

地熱發電潛能評析

郭佳韋

核能研究所-能源經濟及策略研究中心

2015/06

在 103 年 12 月舉行的分區全國能源會議的背景資訊資料中，關於地熱發電提及：「台灣增強型地熱系統在深度 3~6 公里且溫度為 200°C 之理論潛能為 31.8GW，但國內外深層地熱系統（Enhanced Geothermal System,EGS）技術尚未成熟，實際可開發量經考量土地及環境限制，可開發量約 2.0GW。」等字句，遭地熱業者及學者駁斥，認為台灣地熱資源豐富，可開發量不只如此，只要政府願意發展，要全面取代核能並非難事。地熱發電潛能一直是各界關注的重點，因此本文收集國內外統計資訊作擇要彙整，釐清開發潛能之認定及發展時間點。

壹、 國際地熱發電現況與未來趨勢：短期傳統地熱為主，長期增強型地熱為主

根據國際地熱協會[1]（IGA, International Geothermal Associate）統計，截至 2013 年底全世界共有 24 個國家設有地熱發電廠，總裝置容量合計約 11.77GW(附錄 1)，前五大國家為美國（3.4GW）、菲律賓（1.8GW）、印尼（1.3GW）、墨西哥（1.0GW）、義大利（0.9GW），日本則排名第八(0.5GW)。若以區域來看，亞洲的裝置容量位居首位，主要以菲律賓及印尼兩國家貢獻最多，美洲則以美國和

墨西哥為主，歐盟算是裝置量較少的地區。圖 1 即可看出不同區域裝置量的差異，同時也可觀察出全球地熱發電近年來呈現穩定成長的趨勢，其中美國於 2010 至 2013 年增加了 0.29GW 的裝置量，紐西蘭增加了 0.21GW，印尼則增加了 0.14GW。

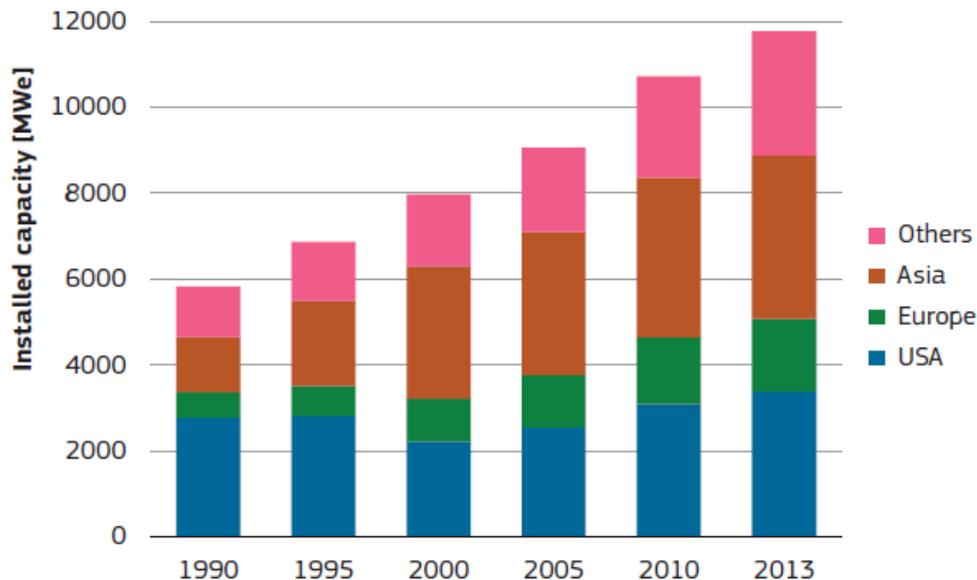


圖 1 全球地熱發電裝置量成長概況

資料來源：2014 JRC Geothermal Energy Status Report, 2015[2]

