補助安裝之面積高達二十六萬九千多平方公尺，其中大多集中在新屋住戶，足見其推廣之成效。而目前國內製造及使用太陽能熱水系統所面臨的問題，大部份已獲得解決，唯有水垢與腐蝕困擾並未完全解決（黃，1997），其中腐蝕部份除了因空氣品質影響熱水系統之外部外，主要仍以管線內水質問題影響最大（黃，1991）。因此本文將針對這些現象，從民眾向「太陽能熱水系統推廣獎勵承辦機構」（以下

簡稱「承辦機構」)申請安裝太陽能熱水系統補助款之查核案件中隨機選取部分案件至現場收集該用戶的熱水用水，並攜回進行水質檢測後所建立之資料庫中(截至九十三年三月為止共檢測 679 筆水質樣本)，解釋其所代表的意義及趨勢。

研究方法

(一)水質採樣說明

本研究在配合申報太陽能熱水系統完工報告書後進行現場查核之同時，順道取得裝置地點之水樣，採水程序乃依循行政院環保署環境檢驗所公告之飲用水水質採樣方法(NIEA W101.52A)。水樣運送主要是由查核人員於採樣後直接運送至檢驗室進行檢驗；若有時效顧慮時，則送交給民間快捷系統代為運送，以利樣品於可保存之期限內進行檢測。

取回之水質樣品委託成功大學環境研究中心水質檢測實驗室(行政院環境保護署許可字號：環署檢字第 103 號)代為分析水質。主要檢測項目包括總溶解固體物(TDS)、鹼(酸)度(Alk)、硬度、鈣離子(Ca⁺⁺)、鎂離子(Mg⁺⁺)等。

(1)結垢/腐蝕傾向分析公式

水中之 CaCO₃(碳酸鈣)達過飽和程度時，將有固體 CaCO₃ 沉澱；反之，若水中之 CaCO₃ 未達飽和程度，

則可溶解固體 CaCO₃ 之水質穩定 (Water Stabilization) 原理，Langelier(1936)發表飽和指數法(Langelier Saturation Index Method, 簡稱 LSI Method)用以判斷水質是否有易於形成水垢(Scaling)的傾向，說明如下(Langeliar, 1936)：

若 LSI < 0 則不易形成水垢，但管路易有腐蝕現象(Corrosion)；

若 LSI = 0 則無結垢傾向；

若 LSI > 0 則易形成水垢(Scaling)。

然而原始 LSI 公式為一迭代公式，需使用試誤法(trial-and-error)以求其解，為簡化之，Loewenthal & Marais(1976)提出了簡化經驗公式如下(Loewenthal and Marais, 1976)：

$$LSI = pH - pH_s = pH - (p^{K_2} + p^{Ca^{2+}} - p^{K_s} - \log(2[Alk]) - \log\gamma_M)$$

整體而言，PH 為待測水實際 PH 值；PH_s 為待測水飽和 PH 值，此值為硬度、鹼度、總溶解固體物及溫度的函數(其中 PH 為度量氫離子的濃度；Alk 為度量 CO₃²⁻及 HCO₃⁻的緩衝能力，兩者為不同的概念)，因此本計畫檢測水質項目包含總溶解固體物(TDS)、鹼度(Alk)、硬度、鈣離子(Ca⁺⁺)、鎂離子(Mg⁺⁺)等。

(2) 經驗公式假設

LSI 經驗公式之假設條件如下

(Loewenthal and Marais, 1976)：

- a. 假設離子強度(I)不超過 0.5M，故溶液之離子強度可用 Davies 關係推估，Davies 關係公式如下：

$$\log \gamma = -A \times Z^2 \left(\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0.3 \times I \right) \quad \text{where}$$

$$I = 2.5 \times 10^{-5} \times \text{TDS} \quad (\text{TDS} \leq 1000 \text{ mg/l})$$

$$A = 1.82 \times 10^6 (D \times T)^{-\frac{3}{2}}, \quad D = 78.3 \quad T = \text{溶液溫度}(^{\circ}\text{K})$$

Z = 化學物之氧化數

γ_M = 單價離子之活性數(Z=1)

γ_D = 表示雙價離子之活性係數(Z=2)

- b. 水樣之 pH 值須在 6 至 9.5 之間。

(二) 檢驗方法

(1) 總溶解固體物(TDS)

