

地熱發電技術發展現況、趨勢與瓶頸

莊怡芳、施清芳、陳中舜

核能研究所-化工組處置與環境復育分組、能源經濟及策略研究中心

2013/03

1. 發展現況概述

(一)雖然世界上的地熱開發可以追溯到 100 年前，但由於擁有活火山地帶的國家有限(如圖 4-3-1、表 4-3-1)[1]，以及存在開發風險等原因，因而還是一項相對低度開發的能源。若以發電容量表示地熱發電的開發量。2010 年，美國為 309 萬千瓦，排在第 1 位，以下為菲律賓的 190 萬千瓦以及印尼的 120 萬千瓦。從排名可以看出，開發量大體與資源量相吻合。估計未來地熱發電的比例還會成長，圖 4-3-2 為世界地熱發電較發達的國家[2]，其未來至 2015 年預計地熱發電裝置量。

(二)近期台灣引進了國際新發展的增強型地熱系統(Enhanced Geothermal System, EGS)概念，重新評估全島深部地熱，認為台灣地區的地熱資源量可達 159.6 GWe，可開發潛力高達 33.64 GWe[3] (註：此數據目前並未納入能源局之我國再生能源潛力評估中)，但離真正商業化仍有不小的差距。上述結果是由能源國家型科技計畫「宜蘭清水地熱能源研究：探勘技術平台的建立與深層地熱」所補助的研究團隊所發表，而有關深層地熱技術，我國目前僅有工研院與國科會的深層地熱發電主軸專案計畫發展增強型地熱系統進行發展中。

2. 技術趨勢簡析[4]

(一)與太陽能發電和風力發電相比，地熱發電設備利用率非常高，具有可作為基載電力的可能。日本資源能源廳將其平均設備利用率定為 70%。如果條件夠好，亦可達到滿載運轉。在此條件下有利於成本的減少。另外，若能有效掌

握蒸汽量調控下，該技術在運用上將與傳統電廠相近，故具有取代部分基載電力的潛力。

- (二) **鑽井風險高**：傳統地熱發電開採深度約在地下 2,000 公尺，而目前最受矚目之「增強型地熱系統, EGS」開採技術則須探鑽超過地下 3,000 公尺，深度極深，正式開採前，難以得知鑽探點的確切熱源規模，因此，在初步地表探勘後，會進行鑽井作業，驗證探勘結果，以確認開採井井位。鑽井成本為地熱開發案的最大支出，約佔總開發成本的 30%，一般而言，第一次鑽井之成功機率約為 25%，第二次鑽井之成功機率僅提升至 50%，由於作業成本高，但成功機率不高，使投資機構對鑽井階段的地熱發電投資案卻步。
- (三) **初設成本高**：地熱資源開發初期之探勘與鑽井技術門檻極高，因此，初設成本較其他再生能源高。地熱發電之初設成本會依採用技術與鑿井井數而有所差異，1MW 的平均成本約在 250 萬到 500 萬美元之間，是風能發電的 1.5 倍，另根據日本地熱開發企業協議會推估，1kW 平均建設單價為 80 萬日元，以 30MW 為例，平均建設費為 240 億日元，如果平均建設費加上調查費和系統連接費，則為 267 億日元（表 4-3-3）[5]。儘管初設成本偏高，但地熱發電有高容量因子，因此，以平均發電成本而言，地熱發電相當具有成本競爭力。
- (四) **設廠須經嚴格風險評估，核准程序耗時**：與其他再生能源一樣，地熱發電須經嚴格風險評估分析，以免對環境造成負荷：利用地熱發電時，若由地底抽出熱水發電，地下水中含有大量礦物質，未經妥善處理，可能造成環境污染；若是將水注入地底加溫成水蒸汽發電，注入的水可能誘發微地震，發電時水蒸汽中可能帶有毒性氣體，而發電廠運作亦可能造成地底放射性氫氣及硫化氫的外釋，對工作人員造成影響。環境風險評估因地而異，在層層把關下，相當耗時。長期而言，隨著探勘技術發展，風險分析資訊透明，此現象將可獲得改善。

