

科技部補助專題研究計畫成果報告 期末報告

高雄地區地溫之量測與研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：MOST 105-2116-M-041-001-

執行期間：105年08月01日至106年07月31日

執行單位：嘉藥學校財團法人嘉南藥理大學觀光事業管理系(含溫泉產業碩士班)

計畫主持人：陳文福

計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理：王睿騰

報告附件：出席國際學術會議心得報告

中華民國 106 年 10 月 29 日

中文摘要：地溫指地面下的溫度，為一具有三維空間分布並隨時間改變的性質。地溫的量測通常經由鑽井的井孔溫度 (borehole temperature) 所得。井孔溫度為單個地點的地溫量測為沿著井孔，垂直往下 (或往上) 測量的溫度分布，或稱為溫度井測。高雄地區18口觀測井之井孔溫度剖面量測，淺於50m的井有8口、其餘10口都大於50m，最深的井為港和，達268m。18口井中，16口呈現上段變暖。不同深度地溫之水平分布以五甲站的溫度最低，80m深的溫度約25.33°C，推測補注來自地面水，例如二仁溪，因為發源自東邊的山區，所以河水溫度較低。五甲井地溫梯度偏低，推測應有垂直流，所以造成上下層的溫度相近。往西邊海測，受到地溫加熱，溫度漸漸升高，最高溫為省躬，深度250m達33°C，有可能因為抽水造成深層地下水向上流，因此地溫梯度升高，但還需進一步研究再確認。

高雄地區10口深井中有9口都有變暖的現象，變暖的幅度約在0.5至2.5°C，平均約1.24°C/100yr，研究指出台灣地區百年來(1910-2010年)的氣溫約上升約1.4°C (Hsu et al., 2011)，所以高雄地區地表面溫度變暖的幅度和氣溫上升應該有密切關係。9口井中反折點最深為85m、最淺約20m。以深度回推變暖的開始時間，因為和地層熱參數及變暖速率有關，但是深度85m估計大約也是100年左右的時間開始變暖。

中文關鍵詞：地溫、地下水、流場、暖化

英文摘要：Subsurface temperatures are the temperatures below the ground surface that distributed in three dimensional and changed with time. Those data are collected by measuring the temperatures vertically along a borehole up or downward and also called the temperature logging. Subsurface temperatures are usually in the balance of rock and groundwater with transferring heat by conduction and convection. Some mechanisms are indentified to contribute those changes of subsurface temperatures: (1) variation of ground surface temperature; (2) past climate change, such as global warming and urbanization; (3) the type and structure of rock strata; (4) groundwater flow; (5) heat source in deeper subsurface. In the nearly century, global warming and urbanization make temperatures increase significantly in the upper 70m of borehole. However, only few studies on the temperature of groundwater and borehole in Taiwan. This research proposes an investigation on boreholes temperatures in Kaohsiung area, southern Taiwan. Our purpose is to understand the geothermal gradient, flow condition and the warming trend and to evaluate the effect by global warming and urbanization in southern Taiwan.

英文關鍵詞：Subsurface temperature, groundwater, flow, warming trend

高雄地區地溫之量測與研究

Subsurface temperature in Kaohsiung area, southern Taiwan

摘要

地溫指地面下的溫度，為一具有三維空間分布並隨時間改變的性質。地溫的量測通常經由鑽井的井孔溫度 (borehole temperature) 所得。井孔溫度為單個地點的地溫量測為沿著井孔，垂直往下 (或往上) 測量的溫度分布，或稱為溫度井測。

高雄地區 18 口觀測井之井孔溫度剖面量測，淺於 50m 的井有 8 口、其餘 10 口都大於 50m，最深的井為港和，達 268m。18 口井中，16 口呈現上段變暖。

不同深度地溫之水平分布以五甲站的溫度最低，80m 深的溫度約 25.33°C，推測補注來自地面水，例如二仁溪，因為發源自東邊的山區，所以河水溫度較低。五甲井地溫梯度偏低，推測應有垂直流，所以造成上下層的溫度相近。往西邊海測，受到地溫加熱，溫度漸漸升高，最高溫為省躬，深度 250m 達 33°C，有可能因為抽水造成深層地下水向上流，因此地溫梯度升高，但還需進一步研究再確認。

高雄地區 10 口深井中有 9 口都有變暖的現象，變暖的幅度約在 0.5 至 2.5°C，平均約 1.24°C/100yr，研究指出台灣地區百年來(1910-2010 年)的氣溫約上升約 1.4°C (Hsu et al., 2011)，所以高雄地區地表面溫度變暖的幅度和氣溫上升應該有密切關係。9 口井中反折點最深為 85m、最淺約 20m。以深度回推變暖的開始時間，因為和地層熱參數及變暖速率有關，但是深度 85m 估計大約也是 100 年左右的時間開始變暖。

關鍵詞：地溫、地下水、流場、暖化

Abstract

Subsurface temperatures are the temperatures below the ground surface that distributed in three dimensional and changed with time. Those data are collected by measuring the

temperatures vertically along a borehole up or downward and also called the temperature logging. Subsurface temperatures are usually in the balance of rock and groundwater with transferring heat by conduction and convection. Some mechanisms are identified to contribute those changes of subsurface temperatures: (1) variation of ground surface temperature; (2) past climate change, such as global warming and urbanization; (3) the type and structure of rock strata; (4) groundwater flow; (5) heat source in deeper subsurface. In the nearly century, global warming and urbanization make temperatures increase significantly in the upper 70m of borehole. However, only few studies on the temperature of groundwater and borehole in Taiwan. This research proposes an investigation on boreholes temperatures in Kaohsiung area, southern Taiwan. Our purpose is to understand the geothermal gradient, flow condition and the warming trend and to evaluate the effect by global warming and urbanization in southern Taiwan.

Keywords: Subsurface temperature, groundwater, flow, warming trend

一、前言

地溫指地面下的溫度，為一具有三維空間分布並隨時間改變的性質。地溫的量測通常經由鑽井的井孔溫度 (borehole temperature) 所得。井孔溫度為單個地點的地溫量測為沿著井孔，垂直往下 (或往上) 測量的溫度分布，或稱為溫度井測。井孔溫度反應地底下之岩層 (固定) 及地下水 (可流動) 的溫度。

地溫分布受到五方面的影響：(1) 地表面溫度 (ground surface temperature) 為日照、植被、氣溫、地形等的影響；(2) 過去氣溫變化，例如全球暖化及都市化；(3) 岩層的構造、分布及導熱性質；(4) 地下水流動；(5) 較深部的地熱源，例如岩漿庫等之影響 (Kohl, 1999; Anderson, 2005; Ferguson et al., 2006; Verdoya et al., 2007; Bense and Beltrami, 2007)。

若沒有地下水流動，岩層的熱性質不變，且沒有其他熱源，地溫為地下深度溫

度與地表面溫度的熱傳導平衡（圖 1A），因地心溫度高達六至七千度，地表面溫度年平均為零至十餘度，所以地心向地面熱傳導，形成所謂地溫梯度，形成一條直線。當含水層有地下水流動時，就會造成地溫梯度的改變，在含水層的位置造成地溫梯度線的曲折（圖 1B）。如果地層是水平，但因不同含水層及阻水層因抽水造成水壓差，形成垂直向的地下水流動，則地溫梯度線的曲折，將會擴大至非主要含水層的位置。例如淺層抽水使深層地下水往上流，將造成地溫梯度升高（圖 2B）；相反的，深層抽水造成地下水往下流，地溫梯度會降低（圖 2C）。因此井孔溫度可幫助我們瞭解地下溫度場的分布，在地下水流動顯著的地區，可反應出地下水的流場（Anderson, 2005），指出地下水的補注區。