總溶解固體物係利用行政院環保署環境檢驗所公告之環境檢測方法—NIEA W210.56A 來進行水中總溶解固體及總懸浮固體之檢測。

(2) 鹼度

測定水樣之鹼度測定方法—EDTA 滴定法 (APHA STANDARD METHOD 2320)。

(3) 硬度

採水中硬度檢測方法—EDTA 滴定法 (行政院環保署環境檢驗所公告之環境檢測方法—NIEA W208.50A)。

(4) 鈣離子、鎂離子

本研究對於樣品中之鈣、鎂離子

乃以感應耦合電漿原子發射光譜法 (ICP)，其儀器操作方式係依照行政院環保署環境檢驗所公告之環境檢測方法—NIEA W306.51A，利用高頻電磁感應產生的高溫氫氣電漿，使導入電漿中的樣品受熱而起一系列的去溶劑、分解、原子化/離子化及激發等反應，測定水樣中包括鈣、鎂等離子之濃度。

(五) 檢驗結果

本研究以藍氏飽和指數作為分析水質結垢傾向的公式，其中 LSI < 0 表不易形成水垢但易腐蝕管路，LSI > 0 表易形成水垢，而由 Moffat 之一階不準度理論分析之結果，本研究所收集數據間之不準度的範圍為 ±0.124，故於本文中之 LSI 的判斷基準可修正為如下所述：

若 LSI < -0.124 則不易形成水垢，但管路易有腐蝕現象；

若 LSI 介於 -0.124 ~ 0.124 之間，則不具管路腐蝕傾向，亦不具結垢傾向；

若 LSI > 0.124 則易形成水垢。

結果分析

本研究截至九十三年三月為止，共檢測 679 筆水質樣本，檢測分析成果依據水源不同而分為自來水 (458 筆) 與地下水 (221 筆) 兩部分，詳細說明如下所述。

(一)自來水檢測分析

因氣候與建築類別（透天厝、公寓等）聚落方式之因素影響，國內目前太陽能熱水系統之安裝數量仍以中、南部佔最多數，故本研究所檢測 458 筆自來水水質樣本中，大多集中在中部及南部；東部、北部、離島地區則較少。檢測結果共包括台北市 1 件、台北縣 3 件、桃園縣 12 件、新竹縣 3 件、苗栗縣 1 件、台中縣 27 件、南投縣 35 件、彰化縣 36 件、雲林縣 16 件、嘉義縣市 31 件、台南市 20 件、台南縣 76 件、高雄縣 97 件、高雄市 32 件、屏東縣 45 件(不含琉球鄉)、台東縣 4 件、花蓮縣 7 件、離島 12 件，相關 LSI 值如表一所示。

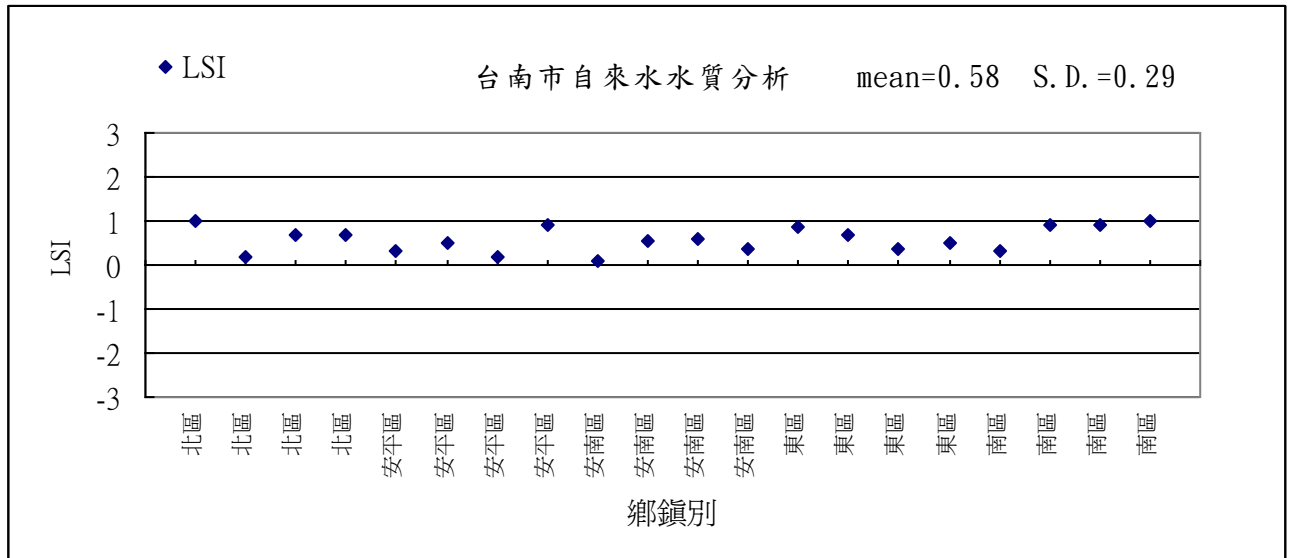
各縣市自水來之 LSI 平均值顯示僅南投縣之 LSI 值介於-0.124~0.124 之間無結垢傾向；台中縣及離島地區（尤其是金門地區 LSI 值明顯偏低）則傾向發生腐蝕現象；其餘地區之 LSI 值皆大於 0.124，傾向於管路中形成水垢，如圖一列出台南市各區水質採樣結果，可明顯發現其 LSI 值大多介於 0 與 1 之間，其餘各縣市亦大多是如此；若以中央大學

