

## 陽明山溫泉地熱能源的利用

### 計畫的目的：

我們預備選擇幾個溫泉區裝置熱導管，在遊客較多的地方做一些地熱能源利用的例子，達到教育、觀光及節省電費的目的。

### 執行計畫的步驟：

1. 勘察適當的地點：  
選擇的地點分為：熱點即溫泉區或地熱區及冷點即遊客區；必須考慮導熱管鋪設及維護的難易度。
2. 施工：  
包括初期現場的測量及藍圖的設計等，實際的工程以簡單為考量。
3. 導熱管的測試及設計地熱利用的展示品。
4. 撰寫解釋看板的內容。
5. 建立陽明山地區地熱地理資訊系統(GeoThermal-GIS)

### 參與計畫的人員：

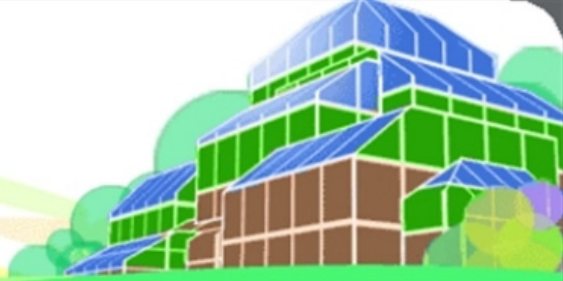
1. 教師  
中央研究院物理所 陳洋元博士  
東吳大學物理系 蕭先雄博士  
陳秋民博士  
吳恭德博士
2. 專家顧問(暫訂)  
喬集偉斯特風力發電股份有限公司 黃宏基總經理
3. 研究助理及助教  
洪圖均先生  
蔡長榮先生  
曾銘志先生
4. 學生  
修習‘能源科技與永續經營’課的同學。
5. 工讀生  
熊德智同學  
有興趣的同學，但必須協助第一線的工作。

### 計畫內容：

#### (一)背景資料

#### 能源問題與溫室效應是21世紀要面對的重大危機

科學家與民眾們發現溫室效應的後果，已經發生在我們的四周，即便是遵循京都議定書規



範，努力減少溫室氣體的排放，預估溫室效應仍將在未來的一個世紀裡持續著。

石油是上個世紀主要的能源，但是因為溫室效應與石油的短缺，尋找新的替代能源變的刻不容緩。地球上主要的能源來自於太陽能，但因為效率與空間的限制讓可用的太陽能遠低於人類每日所需。因此，尋找新的替代能源已是勢在必行。

過去數十年，溫差發電已成為快速發展的研究領域（這裡所指的溫差發電乃是利用自然環境中，不須耗費燃料即已存有之溫度差所發的電）。本計劃的重點之一就是要探討如何使用地熱從事溫差發電的原理與技術，利用地熱與周圍環境產生的溫差來發電。政府目前很重視這個研究領域，由經濟部能源局在二零零五年九月八日舉辦的國際地熱研討會就是例子。臺灣的地熱蘊藏量預估至少超過500 MW 以上。這個部份，我們將著重於開發出更具效率的熱傳導技術，也就是熱導管之應用。熱導管可以在各種嚴苛的環境下（如高腐蝕性酸性溫泉、地下無水乾熱岩型地熱等），將地熱傳送到地表以為發電所需。

我們相信，有效使用周遭環境中所蘊藏的的再生能源，是防止溫室效應與應付能源危機的重要解決方案。

表三:世界上地熱、風力、太陽能和潮汐發電等四種替代能源統計表

	Installed Capacity		Production Per Year	
	MWe	%	GWh/y	%
Geothermal	6,456	61	37,976	86
Wind	3,517	33	4,878	11
Solar	366	3	897	2
Tidal	261	3	601	1
Total	10,600		44,352	

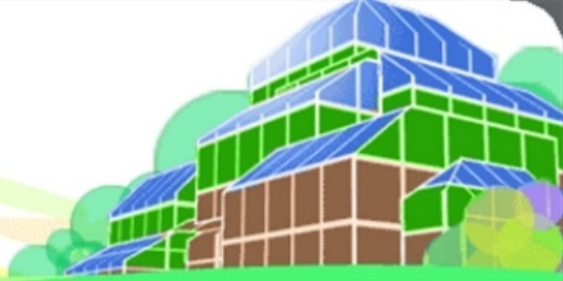
Source: WEC Survey of Energy Resources (WEC, 1995).