近年來廣受討論的增強型地熱系統（EGS，Enhanced Geothermal System）技術漸漸在各國有應用案例出現，法國的 Soultz 與德國的 Landau 在 2010 年就已經建成，成為前兩名之商轉級 EGS 電廠(BESTEC GmbH, 2013)[3]，韓國的 Pohang EGS 示範電廠、德國新增的 Insheim EGS 電廠與美國 Bradys Hot Spring 及 Desert Peak EGS 電廠也已開始運轉(Lee *et al.*, 2011[4]; BESTEC GmbH, 2013[3]; Chabora and Zemach, 2013[5]；李柏亨等人，2014[6])，而全球最大的 EGS 電廠則將在澳洲的 Habanero 運轉，其中 1MW 的示範機組已經於 2009 年的 9 月開始營運，第

一階段目標為 40 MW (Beardsmore and Hill, 2010[7]；李柏亨等人，2014[6]、Geodynamics, 2014[8])。

IEA (2011) [9]預測約 2035 年開始 EGS 會有明顯成長的趨勢，至 2050 年 EGS 占地熱發電全球總裝置容量約 50% (圖 2 的趨勢圖所示)。歐盟聯合研究中心(JRC, European Commission Joint Research Centre)(2014)[10]採用 IEA(2011) 預測資訊，提出歐洲未來發展地熱發電的近、遠程目標 (圖 2 的圓餅圖所示)，現行歐洲地熱發電仍以傳統地熱發電為主 (約占 85%)，由於 EGS 技術尚未成熟及成本過高，近期目標將以發電效率較高的雙循環發電為主要開發，同時持續發展 EGS，待技術成熟及成本降低足以商業化後(從圖 2 趨勢圖來看約為 2035 年)，遠程目標將以 EGS 為主要發電方式 (約占 43%)，雙循環發電為輔 (約占 36%)，此兩種方式的發電量將大於傳統地熱。

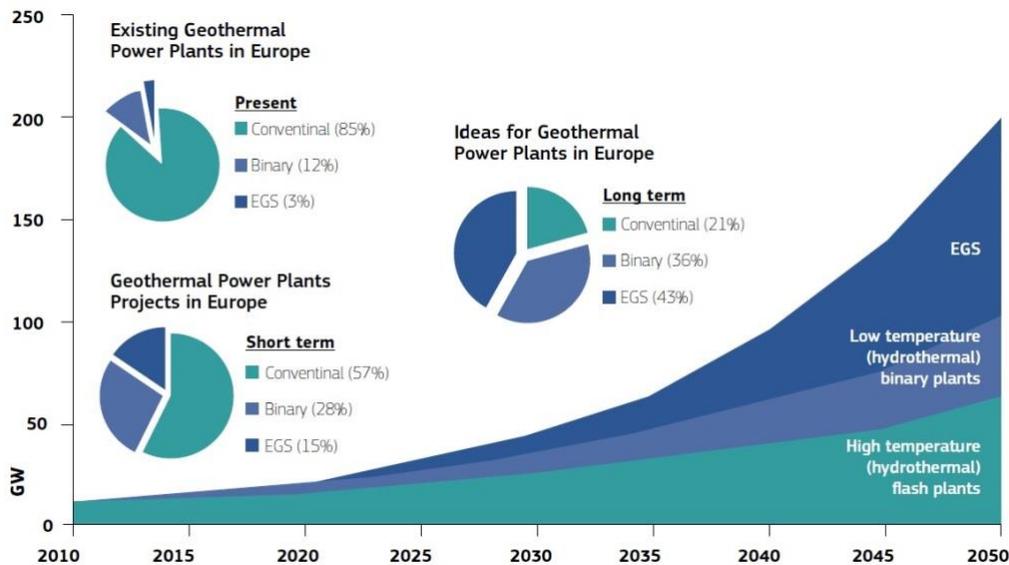


圖 2 歐洲地熱發展近、遠程目標

資料來源：JRC 2013 Technology Map, 2014

綜合以上文獻可知，地熱大國如美國、菲律賓及印尼地熱發電裝置量成長快速，許多國家也紛紛開始投入地熱發電廠的建設，而傳統地熱技術成熟度較高，開發困難度較低，因此現今仍以開發傳統地熱為主；EGS 技術尚未成熟，開發成本高，可行性有待評估，但亦有先進國家已開始研發試運轉，長期趨勢會以 EGS 為地熱發電主要方式。