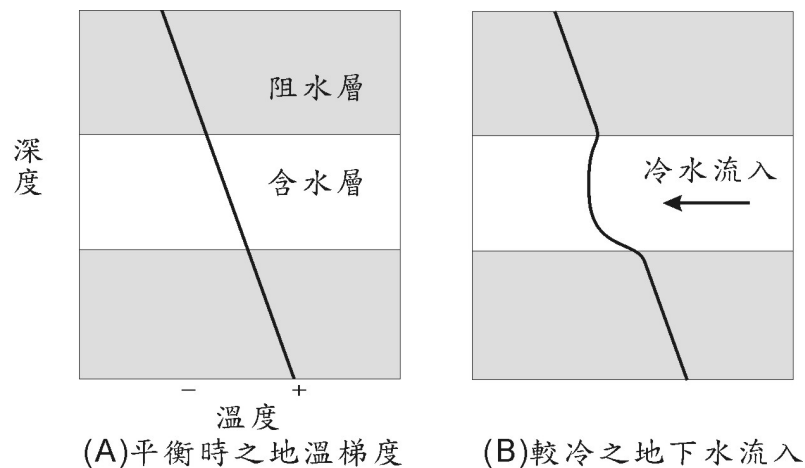


圖 1 地下水水平流動對地溫梯度的影響

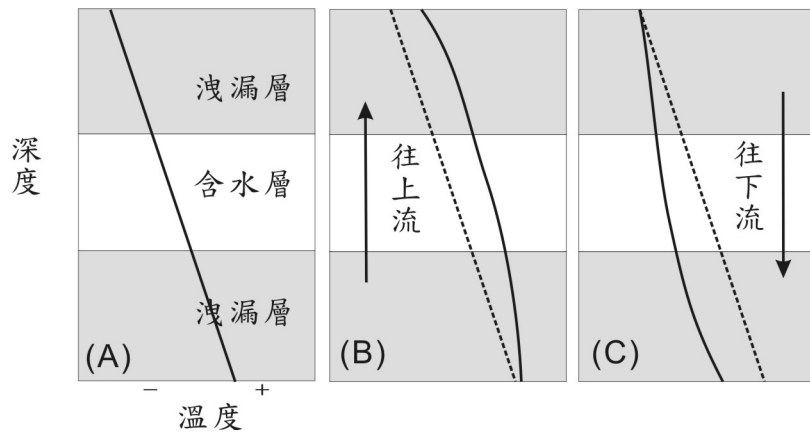


圖 2 地下水垂直流動對地溫梯度的影響 (A) 平衡時之地溫梯度；(B) 地下水往上流動；(C) 地下水往下流動。虛線為原地溫梯度，實線為受地下水流動影響之地溫梯度。

另外也可利用井孔溫度，反推過去的地表面溫度。地表面溫度為地面之土壤表面所量測的溫度，與氣溫並不相同，地表面溫度代表比較局部的溫度（例如數百公尺內），受日照、植被、氣溫、地形、水文等影響；而氣溫起因於大氣的流動，相對代表較廣的溫度，可能達數公里。地表面溫度與氣溫通常具有相同的變化趨勢，因此研究井孔溫度，以回推過去的地表面溫度變化，可代表某種程度的過去氣候變化（Pollack et al., 1998; Huang et al., 2000; Pollack and Huang, 2000; Taniguchi et al., 2003）。近百年來的全球暖化及都市開發的熱島效應，造成許多地區上部 70m 的井孔溫度顯著上升（Taniguchi et al., 1999; Stevens et al., 2008; Yamano et al., 2009）。

然而學界對於台灣的地下水溫及井溫研究仍少（江協堂等，2008），2009 年執行國科會的計畫，調查礁溪地區的溫度分布，發現該地的地下水溫受到地下水流動影響較大（陳文福等，2012）。2010 年執行地調所研究案，調查濁水溪地區的地下水溫，發現沖積扇的地下水溫，在扇頂、扇央及扇尾有不同的分布，扇頂的垂直井溫剖面，常呈現零或負的地溫梯度，扇尾的地溫梯度則較正常，因為扇頂的含水層沒有泥層阻隔，地下水流容易上下流動，所以地溫梯度為零（即上下溫度相同），而扇尾有許多泥層分隔，所以主要由下方往上傳熱，有正常地溫梯度。但也發現許多井的上部有溫度增加的趨勢，可能和全球暖化及都市化有關。2011 年至 2012 年則利用河床的熱傳性質，以溫度法來推算河水入滲率（陳文福等，2012；Chen et al.,

2013)。2012 年國科會補助的屏東地區地溫量測發現地溫分布受到地下水流動及地面暖化的影響。

溫度及熱傳是地下水研究的重要參數之一，但在台灣的研究仍相當少，未來希望能建立全台的不同時間的地溫分布數據，以了解地下水的流動及地溫變遷等問題。因高雄地區尚未有井溫的量測數據，本年度計畫調查高雄地區觀測井之井孔溫度，以了解該地區的地溫分布、地溫梯度、水流狀態及是否有變暖的趨勢，以評估台灣南部地下水流場及受到全球暖化或都市化的影響程度。

二、研究方法

井孔溫度之量測方法，使用美國 In-situ 公司 Troll 200 測棒（圖 3），進入地下水面後，每間隔 4m 測量一點水溫數據，每點停留至少 2min，因每點溫度同時有水壓數據，即可換算該井深的溫度。量測時由上往下量一次，第一點需停留 10min 以上，以待測棒與地下水之間溫度達到平衡。本研究使用地下水觀測井，其開篩不長，約 6-24m，且都位於底部，大都位於單一含水層，因此比較不會有多層水流互相流動的問題。含水層中的地下水沿著開篩段流入井內，達到與含水層水壓平衡的高度，形成一井內的地下水面，此井內水柱原先的溫度為該含水層的溫度，但靜置一段時間後，應漸漸與周圍井管及地層溫度平衡，因此能代表周圍的地溫（圖 4）。



圖 3 美國 In-situ Troll-200 水壓、水溫及導電度自記測棒

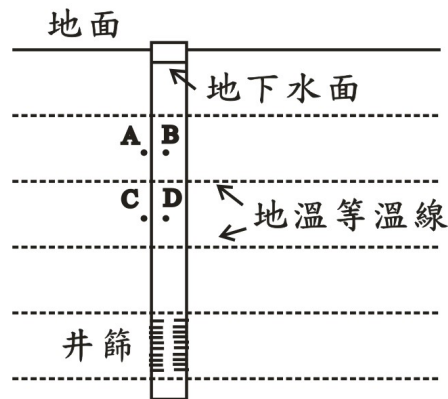


圖 4 井內水溫量測點(B 或 D)假設與井外地溫達平衡(A 或 C)

美國 In-situ troll 200 為水壓、導電度與溫度三合一自記式測棒。溫度量測範圍 $-20-80^{\circ}\text{C}$ 、準確度 0.1°C 、解析度 0.01°C ；壓力量測範圍可達 350m 水壓、準確度 0.1% (相當於 2cm)、解析度 0.005% (1mm)。水溫確認方式為比對標準溫度計的讀數，誤差需在 0.1°C 內，超過此值，需送回原廠校正。

經濟部水利署在高雄地區共建有地下水觀測站 18 站 (表 1 及圖 5)，分層觀測井 33 口，最深的井約 268m。建井的深淺是因為泥質岩盤的深淺，例如依仁井在約 40m 即遭遇岩盤，因此建井只有 40m(圖 6)。本研究選擇每站中最深的觀測井量測井孔溫度，地下水觀測井大都為 6 吋井，材質為不銹鋼，純為觀測用，都沒有抽水，井內放置觀測儀器 (自記式水位計)，作井孔溫度量測時，需先將儀器拉出井外，以防兩者纏繞。

表 1 高雄地區之地下水觀測站

	井名	濾管起點 m	濾管終點 m	靜水位(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	港和(一)	9	21	3.71	181115	2496876	4.867
2	港和(二)	85	109	4.45	181115	2496876	4.867
3	港和(三)	250	262	5.08	181115	2496876	4.867
4	鹽埕(一)	12	30	1.95	175455	2502843	1.862
5	鹽埕(二)	66	84	2.04	175455	2502843	1.862
6	鹽埕(三)	209	218	3.86	175455	2502843	1.862
7	楠梓(一)	10	22	8.56	177427	2513471	17.928
8	大社(一)	10	16	6.3	182092	2514922	19.647
9	五林(一)	13	25	6.27	176492	2518109	6.457
10	五林(二)	146	182	11.13	176492	2518109	6.457
11	五林(三)	193	217	11.48	176492	2518109	6.457
12	彌陀(一)	6	15	6.46	171934	2520806	4.763
13	永華(一)	18	27	5.17	169602	2524146	2.499
14	岡山(一)	4	16	8.93	174127	2524521	12.049
15	興達(一)	38	84	5.9	167211	2529042	4.453
16	興達(二)	155	164	7.69	167211	2529042	4.453
17	竹滬(一)	10	34	10.66	170225	2529569	8.878
18	竹滬(二)	108	126	10.5	170225	2529569	8.878
19	竹滬(三)	196	220	11.01	170225	2529569	8.878
20	一甲(一)	11	23	4.54	174293	2530775	22.985
21	阿蓮(一)	13	28	11.01	180207	2531773	26.942
22	阿蓮(二)	155	185	21.14	180207	2531773	26.942
23	成功(一)	20	72	3.45	165647	2532244	1.567
24	成功(二)	140	149	7.61	165647	2532244	1.567
25	依仁(一)	10	34	10.68	173425	2535088	14.811
26	省躬(一)	42	66	2.78	165010	2537173	1.371
27	省躬(二)	225	237	7.15	165010	2537173	1.371
28	五甲(一)	6	40	17.8	181028	2540128	47.634
29	五甲(二)	145	163	17.22	181028	2540128	47.634
30	仁和(一)	12	30	3.59	169371	2540268	21.769
31	仁德(一)	30	48	26.67	172778	2540570	9.47
32	仁德(二)	130	151	10	172778	2540570	9.47
33	仁德(三)	207	219	9.32	172778	2540570	9.47