## 地熱分布

地熱是地熱資源或地熱能的簡稱，指的是蘊藏在地殼表層3-5公里內、具開採價值的天然熱水或蒸氣。地球內部所蘊含的熱能巨大無比，但以目前的技術，我們尚不能任意開採，只能開發地殼淺部地溫梯度異常高的地點之地熱資源。地球表面每年散失於大氣中的熱量高達 $2.4 \times 10^{17}$ 千卡，約相當於燃燒 $1.68 \times 10^{11}$ 桶原油所產生的熱量，這已經遠超過全世界每年所產石油的熱當量了。故地熱若能好好的開發利用，則地球的能源將不會有匱乏的一天。

地球可看成是由三個同心圓所構成，亦即地殼、地函及地核。地球內部的溫度，一般推測地心內核（地表五千公里以下）可能高達攝氏6,000度，外核（地表以下二千九百至五千公里）大約是攝氏3,000~5,000度，地函（地表以下三十至二千九百公里）則大約是攝氏500~3,000度。最外層的地殼好像蘋果的皮，其厚度在海洋地帶平均是5公里，在內陸則約20~65公里。地殼的地溫梯度平均是每公里攝氏20-50度左右。

火山活動及火成岩侵入到地表淺處可造成較高溫的地熱田。這一類熱源存在於地殼5~15公里深，正在活動或尚未冷卻的岩漿庫，或侵入的火山岩體中，其地溫異常值常高於正常值的三倍



以上。地熱田形成需包含三部分：熱水儲存層、蓋層和裂隙，蓋層為一緻密不透氣的岩層，通常是沈積岩及火成岩，因為不發生對流作用，故其中溫度梯度很大。我們可想像此地熱儲集構造是熱源在下、儲集層居中、蓋層在上、地下水由側面補給，恰似一個天然燒開水的茶壺。攝氏200度以上的地熱田系統，因為熱水到達地面後，可有10~30% 轉變為蒸氣，故比較有發電價值。

臺灣的地熱資源主要蘊藏在火山區和變質岩區，火山性地熱系統僅有北部大屯地熱區及宜蘭外海的龜山島兩處，其它地熱區皆屬非火山性熱水型地熱系統，大多分布於中央山脈變質岩地區，少數分布於西部山麓帶的沈積岩地區。火山性地熱系統的熱源主要來自岩漿。在火山活動的地區，地底下有岩漿庫可提供大量的熱源。而火山噴發時所形成的火山碎屑岩，或是火山劇烈活動對岩層產生爆破作用，形成豐富的裂隙和斷層；此時若有地表水，就可能滲入地下深處，被加熱而形成高溫的溫泉或蒸氣。大屯火山群最後停止噴發的時間可能年輕於10萬年，由活火山現象的定義(火山地震、高的地熱流、高濃度的火山氣體和氫同位素等)顯示，大屯火山群地底下還有活躍的岩漿庫存在，應歸類為活火山，故目前後火山活動的氣體和高熱流量，造成該地區有很高的地溫梯度，在鑽探所及的深度，二千公尺範圍內是攝氏200~300度。

