

美國地熱能源法規與政策發展

蔡岳勳^{1*} 蔡玉薰²

摘 要

近年來由於氣候變遷(Climate change)加劇以及化石燃料(Fossil fuel)市場價格波動劇烈，世界各國積極發展再生能源(Renewable energy)以減緩溫室效應(Global warming)與提高自身國家能源安全(Energy security)。所謂再生能源係指來自大自然之能源，其特點為可自行再生、且無耗盡之虞，例如太陽能(Solar Energy)、風能(Wind power)、潮汐能(Tidal power)與地熱能(Geothermal energy)……等。我國雖未受氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)之規範，能源政策規劃仍應兼顧環境與永續發展。此外我國能源多仰賴進口，能源安全問題有探討之必要。臺灣屬於海島型氣候，位處於環太平洋火山地震帶(Ring of Fire)，擁有豐富的天然資源，適合發展多樣化的再生能源以達環境永續與能源安全之目標。本文將針對美國地熱能之發展作介紹，首先說明美國地熱能源發展歷史與現況，接著探討與地熱能源相關之政策及法規，最後介紹美國最新地熱能源技術示範區之設置與發展。我國與美國同樣位處於環太平洋火山地震帶上，具有地熱發電之地質特性，故地熱能源可成為多樣化再生能源的目標之一。我國曾於2013年在宜蘭推動地熱發電，但其成效仍因技術而受到限制，此外目前尚未訂定地熱能源專法，希望透過研析美國發展地熱能源之經驗解決我國當前地熱能源發展之阻礙，以及作為未來地熱能源發展之參酌。

關鍵詞：再生能源、地熱能、增強型地熱系統

1. 前 言

我國為一海島，目前所使用之能源多仰賴國外進口之化石能源，然近年化石燃料市場價格波動劇烈，將對能源安全造成威脅，故替代性能源之開發，提升能源自產率為一重要課題。我國目前使用核能發電作為替代性能源之一，占總發電量約18%，然核能發電所產生之核廢料處理仍有許多爭議，且於2011年在日本因為地震而生之福島核電廠事故(陳宏宇與劉佳玫，2013)，更使同樣位於地震帶之我國思考核能發電之必要性。

位於環太平洋火山地震帶(Ring of Fire)的臺灣，擁有豐富的地熱資源(如圖1所示)，其中又以東北部以及花東地區所蘊含之地熱能源較豐富。過去我國僅大量開發溫泉資源以促進旅遊和經濟發展，尚未發掘潛在的地熱資源亦能發電，在2013年曾在宜蘭清水嘗試地熱發電，但仍有許多技術上的問題需要克服。

美國地熱能源之發展已行之有年，技術層面已從傳統地熱系統發展至增強型地熱系統(Enhanced Geothermal Systems, EGS)，於2013年開始於示範區進行該系統之發展，此外美國針對地熱能源發電之政策法規已相當成熟，可作