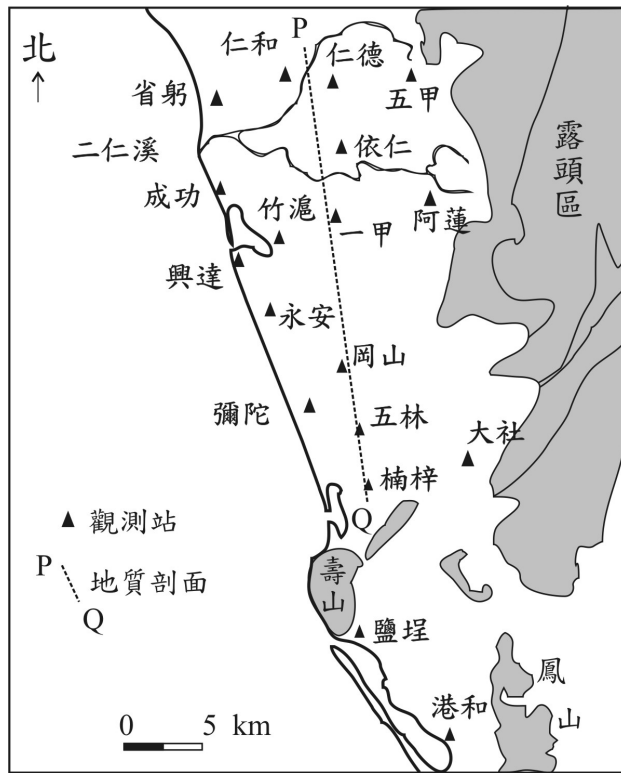


圖 5 高雄地區地下水觀測井位置

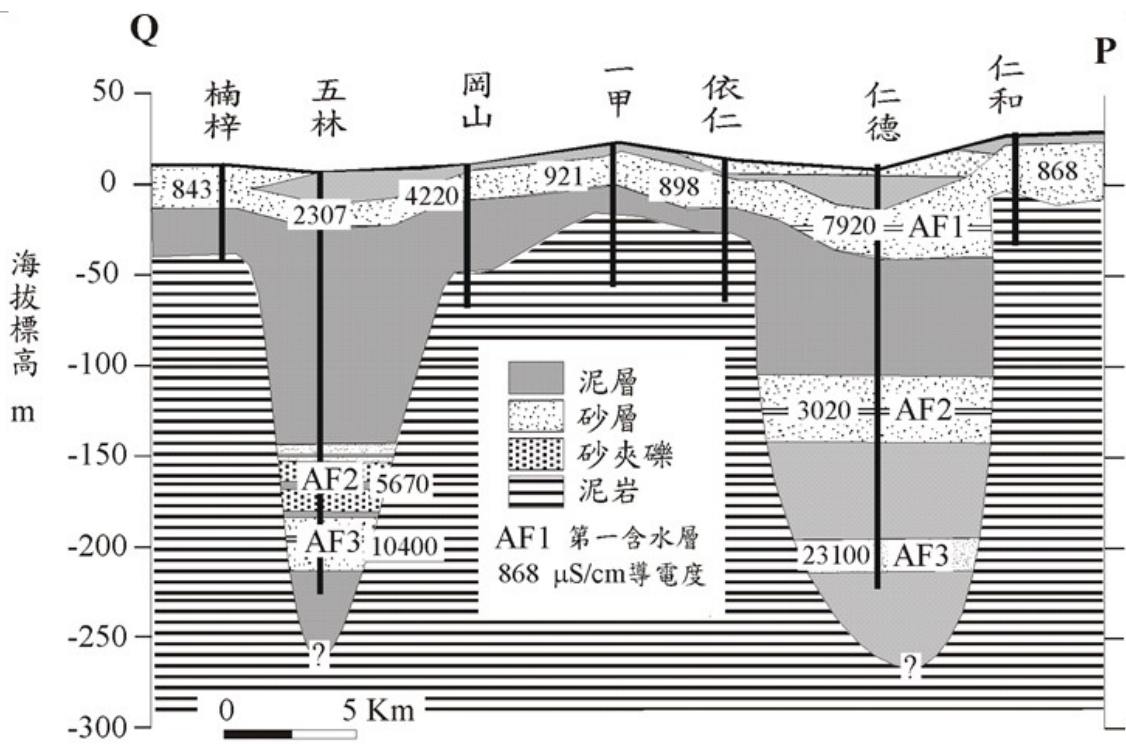


圖 6 高雄地區南北向水文地質剖面

數據分析的步驟：先將原始數據內差換算成間隔每一公尺的地溫，選擇地面下若干公尺深的地溫，繪製不同深度的等溫圖，藉以瞭解不同深度的地溫水平分布，以推測地下水的流向及異常的地溫分布點。

受地下水流動影響較小的井溫，可以用來推算地表溫度及其變化。若井溫明顯受到地表溫度變化的影響，先以較深部（大於 70m）地溫梯度區分為三種狀態：(1) 正值地溫梯度，溫度往深部漸增；(2) 地溫梯度為零，溫度往深部不變；(3) 負值地溫梯度，溫度往深部漸減（圖 7）。根據下式求出平均地表面溫度 T_a (mean ground surface temperature) 及地溫梯度 G ：

$$T(z) = T_a + GZ \quad \text{公式 1}$$

$T(z)$ 為實測的溫度-深度迴歸線， Z 為深度 ($Z > 70\text{m}$)。

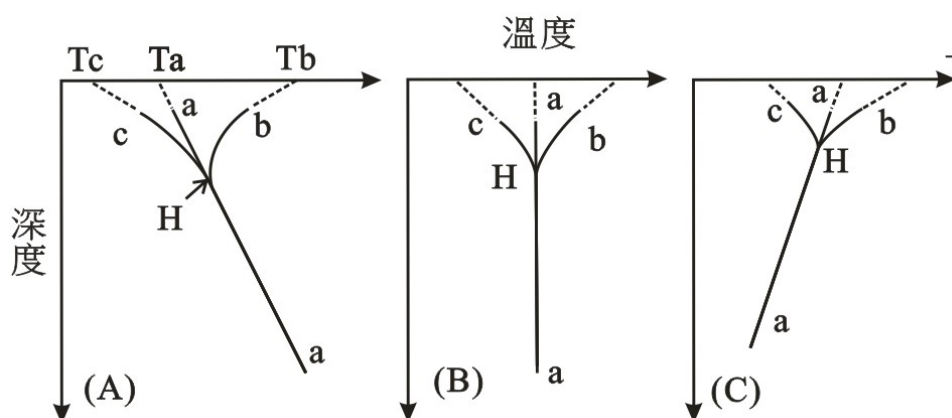


圖 7 以較深部 aH 段的地溫梯度分三類：(A) 正值地溫梯度，溫度往深部漸增；(B) 地溫梯度為零，溫度往深部不變；(C) 負值地溫梯度，溫度往深部漸減；Ha 線段為該地溫梯度保持不變，可推算地表面溫度，Hb 線段為變暖趨勢，Hc 線段為變冷趨勢。