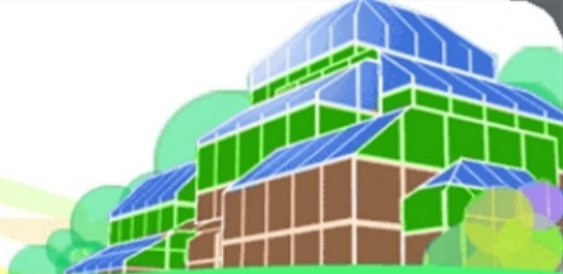
大屯火山群的地熱資源主要蘊藏於基盤巨厚的五指山砂岩層內，該地層厚度最少有一千公尺，其中砂岩佔85%，主要為細粒至極粗粒後層的石英砂岩，間夾有礫岩層。部分砂岩孔係率高達22.6%，另有部分砂岩裂隙發達，故為良好的儲存層。五指山砂岩層自大屯火山群南方的新北投向東北方向延伸到金山海邊，其南北兩端都有五指山層的出露，中間地帶則逐漸深陷，並且被厚層的火山岩體所覆蓋。由於這一深部儲存層的存在，在地面上形成一條長約18公里、寬約3公里、成東北走向的地熱帶，貫穿火山群的中部，呈現最少十幾處的地熱徵兆區，以及廣泛的熱水換質區域，這些地熱活動主要以馬槽和硫磺谷地區為中心，圍繞七星山、紗帽山、磺嘴山、大尖後山等分布，形成一個面積達36平方公里的地熱田。

六零年代，臺灣在國外學者和技術人員的協助下，曾在陽明山的馬槽地區和北投的大磺嘴地區，進行大規模的地熱探勘，並進行大規模的地熱鑽井探勘和潛能的利用評估。1972年瑞士Motor-Columbus顧問公司估計大屯火山群地區有10萬至50萬千瓦的地熱潛能，為臺灣地區地熱能最富集之地區，其地下熱水溫度最高達293℃，地面噴氣孔溫度最高達120℃，可惜大屯火山群的地熱水中硫酸成分太高、pH值在2~5之間、腐蝕性太強，而儲集層的石英砂岩無中和酸的能力，故尚未能大規模利用。大屯火山群的地熱帶未能探得大量近中性的熱水，除了因火山酸性氣體滲入深部儲集層和儲集層的石英砂岩無中和酸的能力外，儲集層上方的安山岩厚度不夠也是原因之一。若安山岩的厚度夠厚，則不但有中和熱水的酸性之外，還可提供厚的高裂隙的儲存層供熱水儲存，而能讓我們開發利用。

## 地熱的利用

地熱區大多位於偏僻的山區且交通不便，早期因輸送電力比較容易，所以地熱的利用以發電為主，後來才朝向直接利用(包括有泡湯、保暖、溫室、種植蔬果和養殖魚蝦等)發展。原因之一是地熱發電只能達到一成左右的利用效率，而直接利用可提高至三成或四成。又因中低溫熱水型地熱資源(溫度是攝氏50~150度)遠比高溫蒸氣型地熱資源(溫度高於攝氏150度)多，有些國家如匈牙利、羅馬尼亞、法國等的地熱溫度不高，不可能做為地熱發電之用，但在直接利用上

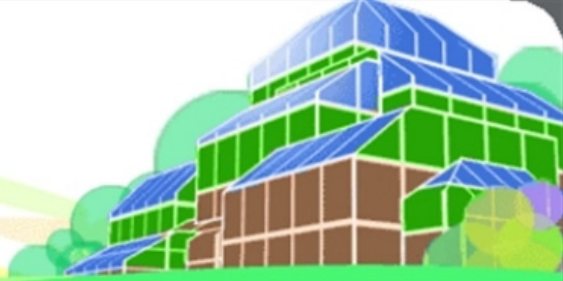




卻有十足的潛力。地熱的利用根據其溫度高低可做各種用途。傳統式蒸氣發電所需地熱流體溫度在攝氏150 度以上。如果使用雙循環熱交換式發電所需地熱流體溫度可顯著降低至攝氏100 度左右。又暖房及溫室用途所需溫度約攝氏80 度，溫水游泳池則約攝氏30 度。