曾迪華教授在民國八十九年第五屆水再生及再利用研討會發表之論文研究之成果(如表二所示)作為分類的準則（曾，2000），則台灣各縣市之自來水水質大多屬輕微或中度結垢傾向，故除了南投縣及彰化縣境內數個鄉鎮 LSI 值大於 1 之外，國內自來水水質在自來水公司的有效控制下皆可保持在±1 之間，這與日本厚生省公告之水質標準（-1~0，儘可能趨近 0）及荷蘭自來水研究單位 KIWA 之建議值（-0.2~0.3）（陳，1999；林，2002），甚至鄰近的香港特別行政區政府水務署公佈之飲用水水質監測數據（LSI 值趨近於 0）（資料來源：香港特別行政區政府水務署網站 <http://www.info.gov.hk/wsd/tc/html/water/qualitydata.htm>）仍有些差距；但若依據輸水工程之論點，一般公共用水可考慮調控水質趨向略結垢性，使配水系統之管道壁內提供碳酸鈣之保護層，以防腐蝕（陳，1999），但如此水質控制設計所產生的水垢卻可能會影響著國內太陽能熱水系統的使用年限與熱交換效率。

表一：各縣市自來水 LSI 值

地區	平均值	標準差	最大值	最小值
北部地區	0.15	0.54	1.25	-1
台中縣	-0.21	0.76	1.07	-1.93
彰化縣	0.73	0.58	1.64	-1.19
南投縣	0.07	0.82	1.72	-1.72
雲林縣	0.35	0.59	1.12	-0.65
嘉義縣市	0.68	0.34	1.27	-0.28

台南市	0.58	0.29	1.01	0.08
台南縣	0.59	0.28	1.25	-0.19
高雄市	0.67	0.27	1.05	0.16
高雄縣	0.57	0.25	1.21	-0.11
屏東縣	0.34	0.48	1.05	-1.16
花東地區	0.49	0.38	0.97	-0.13
離島地區	-0.61	1.59	1.03	-3.23



圖一 台南市 LSI 分布圖

表二 結垢傾向表 (曾, 2000)

LSI 值範圍	結垢傾向說明	碳酸鈣結垢量
<0	無結垢傾向或中等溶解(腐蝕)傾向	< 5 g/cm ²
0~0.5	輕微結垢傾向	< 5 g/cm ²
0.5~1	中等結垢傾向	5~15 g/cm ²
>1	嚴重結垢傾向	15~30 g/cm ²

(二)地下水部份

本研究所採集地下水之樣品分佈，因台北縣市之申請件數少，故目

前北部之地下水採樣仍集中於桃竹苗地區，南部則由於自來水普及率除屏東縣僅 42.07%外，其它縣市皆於

80%以上(詳參表三),故主要針對屏東縣與鄰近之高雄縣兩地區執行地下水水質採樣與分析。檢測結果共包括桃園縣 6 件、新竹縣 9 件、苗栗縣 2 件、台中縣 14 件、南投縣 18 件、彰化縣 12 件、高雄縣 32 件、屏東縣 121 件、台東縣 3 件、花蓮縣 3 件及連江縣 1 件,共計有地下水水質樣品 221 件。相關 LSI 值如表四所示。