每一類的地溫梯度依上部 (0-70m) 的溫度曲線可再分成三種：(1) 無變暖或變冷；(2) 變冷；(3) 變暖。以 Hb 線的延伸即可得現今平均地表面溫度 T_b (current mean ground surface temperature)，圖 7 中虛線的部分，為井孔中地下水水位線以上，空氣部分的溫度量測較不準（因空氣比熱小及黏滯性小較易受擾動），故此段無數據，需以水位線下的數據外插得之（Eppelbaum et al., 2006）。 T_b 減去 T_a 即是因暖化所增加的溫度。

進行變暖趨勢分析的井，需選取沒有或較少受地下水干擾，並且呈現向上變暖的井，如圖 7 的 ab 線。先求出 H 點—即地溫梯度正負值交接處，此點的地溫梯度為零，再沿 aH

方向外插求得 T_a ，此時的 T_a 為始初地表溫度 (initial ground surface temperature)；再沿 H_b 線外插，可求出 T_b —現今地表溫度 (current ground surface temperature)， T_b 減去 T_a 即是地表在增溫時間 (duration time, t^*) 所增加的溫度 ΔT (warming magnitude)。

$$\Delta T = T_b - T_a \quad \text{公式 2}$$

增溫時間 (t^*) 為現在年度 (例如 2014 年的測量數據) 減去開始增溫的年度 t_0 (onset year)，如下式 (單位為年)：

$$t^* = 2014 - t_0 \quad \text{公式 3}$$

增溫時間 (t^*) 可由公式 4 求得。假設井孔溫度僅受到地面溫度及深度熱傳導的影響，沒有地下水對流的影響，如下式。

$$(\kappa/\rho c)\nabla T = \partial T/\partial t \quad \text{公式 4}$$

κ 為地層熱傳導係數、 ρc 為地層的比重及比熱、 T 為溫度、 t 為時間。假設地層的熱傳導係數已知，並給予適當的邊界條件及始初條件，由已知的溫度/深度曲線，可求得時間 t 。本研究假設增溫的過程為平均增溫，即每一年的增溫幅度都一樣 (圖 8)。

本研究使用自行開發的數值解熱傳導的微分方程式 (公式 4)，為了測試數值程式的可靠性，採用文獻中的數據來驗證。根據 Roy and Chapman (2012) 的數據，增溫時間為 80 年、增加溫度為 1.7°C ，本研究的程式解與原始數據的方均根 (root mean square) 為 0.001°C ，因為量測值的準確度為 0.1°C ，而此誤差已小於準確度，所以本程式的計算結果應可接受 (圖 9)。

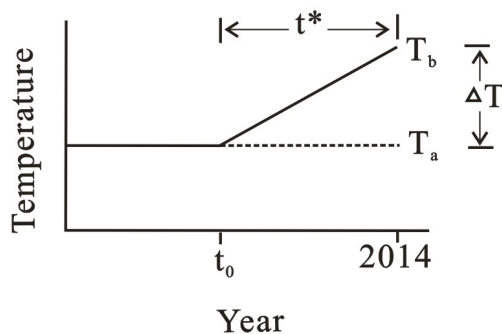


圖 8 變暖趨勢假設為平均增加

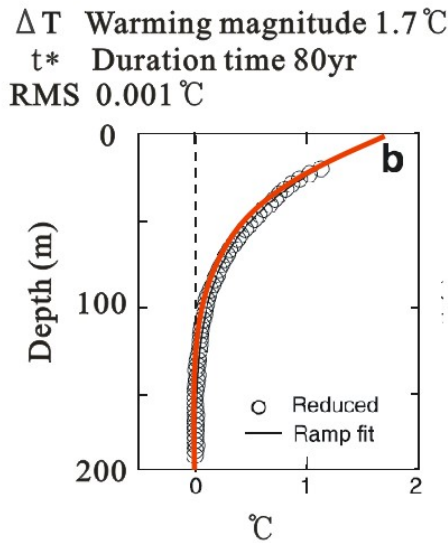


圖 9 使用文獻中的數據來進程式驗證(Roy and Chapman, 2012)，圓圈為數據、
曲線為本研究程式計算結果

三、結果與討論

高雄地區 18 口觀測井之井孔溫度剖面量測，於 105 年 12 月完成(表 2)，淺於 50m 的井有 8 口、其餘 10 口都大於 50m，最深的井為港和，達 268m，最淺的井為彌陀，只有 21m。18 口井中，大都呈現上段變暖，只有 2 口井沒有上段變暖(圖 10)。不同深度地溫之水平分布如圖 11，顯示以五甲站的溫度最低，80m 深的溫度約 25.33°C ，推測補注來自地面水，例如二仁溪，因為發源自東邊的山區，所以河水溫度較低。往西邊海測，受到地溫加熱，溫度漸漸升高，最高溫為省躬，深度 250m 達 33°C 。由地溫趨勢推測補注區的位置與由地下水水位推測的流向一致(表 3 及圖 12)，地下水流向大致由山區向海邊移動，其中又以五甲的水位最高，達海拔 39.4m，漸往海邊水位漸漸下降，以成功站最低，水位只有 -1.8m，此井水位低於海水面，表示有人為的抽水。

表 2 垂直井溫量測日期

項次	站名	井號	日期	時間	備註(井深/水位)
1	依仁	一	105/12/07	09:35~10:15	40(7.13)
2	仁德	三	105/12/07	10:44~12:22	233(2.74)
3	省躬	二	105/12/07	13:43~15:23	243(1.73)
4	岡山	一	105/12/08	08:05~08:38	22(3.49)
5	大社	一	105/12/08	09:22~09:54	22(4.93)
6	楠梓	一	105/12/08	10:17~11:30	28(6.98)
7	彌陀	一	105/12/08	12:05~12:38	21(0.90)
8	興達	二	105/12/08	13:32~15:00	168(4.55)
9	永華	一	105/12/08	15:29~16:03	33(3.35)
10	港和	三	105/12/09	08:12~09:58	268(1.62)
11	鹽埕	三	105/12/09	10:52~12:27	224(1.81)
12	五林	三	105/12/09	13:50~15:24	223(5.83)
13	一甲	一	105/12/09	15:54~16:30	29(1.31)
14	仁和	一	105/12/12	08:38~09:25	36(2.29)
15	五甲	二	105/12/12	09:55~11:28	169(8.16)
16	阿蓮	二	105/12/12	12:05~14:05	191(18.74)
17	竹滬	三	105/12/12	14:10~15:50	226(5.83)
18	成功	二	105/12/13	08:20~09:46	155(3.41)