由於地熱發電不消耗燃料，設備系統比火力發電簡單，成本低，又是為一非常潔淨之再生能源，故各國都在加速地熱的開發。臺灣位處環太平洋火山帶，約有近百處顯示具地熱之徵兆，惟較具開發潛能者約26 處，蘊藏量約有1000 仟瓩(MW)。惟因屬火山性地熱泉，其酸性成分太高或蒸氣含量太少，如要普遍開發，首先要克服地熱酸性與蒸氣含量少兩項瓶頸。國內過去雖有清水及土場兩座地熱發電廠，裝置容量分別為3.0 及0.3MW，蒸汽及熱水量逐年降低發電成效並不理想，目前已停止發電 [3]。義大利是世界上最早利用地熱發電的國家，西元1904 年義大利人利用地熱蒸汽發電成功，成為人類利用地熱發電的開端。估計目前世界地熱發電總容量已超過11,000 MW。以美國為例，美國於1960 年在加州的蓋沙斯 (The Geysers) 地熱田建造第一座地熱發電廠 (10MW)，並由於美國之地熱田先天條件優越，迄至2003 年，全美國地熱發電總容量達202 萬瓩，為世界上地熱總發電容量最大的國家[4]。亞洲地區如菲律賓與日本在2003 年地熱發電已達1931MW 與561 MW 算是在此方面發展較為成功之國家(參考下表[5])。

Country	2000 (MW <sub>e</sub> )	1995-2000 增加率 (%)	2003 (MW <sub>e</sub> )
Austria	-	-	1.25
<b>China</b>	<b>28.17</b>	<b>1.35</b>	<b>28.18</b>
Costa Rica	142.5	159	162.5
El Salvador	161	58.9	161
Ethiopia	7		7
France	4.2	-	18
Guatemala	33.4	-	29
Iceland	170	240	200
Indonesia	559.5	90.9	807
Italy	785	24.9	780.5
<b>Japan</b>	<b>548.9</b>	<b>32.2</b>	<b>580.9</b>
Kenya	45	-	121
Mexico	755	0.9	853
New Zealand	437	52.8	421.3
Nicaragua	70	-	77.5
Philippines	1808	55.8	1931
Portugal	16	220	16
Russia	23	108	73
<b>Taiwan</b>			<b>3 (1000)</b>
Turkey	20.4	-	20.4
<b>USA</b>	<b>2228</b>	<b>-</b>	<b>2020</b>
<b>Total</b>	<b>7972.5</b>	<b>16.7</b>	<b>8402.31</b>



臺灣的地熱蘊藏量預估至少超過500 MW 以上，國內臺電與工研院在清水與土場皆有地熱發電之豐富經驗，雖目前已停止使用，但過去寶貴的經驗仍是未來開發地熱之寶貴資產。本計劃有關地熱部份，將著重於開發出更具效率的熱傳導技術，也就是導熱管之應用。導熱管[6,7]可以在各種嚴苛的環境下，克服目前地熱開發所面臨之瓶頸（如高腐蝕性酸性溫泉、地下無水乾熱岩型地熱等），在無需水蒸汽的情況下，將地熱傳送到地表以為發電或其他所需。

## (二) 陽明山地熱的分佈及利用

以下是依據陽明山公園管理局委託研究計畫(G0039,陽明山溫泉、地熱資源與利用調查)摘要列出相關者：

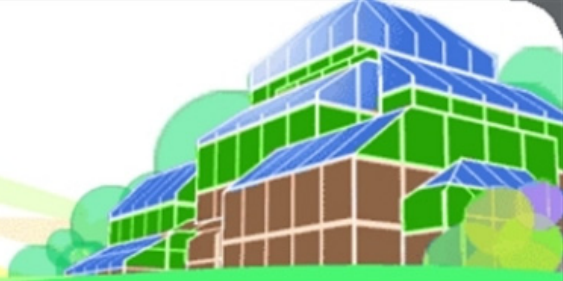
- 1、陽明山國家公園內的地熱資源主要蘊藏於一條長約18 公里、寬約3 公里成東北走向的地帶，地下基盤為巨厚的五指山砂岩層內，該地層厚度最少有一千公尺。
- 2、陽明山國家公園內的溫泉主要可分為酸性硫酸鹽溫泉、酸性硫酸鹽氯化物泉和中性的碳酸鹽溫泉。
- 3、陽明山國家公園內溫泉地熱的成因，主要是受控來自於地底下深處岩漿的熱和火山氣體、五指山層砂岩內的黃鐵礦和地層鹵水、降雨循環往下的天水和覆蓋其上的安山岩岩體等 形成一個面積達36 平方公里的地熱田。
- 4、過去陽明山國家公園內溫泉地熱系統的使用方式，包括有浴場洗澡的用水、地熱發電、熱帶園藝花卉、蔬菜作物等的試驗溫室及木材乾燥試驗室。現在大部分用於溫泉餐廳、溫泉浴室、SPA 理療館和溫泉旅館等。