因為各地地下水質差異甚巨,不似自來水鄰近地區皆來自相同淨水廠,其數值變動不大亦較為集中,故各鄉鎮採集之地下水之變化很大;其中屏東縣除內埔鄉水質變化較大有多處 LSI 值較低,具有腐蝕傾向外,其餘鄉鎮大多屬結垢傾向;高雄縣的大樹鄉 LSI 值皆偏低亦有明顯腐蝕傾向,若略去大樹鄉數據不計,則高雄縣之 LSI 平均值則為 0.41,亦屬較微結垢傾向地品;另外,桃園縣、新竹

縣、南投縣之 LSI 平均值偏低,有腐蝕傾向,尤其本研究所取之桃園縣四鄉鎮地下水水質屬於嚴重腐蝕傾向(詳參圖二),該地區若以地下水為太陽能熱水系統之使用水源,則須特別注意防蝕措施之必要性考量。而苗栗縣因數據仍少,代表性不足,但已有文獻提出苑裡鎮之地下水質,已呈受養殖用水污染之趨勢(朱,1996),此為本研究後續研究須特別加強之地區。

宜蘭地區因為地候因素,民眾安裝太陽能熱水系統數量有限,故本研究並無此一地區之數據,但依據民國九十一年六月廿六日雲林科技大學舉辦之第五屆地下水質源及水質保護研討會資料顯示:蘭陽平原地下水之 LSI 值普遍偏低,呈腐蝕傾向(黃,2002)。

表三：各縣市自來水普及率(92 年底)

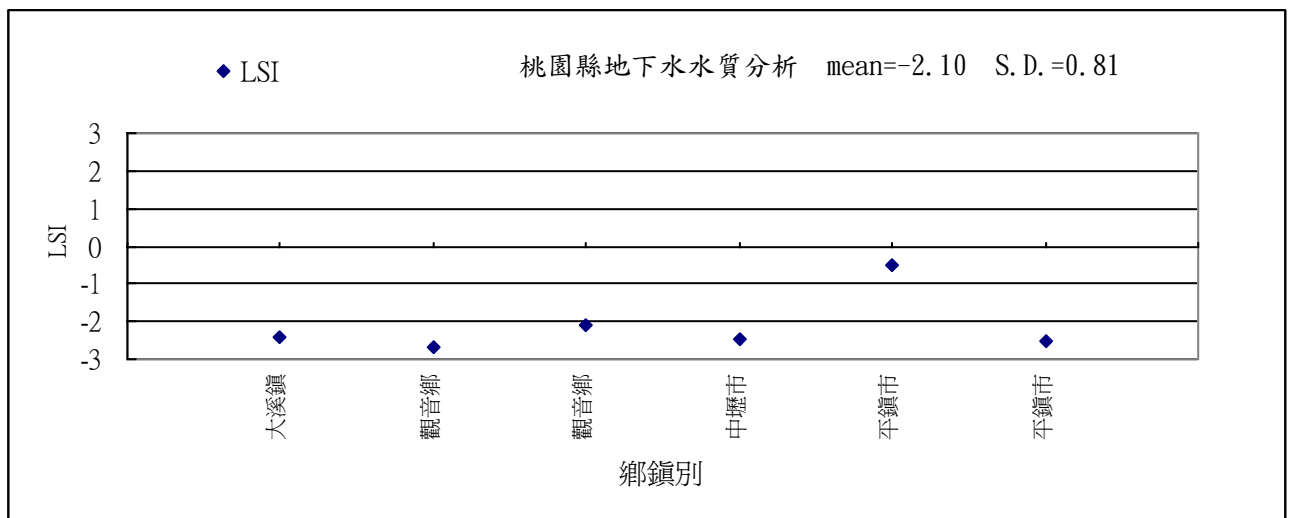
基隆市	99.22%	台北縣	96.87%	台北市	99.49%	宜蘭縣	88.59%
桃園縣	92.69%	新竹縣	72.49%	新竹市	97.20%	苗栗縣	72.29%
台中縣	84.13%	台中市	99.03%	彰化縣	90.71%	南投縣	78.18%
雲林縣	93.72%	嘉義縣	87.98%	嘉義市	98.98%	台南縣	97.75%
台南市	99.88%	高雄縣	88.87%	高雄市	98.89%	屏東縣	42.67%
台東縣	75.70%	花蓮縣	81.13%	澎湖縣	92.14%	金門縣	93.78%
連江縣	96.20%	全國	90.88%				