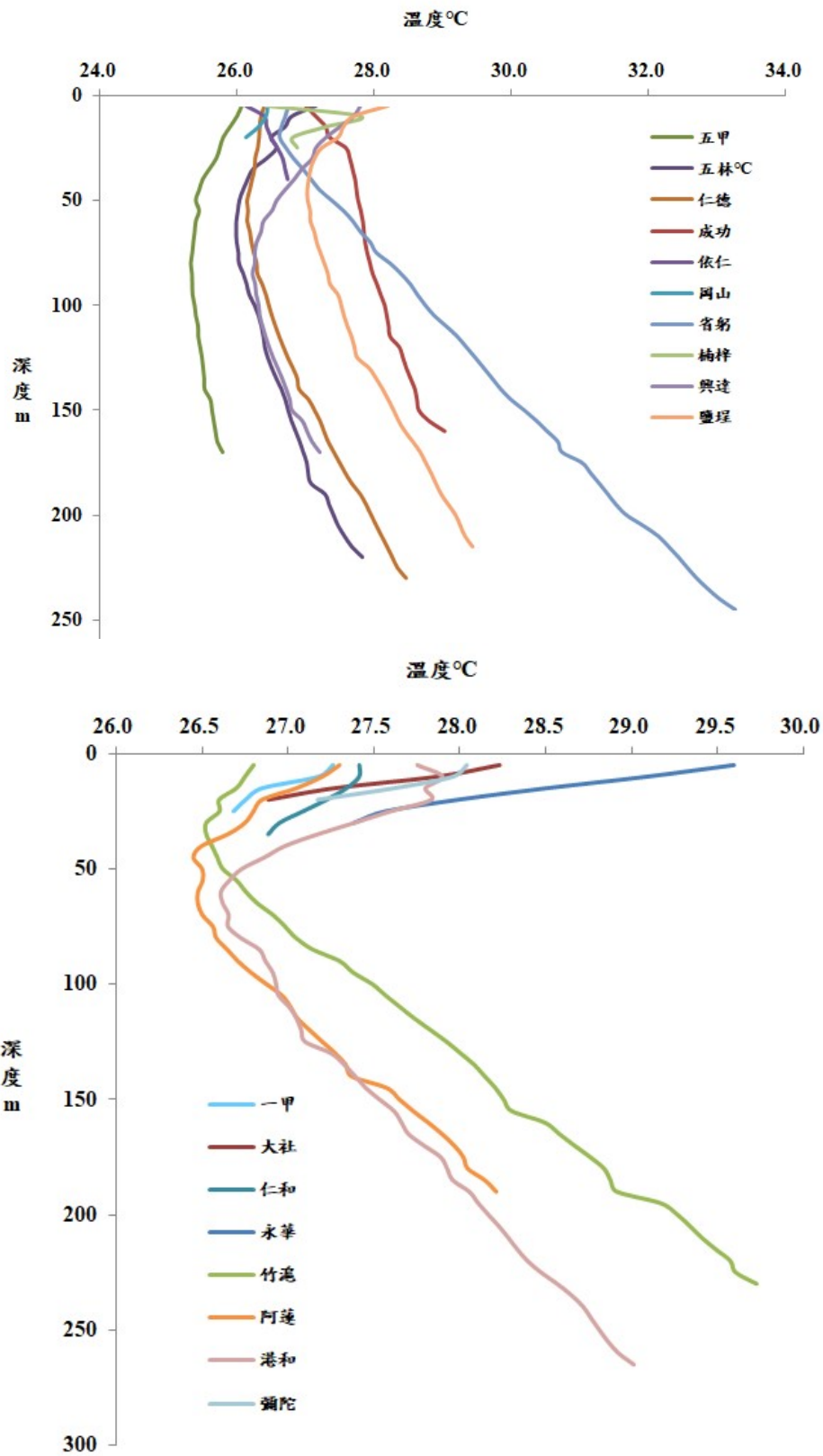


圖 10 高雄地區垂直井溫

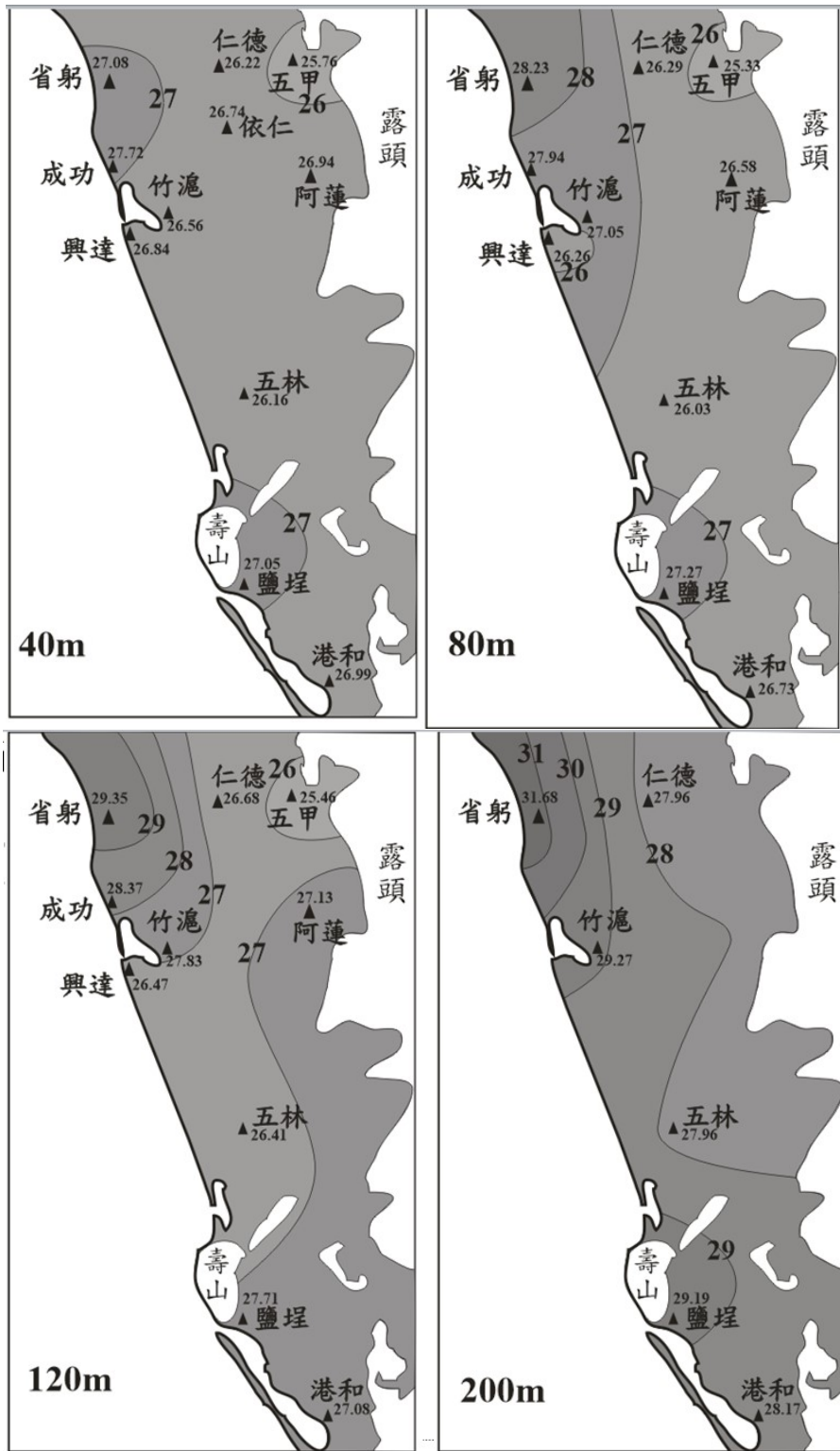


圖 11 不同深度之地溫水平分布

表 3 量測井之地下水水位(105 年 12 月)

井名	水位-距井口(m)	井口高程(m)	水位-海拔高程(m)
港和(三)	1.62	4.867	3.247
鹽埕(三)	1.81	1.862	0.052
楠梓(一)	6.98	17.928	10.948
大社(一)	4.93	19.647	14.717
五林(三)	5.83	6.457	0.627
彌陀(一)	0.9	4.763	3.863
永華(一)	3.35	2.499	-0.851
岡山(一)	3.49	12.049	8.559
興達(二)	4.55	4.453	-0.097
竹滬(三)	5.83	8.878	3.048
一甲(一)	1.31	22.985	21.675
阿蓮(二)	18.74	26.942	8.202
成功(二)	3.41	1.567	-1.843
依仁(一)	7.13	14.811	7.681
省躬(二)	1.73	1.371	-0.359
五甲(二)	8.16	47.634	39.474
仁和(一)	2.29	21.769	19.479
仁德(三)	2.74	9.47	6.73



圖 12 地下水等水位線及推測流向(105 年 12 月)

如果有上段變暖的現象，在反折點以上地溫梯度為負值，反折點以下地溫梯度才為正值(圖 13)，地溫梯度以每 5 m 計算一次，在加總後取平均值。本研究區反折點以下的地溫梯度如表 4，大部分的井地溫梯度介於 1.1 至 1.6 °C/100m 之間，只有 2 口井異常，五甲井偏低—0.5 °C/100m，省躬偏高—3.2 °C/100m。五甲井的溫度也是全區最低的，推測位於補注區，而且地溫梯度偏低，推測應有垂直流，所以造成上下層的溫度相近。省躬井所在的區域，地下水位低於海平面，表示有人為抽水，有可能因為抽水造成深層地下水向上流，因此地溫梯度升高，但還需進一步研究再確認。

以地溫梯度直線延伸至地表的溫度稱為「推測地表面溫度」，以上段變暖的線段延伸至地面的溫度稱為「目前地表面溫度」，兩者的溫度差稱為「地表面溫度差」(表 4)。地表面溫度差為正值，表示近期地表面有變暖的現象，高雄地區 10 口深井中有 9 口都有變暖的現象，變暖的幅度約在 0.5 至 2.5°C，平均約 1.24°C/100yr，研究指出台灣地區百年來(1910-2010 年)的氣溫約上升約 1.4°C (Hsu et al., 2011)，所以高雄地區地表面溫度變暖的幅度和氣溫上升應該有密切關係。