表四：陽明山國家公園內各溫泉之水質和水化學組成。

名稱	T (°C)	pH	C (µs/cm)	TDS (mg/L)	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Si <sup>2+</sup>	附註
1 硫磺谷	50-97	2.7	2200	1220	1.17	28.8	500	bdl	7.44	4.88	4.80	21.0	13.0	68.0	103	
2 行義路	56-85	1-2	721	650	1.04	30.6	635	bdl	8.55	6.23	3.87	26.3	12.4	65.3	115	
3 龍鳳谷	56-80	2-3	638	627	bdl	32.6	427	bdl	17.5	4.60	24.3	53.6	8.38	11.3	64.7	
4 雙重溪	42-65	6.0	505	2355	0.97	45.3	158	bdl	22.1	6.31	18.1	42.7	bdl	bdl	36.6	
5 頂北投	45-60	6-8	1463	1145	bdl	109	123	456	67.5	21.3	87.7	150	2.54	4.68	122	
6 鼎筆橋	45-60	6-8	1301	1307	bdl	77.0	292	498	57.2	11.1	59.7	136	5.70	16.4	154	
7 湖山	45-60	6-8	1763	1336	bdl	111	143	673	33.6	8.93	91.1	111	3.57	17.2	144	
8 小隱潭	45-60	2-4	1176	918	bdl	68.8	561	bdl	34.7	5.71	27.1	62.2	3.84	21.7	133	
9 陽明路	50-65	2-4	2390	1374	2.11	558	919	bdl	91.4	35.1	70.5	211	69.4	87.3	137	
10 中山樓	45-65	2-4	1129	497	bdl	24.1	278	bdl	13.0	5.27	15.2	24.8	3.65	22.1	111	
11 陽明山	50-60	2-4	1764	1021	bdl	159	521	bdl	43.3	8.55	27.7	81.1	10.7	44.6	126	
12 竹子湖	65-70	2-4	3170	916	bdl	51.4	586	bdl	45.7	13.8	16.2	44.6	17.2	24.6	117	
13 胡宗南墓	35-50	6-7	451	237	0.29	11.8	65.7	168	35.1	8.21	14.9	58.3	4.42	bdl	67.4	
14 冷水坑	35-45	5-7	790	519	bdl	14.5	157	139	16.6	5.09	12.6	29.3	0.40	0.41	144	
15 小油坑	65-99	2-4	4490	2256	bdl	462	1015	bdl	96.9	18.2	85.6	381	47.3	37.2	209	
16 後山	45-65	5-6	1805	1153	bdl	109	448	219	65.8	14.2	58.1	128	5.76	20.0	85.4	
17 馬槽	60-90	2-4	483	633	bdl	35.5	346	bdl	16.2	6.02	19.0	55.9	9.54	9.38	152	
18 七股	45-65	2-4	4680	2357	bdl	350	1508	bdl	31.4	12.1	36.7	109	47.0	104	159	
19 翠林橋	40-55	2-3	5350	2860	2.22	664	1017	bdl	44.5	24.4	46.4	104	28.0	2.92	47.9	
20 大油坑	65-98	1-2	1807	1076	bdl	53.4	225	bdl	14.8	1.50	2.30	7.10	4.00	1.50	9.80	
21 磺溪	55-70	2-3	2536		bdl	329	974	301	39.6	4.51	47.8	27.5	3.70	116.1	45.1	
22 下七股	45-52	6-7	2240	1333	3.38	49.3	1478	476	90.8	16.9	45.7	636	bdl	bdl	63.0	
23 八煙	60-85	2-3	2170	2665	bdl	15.5	344	bdl	78.9	47.9	48.4	86.8	55.3	73.2	188	
24 四磺坪	47-99	2-3	1291	357	bdl	10.2	184	bdl	6.47	1.79	4.27	13.5	4.56	5.67	134	
25 (火庚)子坪	40-68	1-2	1213	1770	bdl	36.2	1158	bdl	37.0	12.9	37.5	78.3	42.2	96.7	271	