資料來源：經濟部水利署網站 <http://www.water.gov.tw/sample/about/data1.htm4>

表四：各縣市地下水 LSI 值

地區	平均值	標準差	最大值	最小值
桃園縣	-2.10	0.81	-0.49	-2.66
新竹縣	-0.85	1.00	0.31	-2.42

苗栗縣	0.87	0.17	0.99	0.75
台中縣	0.16	0.82	1.09	-1.82
彰化縣	0.01	1.35	1.36	-2.80
南投縣	-0.91	1.53	1.56	-3.13
高雄縣	-0.38	1.28	0.99	-3.02
屏東縣	0.40	0.75	3.02	-2.75
花東地區	0.14	1.59	1.33	-2.94
連江縣	-1.04	-	-	-



圖二 桃園縣 LSI 分布圖

結論

由本研究所採樣之 679 筆水質樣本分析可以發現：國內中、北部之自來水水質變化較大，不易以縣市為單位來分析，需就個別安裝地點再做深入之分析；南部地區（彰化以南）的自來水大多呈現輕微結垢現象，而此一地區更是國內太陽能熱水系統最主要的安裝地區（佔全國安裝量六成以上），且除屏東縣外，其餘縣市自來水使用率高達八成以上，而即便是屏東縣之地下水水質依據本研究發現，亦呈現輕微結垢傾向。

而北部的地區的地下水質，因本研究採樣對象主要針對申請補助案件中已出現水質問題者，故在桃園縣與新竹縣採樣之九個鄉鎮之地下水 LSI 值皆出現偏低的現象，尤其在桃園縣境內四個鄉鎮更出現嚴重腐蝕現象。雖數量少不足以代表全縣之地水水質，但仍可提供鄰近地區安裝用戶及廠商相關水質之參考。

綜合各地水質分析，國內北部地區若使用地下水為太陽能熱水系統水源者，須注意管線之防蝕問題；而南部地

區安裝之太陽能熱水系統不論使用的是自來水或地下水，皆需要特別注意結垢問題。唯有及早防範於未然，方可有效延長太陽能熱水系統之使用年限與發揮其應有之經濟效益。

本研究目前所進行之樣品採集僅針對目前已安裝太陽能熱水系統並且向承辦機構申請補助者，至於無安裝太陽能熱水系統或安裝量稀少之地區則因欠缺數據或因數據過少而不具全面之水質代表性，此點為本研究不足之處，須待日後採樣地點更為廣泛分佈至全國各地區後，方能得到更完整之統計分析結果。

誌謝

本文承蒙經濟部能源委員會委辦「太陽能熱水系統推廣獎勵補助作業計畫」(計畫編號：93-D0102)之經費支持，在此特於誌謝。

參考文獻

中文參考文獻

朱欽甯、張進益、沈向白(1996)·嘉義農專學報，46(1)·1-16。

林文麒(2002)·極微濾薄膜處理程序在台灣自來水淨水廠之適用性與成本分析之研究·未發表的碩士論文，新竹：國立交通大學。

康國裕(1986)·談太陽能熱水系統之推廣

與獎勵·能源季刊，16(1)·71-81。

陳秋楊、史午康、劉廷政、翟雲楓(1999)·飲用水水質標準－總硬度與總溶解性固體合宜濃度之研究·台北：中華民國自來水協會。

黃金山、黃顯凱、張國強、李子倫(2002)·蘭陽平原地下水水質調查分析·第五屆地下水資源及水質保護研討會論文集·C-31-39。

黃信雄(1991)·國內太陽能熱水系統之自然老化研究與實例分析·能源節約技術報導，(41)·37-46。

黃信雄(1997)·太陽能熱水器的水質問題探討(二)·太陽能學刊，2(2)·14-18。

曾迪華、郭家倫、游庶海、李欣怡(2000)·水質指數評估冷卻水腐蝕與結垢傾向之研究·第五屆水再生及再利用研討會論文集，第 211-221 頁。

英文參考文獻

Loewenthal, R.E., and Marais, G.V.R. (1976), Carbonate Chemistry of Aquatic Systems: Theory and Application, Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, MI.

Langeliar, W.F., (1936). "The Analytical Control of Anti-Corrosion Water Treatment." J. AWWA, 29(10), 1500.