貳、 我國地熱發電潛能：有發展地熱發電的潛力，但需考量地理、技術及其他限制條件

台灣位處板塊交界的火山帶，擁有豐沛的地熱蘊藏量，第二期能源國家型科技計畫（NEP-II）總體規劃報告書[11]指出，根據 1980 年以前之探勘資料估算，

全島淺層傳統地熱約有近 1 GW 之發電潛能，而過去的估算可能偏低，因其只用傳統高溫蒸氣的地熱發電估算；若考慮現在發展的雙循環發電及 EGS，則發電潛能將大大提升。

工研院柳志錫等人（2012）[12]根據臺灣區域性熱流分布之地溫梯度數據，使用美國、紐西蘭、日本等國際地熱先進國家常用之蘊藏熱能法(Stored Heat Method)來估算，並以 150°C 為最低開發溫度，推估 3~6 公里深度之 EGS 發電潛能，其結果顯示，臺灣本島之九大增強型地熱系統潛能區之總分布面積約 4,532km²，約佔全島面積之 12.5%，平均溫度約 208°C，總儲藏熱能 3,307x10¹⁸J，總儲藏發電潛能理論值約 31.8GW（附錄 2）。

而此數據也被能源局 2014 年能源產業技術白皮書[13]採用，並作為我國第四屆全國能源會議背景資料所使用。

上述地熱潛能為模型直接套用台灣地底地溫梯度分佈所運算出來的理論值，但實際可開發量則會受到技術成熟度、都市規劃及地質環境限制影響，例如坡度太陡的山坡以及高山地區，或是都會區地底下無法開發，工研院所發展的臺灣 2050 能源供需情境模擬器[14]即針對地理、技術發展以及其他限制條件，提出四組可能發展之情境（附錄 3），推估我國地熱發電發展潛能（圖 3），圖中 Level IV 表示我國地熱發電最大潛能至 2050 年可達 7.02GW，但是必須突破所有限制，窮盡所有資源及技術極限的情況下才可能達成，較為樂觀且有可能實行為 Level II 或 Level III，優先開發傳統淺層地熱，待國外 EGS 技術發展成熟再引進發展（從