至於何時開始變暖？和反折點深度有關，一般而言、反折點越深，代表開始的時間越早(圖 14)。9 口井中反折點最深為 85m、最淺約 20m。以深度回推變暖的開始時間，因為和地層熱參數及變暖速率有關，但是深度 85m 估計大約也是 100 年左右的時間開始變暖。

目前高雄地區地表面溫度大約介於 26.15 至 28.10°C，北邊稍低、南邊稍高，推測地表面溫度約 25.05 至 27.35°C，並沒有南北差異的趨勢，可能有東西差異(圖 15)。

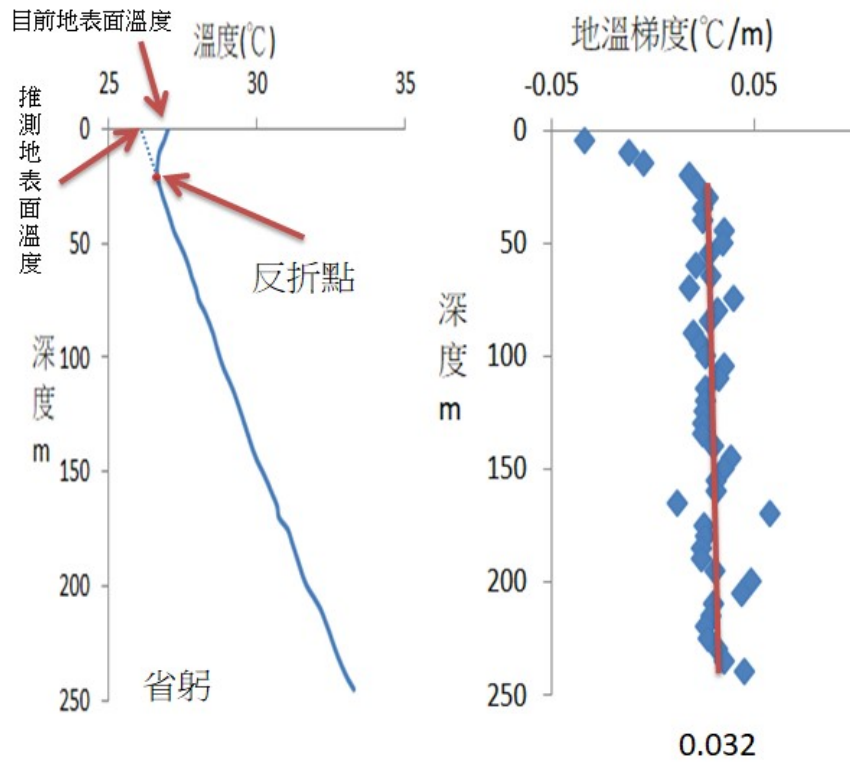


圖 13 省躬井之垂直井溫及地溫梯度

表 4 平均地溫梯度與地表面溫度

井名	推測地表面溫度(°C)	目前地表面溫度(°C)	地表面溫度差(°C)	反折點深度(m)	平均地溫梯度(°C/100m)
港和(三)	25.85	27.45	1.60	60	1.2
鹽埕(三)	26.30	28.10	1.80	45	1.4
五林(三)	25.30	27.25	1.95	65	1.2
興達(二)	25.50	28.00	2.50	85	1.1
竹滬(三)	26.05	26.90	0.85	35	1.6
阿蓮(二)	25.65	27.35	1.70	65	1.4
成功(二)	27.35	26.91	-0.44	20	1.3
省躬(二)	26.35	26.85	0.50	20	3.2
五甲(二)	25.05	26.15	1.10	80	0.5
仁德(三)	25.60	26.45	0.85	60	1.4

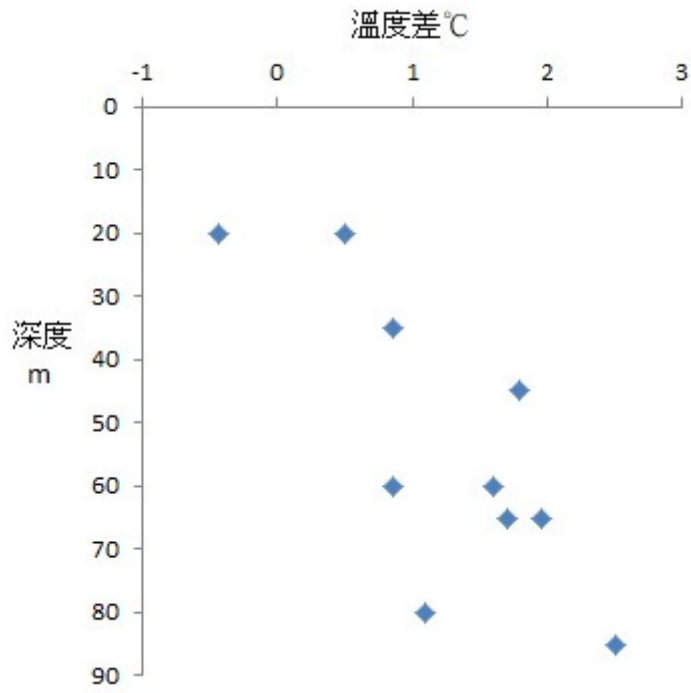


圖 14 地表面溫度差與反折點深度有正比關係

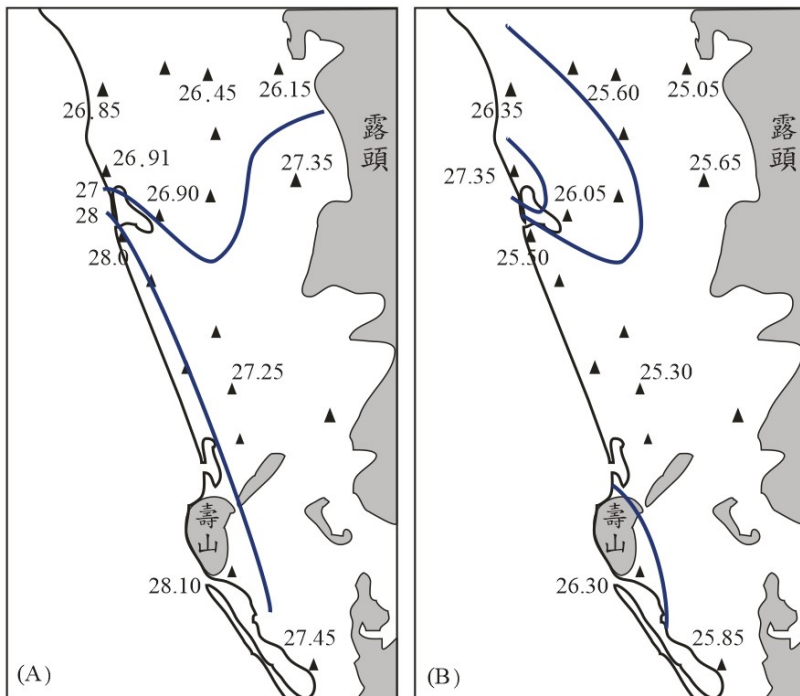


圖 15 (A)目前地表面溫度，(B)推測地表面溫度

四、結論

高雄地區 18 口觀測井之井孔溫度剖面量測，於 105 年 12 月完成，淺於 50m 的井有 8 口、其餘 10 口都大於 50m，最深的井為港和，達 268m，最淺的井為彌陀，只有 21m。18 口井中，16 口呈現上段變暖。

不同深度地溫之水平分布以五甲站的溫度最低，80m 深的溫度約 25.33°C，推測補注來自地面水，例如二仁溪，因為發源自東邊的山區，所以河水溫度較低。五甲井地溫梯度偏低，推測應有垂直流，所以造成上下層的溫度相近。往西邊海測，受到地溫加熱，溫度漸漸升高，最高溫為省躬，深度 250m 達 33°C。省躬井所在的區域，地下水位低於海平面，表示有人為抽水，有可能因為抽水造成深層地下水向上流，因此地溫梯度升高，但還需進一步研究再確認。

高雄地區 10 口深井中有 9 口都有變暖的現象，變暖的幅度約在 0.5 至 2.5°C，平均約 1.24°C/100yr，研究指出台灣地區百年來(1910-2010 年)的氣溫約上升約 1.4°C (Hsu et al., 2011)，所以高雄地區地表面溫度變暖的幅度和氣溫上升應該有密切關係。至於何時開始變暖？9 口井中反折點最深為 85m、最淺約 20m。以深度回推變暖的開始時間，因為和地層熱參數及變暖速率有關，但是深度 85m 估計大約也是 100 年左右的時間開始變暖。

參考文獻

- 江協堂、徐春田、張宏毅，2008，台灣東北部宜蘭平原淺部地熱水研究，*鑛冶*，52/2，112-121。
- 陳文福，張閔翔，陳瑞娥，陸挽中，黃智昭（2013）濁水溪扇頂河床入滲之初步研究：中央地質調查所彙刊，第 26 期，第 109-135 頁。
- 陳文福、呂學諭、劉聰桂（2012）礁溪溫泉之水質分布與變化：台灣水利，第 60 卷，第 3 期，第 86-99 頁。(EI)
- 陳文福、張閔翔、黃智昭、王詠絢、江崇榮（2012）利用溫度日變化推算河床入滲流速：農業工程學報，第 58 卷，第 4 期，第 67-79 頁。(EI)
- 陳文福、陳尉平、李孫榮、楊介良（2010）四重溪溫泉之水位與水溫變化：台灣水利，第 58 卷，第 2 期，第 95-107 頁。(EI)
- Anderson MP, 2005, Heat as a ground water tracer, *Ground Water* 43/6, 951-968.