(五) **井內壓力的維持與腐蝕性物質的處理墊高維運成本**：地熱田的水及蒸汽會隨時間流失，造成地熱井的溫度、壓力、流量衰減，使得發電量逐漸減少，因此，必須定期回注水；某些地熱區之熱水含有腐蝕性物質，會影響蒸氣渦輪機及發電廠其他零組件的使用週期，必須定期檢查，因此，為了維持正常營運，地熱發電廠須對設備及管線謹慎維護。

(六) **EGS 尚在示範階段**。雖然增強型地熱系統(EGS)發電目前在經濟上被認為尚未具有可行性，歐洲目前有 11 個 EGS 計畫在發展中[6]。美國將增強型地熱系統(EGS)列為長期發展目標，預定 2020 年示範 EGS 技術的可行性，同時將 EGS 發電成本降至 9 美分/度，2030 年將 EGS 發電成本降至 6 美分/度，2050 年加速發展至 100 GWe[7]。

3. 推廣瓶頸與建議

(一) **各界對地熱發電寄予很大期望，但實際開發不易**。在國內外相關技術研究討論時，常會對地熱給予高度的評價。但另一方面，地熱發電具有地下資源開發特有的風險，如長開發時程、大量資金取得及可供給容量等不確定因素，故實際從事開發工作的廠商，相對並未如此樂觀。而根據歐洲經驗，深層地熱開發導致地震發生的可能性大增，將易引起周邊居民的反彈。

(二) **各項條件因地制宜，除了規模不同之外，因地點不同，成本差異也非常大**。不同地點釋放的蒸汽流量大不相同（最大可相差 4 倍），熱水量亦不同，最終生產井和回灌井的情況也各不相同。並且在投產後也會出現各種故障，有時不得不長期停工。幾乎所有發電站都經歷了超出預料的井堵塞、暴雨和雷擊等災害的影響、水蒸氣爆炸等帶來的一些影響和風險。不用說調查開發階段，就連投產後也會出現很多風險，因此，日本業界提出稅後 IRR 需達到 8%（稅前為 13%）的高水準要求。

(三) **開發地熱發電需要花費較長時間，一個廠址開發預估約需 10 年的時間**。根

據日本實廠經驗，一開始需要先挑選候選地，並實施地表調查。接下來要通過化學分析及物理探測來推測地下的情形。如果判斷有較大資源量，便挖掘試驗井，以掌握地熱儲層的具體情況。至此就需要花費3年的時間。之後將挖掘生產井，進行噴氣試驗。由於地熱儲層中存在高溫高壓的水及蒸汽，因此，挖掘了井之後便會噴氣。確認了這種情況之後才能建設地熱發電站。接下來是進行業務性評估以及環境評估，然後才能進入建設階段。噴氣試驗費時2年，環境評估需要約4年半時間，建設需要花費2到3年時間，因此，無論如何也需要10年以上的時間。

(四) 由於開發期長且探勘風險高，故在銀行貸款上易有困難，進而需要有較高躉購價與政策的配合。我國目前地熱躉購價格約為NTD4.80/kWh，低於離岸風機與太陽光電，基於EGS屬於新技術的開發前期，該價格對於市場與資金的誘因尚嫌不足，另一方面，相關資源常位於資源保護區內，若要開發尚須配合法令政策的鬆綁。