圖 3 的推估結果來看時間點大約為 2035 年)，如此可兼顧再生能源發展與開發成本的支出。

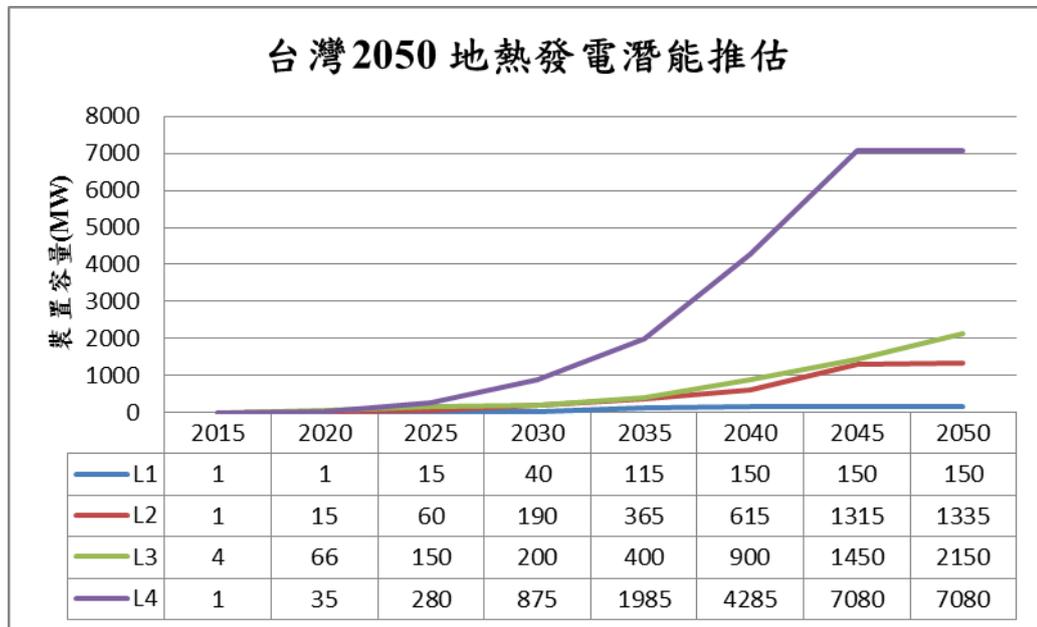


圖 3 台灣 2050 地熱發電潛能推估

資料來源：工研院台灣 2050 情境與參數設定之背景，核研所繪製

參、 結論

就國際現況來看，地熱發電呈現逐漸成長的趨勢，目前仍以傳統地熱發電為主，先進的 EGS 發電則還在試驗研發階段，技術尚未成熟且成本較高，但從上述國外文獻已可得知美國、澳洲等國家已開始建設商轉級的 EGS 發電廠，顯現對於 EGS 的企圖心，長期來看 EGS 會是具有發展性的地熱發電方式。

我國自從清水地熱發電廠停止運轉後，目前尚無地熱發電，台灣位處板塊交界的火山帶，擁有豐沛的地熱蘊藏量，而地熱發電場擁有所需的面積小的優勢，

土地利用效率佳，對於台灣來說相對合適。但台灣地熱區大多集中於地質敏感區，實際可利用率較國際差，與我國鄰近的日本同樣面臨此問題，日本擁有世界第三大的地熱蘊藏量，但地熱裝置量只排行全球第八，2000年後幾無成長，可開發量受到技術成熟度、土地環境以及建廠成本限制，預估至2030年地熱發電占總發電比例為1%[15]。

國際趨勢目前以開發傳統地熱為主，EGS仍在研發階段，我國可順應此潮流發展，近期以開發傳統地熱為先，全國能源會議結論也指向先透過示範獎勵措施來鼓勵民間業者及地方政府投資興建，檢討躉購費率以及法規，使傳統地熱發電廠成功營運增加國人信心，待國外EGS發展成熟、成本降低後（前文提到IEA及工研院皆推估時間點大約為**2035年**），再引進其技術，提高地熱發電的裝置量。

參考文獻

1. 國際地熱協會網站(IGA) 。 <http://www.geothermal-energy.org/>
2. JRC Science and Policy reports ETRI , JRC Geothermal Energy Status Report. (2015)
3. BESTEC GmbH, <http://www.bestec-for-nature.com/j2510m/>
4. Lee, T. J., Song Y., Yoon, W. S., Kim, K Y, Jeon, J., Min, K. B., Cho Y. H., “The First Enhanced Geothermal System Project in Korea,” Proceedings of the 9th Asian Geothermal Symposium, Japan, p.4. (2011)
5. Chabora, E. and Zemach, E., “Desert Peak EGS Project,” U.S. Department of Energy Geothermal Technologies Office 2013 Peer Review, Colorado. (2013)
6. 李柏亨、柳志錫、劉力維、謝瑞青、郭泰融、王俊堯，「增強型地熱系統

- 發展分析與探討」。(2014)
7. Beardsmore, G.R. and Hill, A.J., “Australia–Country Update,” Proceedings of the 2010 World Geothermal Congress, Bali, Indonesia, p.11. (2010)
 8. Geodynamics., Habanero Geothermal Project Field Development Plan. (2014)
 9. IEA, Technology Roadmap- Geothermal Heat and Power. (2011)
 10. JRC Science and Policy reports ETRI, 2013 Technology Map of the European Strategic Energy Technology Plan. (2014)
 11. 第二期能源國家型科技計畫 (NEP-II) 總體規劃報告書。
 12. 柳志錫、郭泰融、李清瑞、李柏亨、韓吟龍、劉力維、王俊堯，「地熱發電發展現況與未來方向」(2012)。
 13. 能源局，2014 能源產業技術白皮書 (2014)。
 14. 財團法人工業技術研究院，「台灣 2050 情境與參數設定之背景」。
 15. 日經中文網，「日本 2030 年光伏發電比例擬控制在 7%」。
<http://zh.cn.nikkei.com/industry/ienvironment/14155-20150428.html>
 16. 郭佳韋，核能研究所，「台灣地熱發電之展望」(2015)。