- Bense V and Beltrami H, 2007, Impact of horizontal groundwater flow and localized deforestation on the development of shallow temperature anomalies, *Jour Geophysical Research* 112,
- Chen wenfu, CC Huang, MH Chang, PY Chang, and HY Lu (2013) The impact of floods on infiltration rates in a disconnected stream. *Water Resources Research*, 49, 1-13, doi:10.1002/2013WR013762. (SCI, IF-2012 3.149)
- Chen Wenfu, Chiang Hsietang (2016) Subsurface temperature trends in response to thermal water exploitation in the Jiashi Hot Spring, northeastern Taiwan. *Geothermics*, accepted. (SCI, IF-2013 2.86)
- Chi WC and Reed DL, 2008, Evolution of shallow, crustal thermal structure from subduction to collision: an example from Taiwan, *Geological Society of American Bulletin* 120, 679-690.
- Eppelbaum LV, Kutasov IM and Barak G, 2006, Ground surface temperature histories inferred from 15 boreholes temperature profiles: comparison of two approaches. *Earth Sci. Res. J.* 10/1, 25-34.
- Ferguson G, Beltrami H, Woodbury AD, 2006, Perturbation of ground surface temperature reconstructions by groundwater flow? *Geophysical Research Letters*, 33,
- Hsu HH, Chou C, Wu Y, Lu MM, Chen CT, Chen YM, 2011, Climate change in Taiwan: scientific report 2011 summary, National Science Council, Taipei, Taiwan, ROC, 67pp.
- Huang S, Pollack HN and Shen PY, 2000, Temperature trends over the past five centuries reconstructed from borehole temperatures, *Nature* 403, 756-758.
- Kataoka K, Matsumoto F, Ichiose T, Taniguchi M, 2009, Urban warming trends in several large Asian cities over the last 100 years, *Science of the Total Environment* 407, 3112-3119.
- Kohl, T, 1998, Palaeoclimatic temperature signals-Can they be washed out? *Tectonophysics* 291, 225-234.
- Kohl, T, 1999, Transient thermal effects below complex topographies, *Tectonophysics* 306, 311-324.
- Lin CH, 2000, Thermal modeling of continental subduction and exhumation constrained by heat flow and seismicity in Taiwan, *Tectonophysics* 324, 189-201.
- Menberg K, Blum P, Kurylyk BL, Bayer P, 2014, Observed groundwater temperature response to recent climate change. *Hydrology and Earth System Sciences* 2014, 18: 4453-4466, doi: [10.5194/hess-18-4453-2014](https://doi.org/10.5194/hess-18-4453-2014)
- Pollack HN, Huang S, Shen P, 1998, Climate change record in subsurface temperatures: a global perspective, *Science* 282, 279-281.
- Pollack HN and Huang S, 2000, Climate reconstruction from subsurface temperatures, *Annu. Rev. Earth Planet Sci.* 28, 339-365.
- Stevens MB, Gonzalez-Rouco JF, and Beltrami H, 2008, North American climate of the last millennium: underground temperatures and model comparison, *Jour Geophysical Research* 113,
- Taniguchi M, Shimada J, Tanaka T, Kayane I, Sakura Y, Shimano Y, Dapaah-Siakwan S, and Kawashima S, 1999, Disturbances of temperature-depth profiles due to surface climate

change and subsurface water flow; 1. An effect of linear increase in surface temperature caused by global warming and urbanization in the Tokyo metropolitan area, Japan. *Water Resources Research* 35/5, 1507-1517.

Taniguchi M, Shimada J, Uemura T, 2003, Transient effects of surface temperature and groundwater flow on subsurface temperature in Kumamoto Plan, Japan. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 28, 477-486.

Verdoya M, Chiozzi P, Pasquale V, 2007, Thermal log analysis for recognition of ground surface temperature change and water movements, *Climate Past* 3, 315-324.

Yamano M, Goto S, Miyakoshi A, Hamamoto H, Lubis RF, Monyrath V, and Taniguchi M, 2009, Reconstruction of the thermal environment evolution in urban areas from underground temperature distribution, *Science of the Total Environment* 407, 3120-3128.

科技部補助專題研究計畫出席國際學術會議心得報告

日期:106年8月30日

計畫編號	MOST 105-2116-M-041 -001 -		
計畫名稱	高雄地區地溫之量測與研究		
出國人員姓名	陳文福	服務機構及職稱	嘉南藥理大學 副教授
會議時間	106年4月24-28日	會議地點	奧地利維也納
會議名稱	2017 歐洲地科年會 (European Geoscience Union 2017)		
發表題目	熱帶地區沖積扇之地下溫度分布 Subsurface temperature distribution in a tropical alluvial fan		

一、參加會議經過

4/22-23 (六日) 啟程往奧地利維也納

4/24-25 (一二) 報到、參加會議；

4/26 (三) 發表論文

4/27-28 (四五) 繼續參加會議

4/29-30 (六日) 搭機返台灣

二、與會心得

歐洲地球科學學會是重要的地球科學組織之一，參加 2017 年會的人數約達 14000 多人，來自 107 國，論文有 4849 口頭報告、11312 壁報，參予國家別以德國人數最多(2356 人)，台灣第 15 名(248 人)，次於中國及南韓，但多過日本（表 1）。此會議涵蓋的題目很廣，有 22 個領域子題(session)，共發表一萬六千多篇論文，我比較感興趣的科目為水文學 Hydrological Science（表 2），水文學底下又有 12 個分組(表 3)。

表 1 各國參予的人數

Germany	2.356
United Kingdom	1.297
France	1.080
United States	944
Italy	936
China	750
Austria	704
Switzerland	668
Netherlands	455
Spain	443
Norway	339
Korea, Republic Of	309
Russian Federation	307
Belgium	250
Taiwan	248
Sweden	244
Japan	224
Canada	222
Poland	213
Australia	194

表 2 大會分為 22 個領域

Disciplinary Sessions

- Atmospheric Sciences (AS)
- Biogeosciences (BG)
- Climate: Past, Present, Future (CL)
- Cryospheric Sciences (CR)
- Earth Magnetism & Rock Physics (EMRP)
- Energy, Resources and the Environment (ERE)
- Earth & Space Science Informatics (ESSI)
- Geodesy (G)
- Geodynamics (GD)
- Geosciences Instrumentation & Data Systems (GI)
- Geomorphology (GM)
- Geochemistry, Mineralogy, Petrology & Volcanology (GMPV)
- Hydrological Sciences (HS)
- Natural Hazards (NH)
- Nonlinear Processes in Geosciences (NP)
- Ocean Sciences (OS)
- Planetary & Solar System Sciences (PS)
- Seismology (SM)
- Stratigraphy, Sedimentology & Palaeontology (SSP)
- Soil System Sciences (SSS)
- Solar-Terrestrial Sciences (ST)
- Tectonics & Structural Geology (TS)