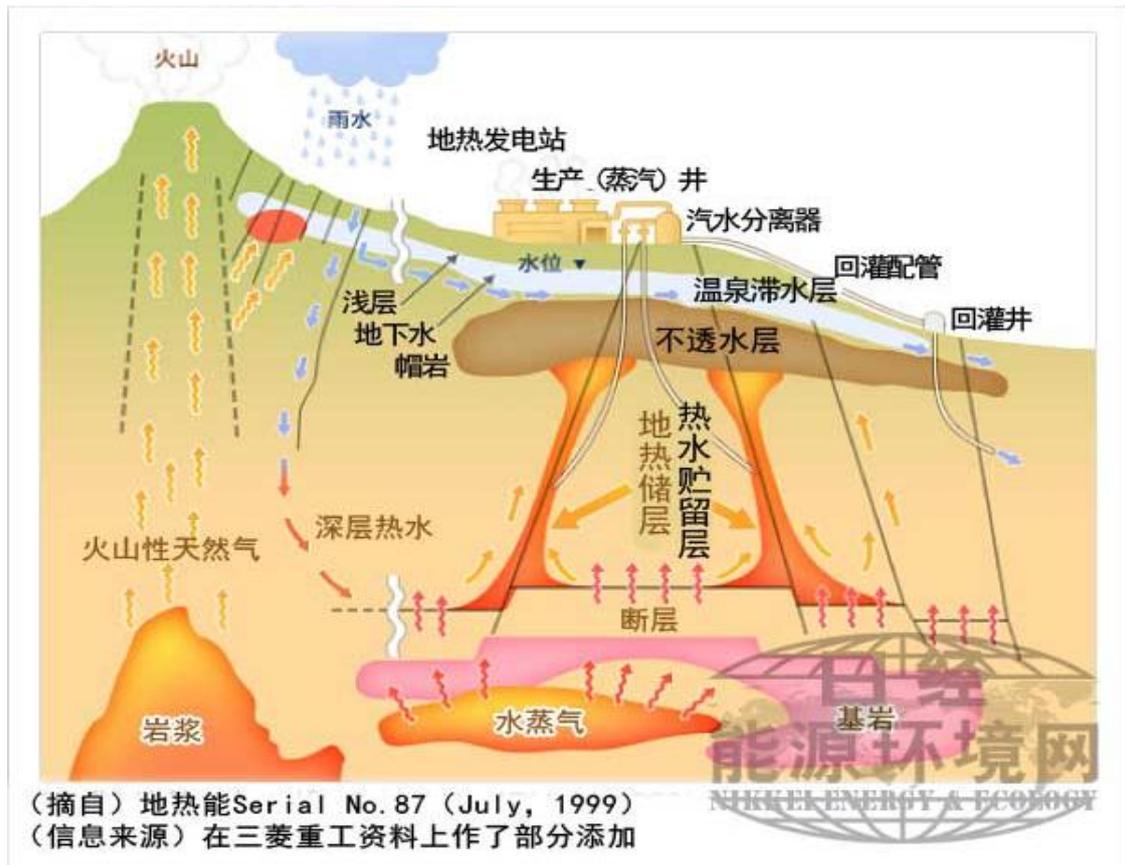


圖 4-3-1：地熱模型圖

表 4-3-1：主要地熱資源國的狀況

國家	資源量 (MW)	火山數目 (座)
美國	30000	160
印尼	27790	146
日本	23470	119
菲律賓	6000	47
墨西哥	6000	39
冰島	5800	33
紐西蘭	3650	20
義大利	3270	13

資料來源：日本產業技術綜合研究所(2012)