處與低溫處的部分分別稱之為蒸發部份 (Evaporator) 與冷凝部份 (Condenser)。蒸發後的汽體由中空管從蒸發部分流向冷凝部分，當汽體到達較冷的一端時便開始冷凝，在此時熱量就由汽體經過毛細物體，工作液及金屬管壁而傳入外部較低溫的環境。在冷凝部份蒸發的汽體又凝結成液體，冷凝後的液體因毛細現象 (Capillary pumping) 的作用自冷凝部份又流回了蒸發部份，如此不斷循環，熱量因此由高溫處傳到低溫處。

熱導管之工作液體已開發出各種適用於不同溫區之材料，隨工作環境需要可適當選擇，如下表。

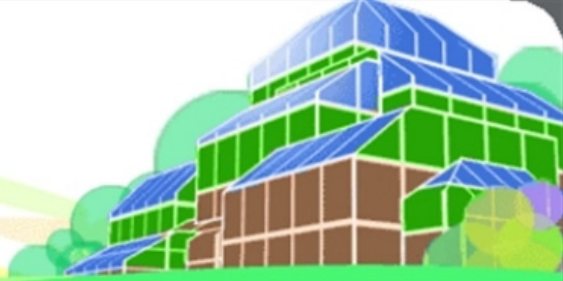
熱管內部工作液的選擇種類			
介質 (工作液) Medium	熔點 Melting Pt. (°C)	沸點 (一大氣壓下) Boiling Pt. At Atm. Pressure (°C)	工作溫度範圍 Useful Range (°C)
Helium (氦)	-271	-261	-271 to -269
Nitrogen (氮)	-210	-196	-203 to -160
Ammonia (氨)	-78	-33	-60 to 100
Acetone (丙酮)	-95	57	0 to 120
Methanol (甲醇)	-98	64	10 to 130
Flutec PP2	-50	76	10 to 160
Ethanol (乙醇)	-112	78	0 to 130
Water (水)	0	100	30 to 200
Toluene (甲苯)	-95	110	50 to 200
Mercury (水銀)	-39	361	250 to 650
Sodium (鈉)	98	892	600 to 1200
Lithium (鋰)	179	1340	1000 to 1800
Silver (銀)	960	2212	1800 to 2300

#### (四) 推動或示範陽明山溫泉地熱能源的利用

一但地熱能夠傳導出來，就可以進行各式各樣的利用，例如：

- (1) 使用買得到的製冷片發電、
- (2) 推動史特林引擎(見附錄)輸出機械動力、
- (3) 使水加熱、
- (4) 乾燥物品、
- (5) 做暖氣機.....等等。

我們可以選擇幾個溫泉區裝置熱導管，在遊客較多的地方做前述的一些地熱能源利用的例子，達到教育、觀光及節省電費的目的。



## 參考資料：

1. Proposal for a high efficiency LNG power-generation system utilizing waste heat from the combined cycle, Applied Energy, 60, 169-182 (1998).
2. Liquefied Natural Gas-Refrigerant Electricity Generating System, United States Patent, 4429536(1984)
3. 專題報導-再生能源之地熱資源,郭明錦,科學發展,2004年11月,383期
4. 蘊藏於地底的永續能源—地熱,行政院經濟建設委員會新聞稿,2004年1月21日。
5. 「再生能源發電現況及展望」工研院能資所 李欣哲  
<http://www.gff.org.tw/activity8/ge20030105.htm>
6. 熱管(thermal pipe)參考網站 [http://www.ul.com.tw/news\\_nl/2005-Issue14/page13.htm](http://www.ul.com.tw/news_nl/2005-Issue14/page13.htm)
7. 楊政諭,淺談熱管在空調上的應用,中國冷凍空調雜誌,1997年2月熱管的圖。
8. 陽明山國家公園管理局網站 線上圖書館研究報告  
<http://www.ymsnp.gov.tw/web/library3.aspx>