表 3 水文學有 12 個分組

HS – Hydrological Sciences

- ▣ HS1 – General Hydrology
- ▣ HS2 – Catchment hydrology
- ▣ HS2.1 – General Catchment Hydrology
- ▣ HS2.2 – Catchment hydrology in selected climates and world regions
- ▣ HS2.3 – From observations to concepts to predictions (in Catchment hydrology)
- ▣ HS2.4 – Hydrological change: detection and prediction (in Catchment hydrology)
- ▣ HS3 – Hydroinformatics
- ▣ HS4 – Hydrological Forecasting
- ▣ HS5 – Water Management, Operations and Control
- ▣ HS6 – Remote Sensing and Data Assimilation
- ▣ HS7 – Precipitation and Climate
- ▣ HS8 – Subsurface Hydrology
- ▣ HS8.1 – Subsurface Hydrology – General sessions
- ▣ HS8.2 – Subsurface Hydrology – Groundwater
- ▣ HS8.3 – Subsurface Hydrology – Vadose zone hydrology
- ▣ HS9 – Erosion, sedimentation and river processes
- ▣ HS10 – Ecohydrology, Wetlands and Estuaries
- ▣ HS11 – Co-organized sessions
- ▣ HS12 – Short Courses in Hydrological Sciences
- ▣ SSE – Special scientific events

我這次參加的分組為水文學 HS823 與能源環境 ERE67 的小組，熱與力學作用能源儲存於孔隙及裂隙含水層(HS8.2.3/ERE6.7 Thermal and mechanical processes and energy storage in porous and fractured aquifers)，召集人 Peter Bayer。本分組主要的研究主題為地下熱的傳播與儲存，研究者來自歐洲各國及其他國家，例如來自荷蘭的 Bense 教授發表的論文 Subsurface warming across the Veluwe area (Netherlands) driven by climate change, urbanisation, groundwater abstraction and aquifer energy storage (氣候變遷、都市化、地下水抽用及含水層熱儲存導致的荷蘭 Veluwe 地區地下暖化)。和我的研究主題接近，可見近年各國都有類似的問題。

2009 年執行國科會的計畫，調查礁溪地區的觀測井溫度分布，發現該地的地下水溫受到地下水流動影響較大（陳文福等，2012），較完整的結果已投稿到 geothermics 期刊，已於 2015 年 12 月 29 日被接受(Chen and Chiang, 2016)。

2010 年執行地調所研究案，調查濁水溪地區觀測井的地下水溫，發現三點現象：(1)沖積扇許多井的上部有溫度增加的趨勢，可能和全球暖化及都市化有關。(2)扇頂的井常呈現零或負的地溫梯度，因為含水層沒有泥層阻隔，地下水流容易上下流動，所以地溫梯度為零（即上下溫度相同），(3)扇尾的地溫梯度則較正常，因有許多泥層分隔，所以主要由下方往上傳熱，有正常地溫梯度。

2012-2013 年國科會補助的屏東地區地溫量測共 48 口井，也發現向上變暖的井高達 40 口。2014 年科技部補助之嘉南地溫量測共 48 口井，也發現向上變暖的井高達 40 口。以上研究成果正進行整理投稿國內外期刊。2015-2016 科技部計畫，再度調查彰雲地區地溫，希望可以確認上次 2010 年發現的現象，另外藉由兩次地溫變化(2010-2015)，也可計算地下水的流速及上部地溫變化的速率。此次會議即報告研究的初步結果，也和各國同一主題的研究者交換研究心得。

溫度及熱傳是地下水研究的重要參數之一，但在台灣的研究仍在起步階段，未來希望能建立全台的地下水溫度(地溫)、地溫梯度等數據，經由多年多次量測，以了解地下水的流動及地表地溫變遷等問題，也經由參加國際會議的機會了

解其他各國的研究現況。



圖 1：於海報前留影



圖 2：會場--國際會議中心

三、發表論文摘要

Subsurface temperature distribution in a tropical alluvial fan

Wen-fu Chen¹, Minhsiang Chang², Juier Chen², Wanchung Lu², Chih C Huang²,
Yunshuen Wang²

1. Chia Nan University, Tainan, Taiwan.

2. Central Geological Survey Taiwan, Taipei, Taiwan.

As a groundwater intensive use country, Taiwan's 1/3 water supplies are derived from groundwater. The major aquifers consist of sand and gravel formed in alluvial fans which border the fronts of central mountains. Thanks to high density of monitoring wells which provide a window to see the details of the subsurface temperature distribution and the thermal regime in an alluvial fan system. Our study area, the Choshui Alluvial Fan, is the largest groundwater basin in Taiwan and, located within an area of 2,000 km², has a population of over 1.5 million. For this work, we investigated temperature-depth profiles using 70 groundwater monitoring wells during 2000 to 2015. Our results show that the distribution of subsurface temperature is influenced by various factors such as groundwater recharge, groundwater flow field, air temperature and land use. The groundwater recharge zone, hills to the upper fan, contains disturbed and smaller geothermal gradients. The lack of clay layers within the upper fan aquifers and fractures that developed in the hills should cause the convection and mixing of cooler recharge water to groundwater, resulting in smaller geothermal gradients. The groundwater temperatures at a depth to 300 m within the upper fan and hill were approximately only 23-24 °C while the current the mean ground surface temperature is approximately 26 °C.

四、建議

參加 EGU 能見到許多科學家孜孜不倦的作研究，親身參予歐洲最大的地球科學集會，能見到許多研究的最新發展，對我自己的研究及教學都有很大的幫助，希望科技部仍能持續補助科學家參加會議。

五、攜回資料

EGU 會議的議程及論文都已公開上網，並未帶回紙本論文集。

105年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：陳文福			計畫編號：105-2116-M-041-001-				
計畫名稱：高雄地區地溫之量測與研究							
成果項目			量化	單位	質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)		
國內	學術性論文	期刊論文		0	篇		
		研討會論文		0			
		專書		0	本		
		專書論文		0	章		
		技術報告		0	篇		
		其他		0	篇		
	智慧財產權及成果	專利權	發明專利	申請中	0	件	
				已獲得	0		
			新型/設計專利		0		
		商標權		0			
		營業秘密		0			
		積體電路電路布局權		0			
		著作權		0			
		品種權		0			
		其他		0			
	技術移轉	件數		0	件		
		收入		0	千元		
	國外	學術性論文	期刊論文		0	篇	
			研討會論文		1		準備參加2018歐洲地球科學年會發表
			專書		0	本	
專書論文			0	章			
技術報告			0	篇			
其他			0	篇			
智慧財產權及成果		專利權	發明專利	申請中	0	件	
				已獲得	0		
			新型/設計專利		0		
		商標權		0			
		營業秘密		0			
		積體電路電路布局權		0			
		著作權		0			
		品種權		0			
其他		0					

	技術移轉	件數	0	件	
		收入	0	千元	
參與計畫人力	本國籍	大專生	0	人次	
		碩士生	0		
		博士生	0		
		博士後研究員	0		
		專任助理	0		
	非本國籍	大專生	2		參予實驗準備現地作業
		碩士生	2		參予實驗準備現地作業
		博士生	0		
		博士後研究員	0		
		專任助理	0		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)					

科技部補助專題研究計畫成果自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現（簡要敘述成果是否具有政策應用參考價值及具影響公共利益之重大發現）或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以100字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形（請於其他欄註明專利及技轉之證號、合約、申請及洽談等詳細資訊）

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以200字為限）

高雄地區10口深井中有9口都有變暖的現象，變暖的幅度約在0.5至2.5°C，平均約1.24°C/100yr，研究指出台灣地區百年來(1910-2010年)的氣溫約上升約1.4°C，所以高雄地區地表面溫度變暖的幅度和氣溫上升應該有密切關係。9口井中反折點最深為85m、最淺約20m。以深度回推變暖的開始時間，因為和地層熱參數及變暖速率有關，但是深度85m估計大約也是100年左右的時間開始變暖。

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性，以500字為限）

高雄地區10口深井中有9口都有變暖的現象，變暖的幅度約在0.5至2.5°C，平均約1.24°C/100yr，研究指出台灣地區百年來(1910-2010年)的氣溫約上升約1.4°C (Hsu et al., 2011)，所以高雄地區地表面溫度變暖的幅度和氣溫上升應該有密切關係。9口井中反折點最深為85m、最淺約20m。以深度回推變暖的開始時間，因為和地層熱參數及變暖速率有關，但是深度85m估計大約也是100年左右的時間開始變暖。

4. 主要發現

本研究具有政策應用參考價值： 否 是，建議提供機關經濟部，
（勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關）

本研究具影響公共利益之重大發現： 否 是

說明：（以150字為限）