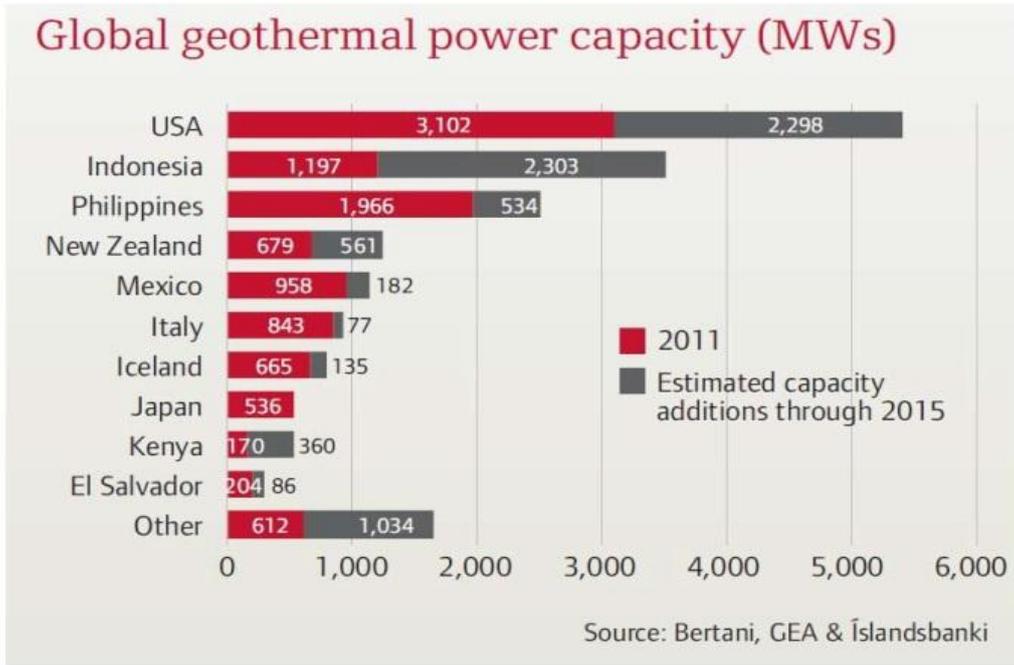


圖 4-3-2：世界地熱國家未來至 2015 年預計地熱發電裝置量

表 4-3-2：台灣深度小於 4,000 m、地溫超過 175°C 之地熱原始蘊藏發電容量

地區	涵蓋 總面積 (km ²)	原始地 熱發電 容量 (MWe)	所佔比 率(%)	各海拔區間地熱蘊藏發電容量(MWe)				
				天然條件限制開發←→			天然條件較可開發	
				>2000m	1500m 2000m	1000m 1500m	500m 1000m	<500m
宜蘭地區	532	36,923	23.13%	30,219	13	456	2,100	4,135
大屯火山群 地區	88	2,886	1.81%	0	0	0	716	2,170
花東地熱區	5,403	100,431	62.92%	15,900	43,334	15,443	12,880	12,874
南投廬山地 熱區	954	19,366	12.13%	10,143	5,194	3,859	170	0
四大高溫地 熱區總計 (所佔比率%)	6,977	159,606		56,262 (35.25%)	48,541 (30.41%)	19,758 (12.38%)	15,866 (9.94%)	19,179 (12.02%)
可開發條件(海拔1,000m以下，扣除位於陽明山公園內法令不可開發約1,405 MWe)								
潛在地熱發電容量(MWe)								33,640

表 4-3-3：日本地熱開發企業協商會的計畫估算

項目 / (發電輸出功率)	1萬kW	3萬kW	5萬kW	備註
發電◆*井概要				
設備利用率 (%)	84	83	83	
生產井數量 (口)	4	11	17	投產前所需的數量
衰減率 (%/年)	3	5	5	
挖掘數量 (口)	2	8	13	投產後15年
回灌井數量 (口)	4	11	17	投產前
挖掘數量 (口)	3	9	13	投產後15年
建設費 (億日元)				
調查開發費	30	64	93	
建設費	101	194	285	
初期投資合計	131	258	379	扣除補貼之前
(其中打井挖掘費)	(30)	(81)	(126)	
(打井挖掘費比率)	(23%)	(32%)	(33%)	
建設單價 (萬日元/kW)	131	86	76	
追加資金 (億日元)	13	43	67	追加生產井及回灌井挖掘費
經濟效益				
初期投資 (億日元)	127	261	372	扣除補貼後
發電成本 (日元/kWh)	21.89	14.98	12.81	15年平均

參考文獻

1. 能源環境商務新平臺，日經能源環境網，2013/09，
<http://big5.nikkeibp.com.cn/eco/bpimages/show/images/image2012/06/01/20120601s002p01.html>
2. Íslandbanki Geothermal Energy Team, United States Geothermal Energy Market Report, Íslandbanki, 2011, 11.
3. 深層地熱發電主軸專案計畫規劃書(2012),
<http://web1.nsc.gov.tw/file2/INTRAFILES/announcement/dest/402881d03941798d013943abdff9003e/1345460364266.pdf>
4. 全球地熱發電產業之發展因素與市場展望，IEK(2011)。
5. 日經能源環境網，看似平庸實則潛力超群的地熱發電，2013/09，
<http://big5.nikkeibp.com.cn/eco/2012-04-18-05-56-23/2826-20120523.html?tmpl=component&print=1&page=1/5>
6. Jennejohn, D., B. Hines, K. Gawell and L. Blodgett, Geothermal: International Market Overview Report, Geothermal Energy Association, May 2012.
7. GTO(2013), 2012 Peer Review Report