附錄

附錄 1 、統計至 2013 年底全球地熱發電裝置容量 (MW)

國家	1990	1995	2000	2005	2010	2013
美國	2774.6	2816.7	2228	2544	3093	3389
菲律賓	891	1227	1909	1931	1904	1848
印尼	144.8	309.8	589.5	797	1197	1341
墨西哥	700	753	755	953	958	1017.4
義大利	545	631.7	785	790	843	875.5
紐西蘭	283.2	286	437	435	628	842.6
冰島	44.6	50	170	322	575	664.4

日本	214.6	413.7	546.9	535	536	537
肯亞	45	45	45	127	167	248.5
哥斯大黎加	0	55	142.5	163	166	207.1
薩爾瓦多	95	105	161	151	204	204.4
土耳其	20.6	20.4	20.4	20.4	82	166.6
尼加拉瓜	35	70	70	77	88	149.5
俄羅斯	11	11	23	79	82	81.9
巴布亞新幾內亞	0	0	0	39	56	56
瓜地馬拉	0	33.4	33.4	33	52	48
葡萄牙	3	5	16	16	29	28.5
中國	19.2	28.8	29.2	28	24	27
法國	4.2	4.2	4.2	15	16	17
德國	0	0	0	0.2	6.6	11.9
伊索匹亞	0	0	8.5	7	7.3	8
奧地利	0	0	0	1	1.4	1.4
澳大利亞	0	0.2	0.2	0.2	1.1	1
泰國	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
阿根廷	0.7	0.6	0	0	0	0
總計	5831.8	6866.8	7974.1	9064.1	10716.7	11772

資料來源：IGA 網站

附錄 2、台灣九大地區地熱潛能評估

地區	平均面積 (km ²)	平均溫度 (°C)	蘊藏熱能 (10 ¹⁸ J)	發電潛能 (GW)
大屯山	278	236	252	2.7
清水、土場	909	223	760	7.8
廬山	279	210	209	2.0

瑞穗、安通	467	195	297	2.6
霧鹿、紅葉	571	196	366	3.3
知本、金崙	701	214	545	5.4
寶來	476	205	336	3.1
關仔嶺	510	197	334	3.0
新竹、苗栗	343	192	209	1.8
合計	4532	208	3307	31.8

資料來源：柳志錫等人，2012。

附錄 3、台灣 2050 地熱發電情境設定

Level	Boundary 情境規劃	最大潛力
I	淺層地熱開發 排除因子：國家公園 > 1000m 高程 ⁽¹⁾ > 30%坡度 ⁽²⁾ 、都會區用地限制。	淺層：150MW 深層：0MW
II	L1+國家公園淺層地熱開發 排除因子：> 1000m 高程、> 30%坡度、都會區用地限制。	淺層：315MW (150+165MW) 深層：0MW
III	L2+大屯山深層地熱 ⁽³⁾ 開發 排除因子：> 1000m 高程、> 30%坡度、都會區用地外擴 1km 範圍限制。	淺層：315MW 深層：1GW
IV	L3+其他深層地熱 ⁽³⁾ 開發 排除因子：> 1000m 高程、> 30%坡度、都會區用地外擴 1km 範圍限制。	淺層：315MW 深層：6.7GW (1+5.7GW) ⁽⁴⁾

1. 陳培源(2006)針對海拔高度超過 1000m 的地區定義為“高山區”，山坡地開發以 1000m 以下之地區較為適當。

2. 30%之坡度為山地可開發的坡度上限(最新建築技術規則, 2010)。
3. 深層地熱開發條件：深度 3~6km、溫度 $>200^{\circ}\text{C}$ 。
4. 大屯山區溫度雖高，但高溫地區所占的平均面積僅 66.3 km²，約占總潛能開發面積的 11%。

資料來源：工研院台灣 2050 情境與參數設定之背景。