¹ 國立雲林科技大學科技法律研究所 副教授

² 國立雲林科技大學科技法律研究所 研究生

*通訊作者，電話：05-5342601#3613，E-mail: dennis@yuntech.edu.tw

收到日期：2015年10月14日

修正日期：2015年12月15日

接受日期：2016年02月29日

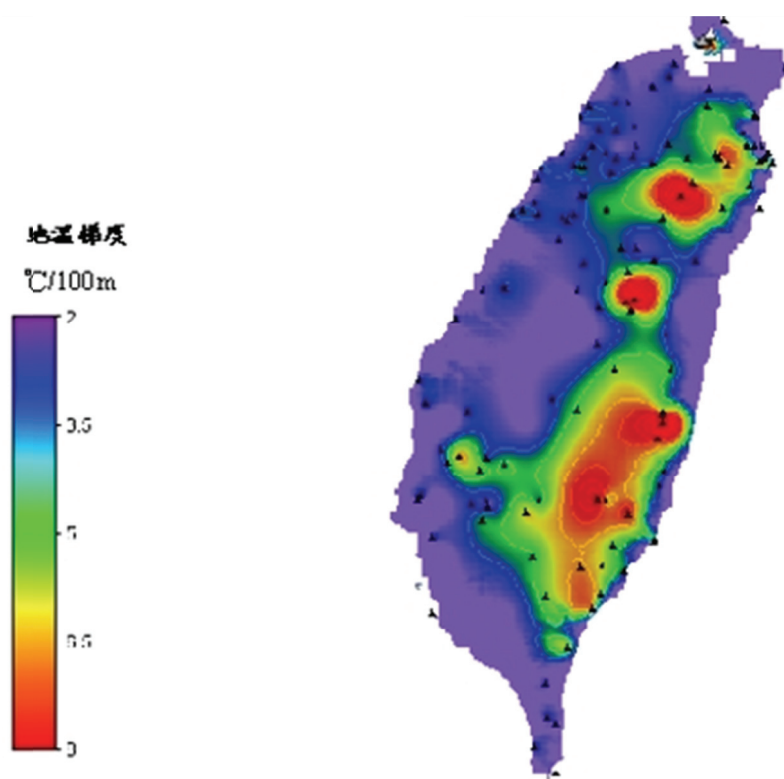


圖1 臺灣之地溫梯度分布
顏色越趨近紅色之區塊，該地區地溫之溫度越高。整個地溫梯度分布看來，臺灣東北部和東部地區的地底溫度較西部高，潛藏龐大的地熱資源。
資料來源：海洋大學，2013

為我國將來發展地熱能源之立法參酌。

2. 美國地熱能源之發展現況

全球地熱能源(Geothermal resource)分布不均，主要分布於三個位置(詳如圖2所示)：1. 環太平洋火山帶，2. 中洋脊(Mid-ocean ridge)，3. 地中海(Mediterranean Sea)至西馬拉雅山(Himalayas)，而美國(America)西岸(West Coast)為環太平洋火山帶的一部分，含有豐富的地熱能源。

對於地熱能源的利用，自考古學(Archaeological)發現更早於一萬多年前居住在北美(North-America)的古印地安人(Paleo-Indians)已有使用溫泉的記錄。

1620年歐洲(Europe)清教徒(Puritan)移居美洲(America)，開始於美洲有一系列的開墾行為。在1807年，歐洲探險員約翰·寇特

(John Colter)首次造訪現今黃石公園的所在地(Yellowstone area)發現了溫泉(Hot springs)，且因溫泉地區的地勢險峻又迷漫濃霧，因而將此地命名為寇特地獄(Colter's Hell)，同年其他新移民在阿肯色州(Arkansas)建造了溫泉城市(City of Hot Springs)以溫泉資源進行經濟活動，作為日後地熱能源利用的先驅。19世紀前期，地熱能源的使用方式大多是以溫泉旅館的方式開發(Energy.Gov, 2014d)。

19世紀末，波夕(Boise, Idaho)的居民以溫泉水運送至鎮上的方式發展出一套區域供熱系統(District heating system) (詳如圖3所示)，在短短幾年內的開發便足以供給鎮上所有居民與商業使用。此種區域供熱系統之使用一直延續至21世紀的今天，目前在當地總共有四個區域供熱系統，足以提供五百萬平方英尺範圍內的居民以及商業使用。此種供熱系統不僅出現在美國，世界各地也有多國使用此種供熱系統，例



圖2 全球地熱能源分布圖
資料來源：Visions.net, 2014

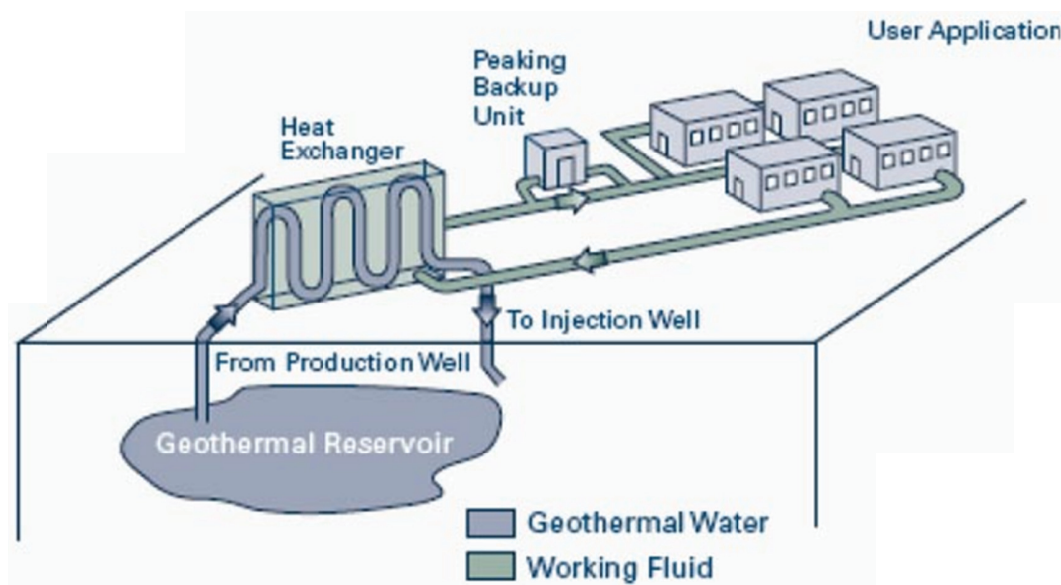


圖3 區域供熱系統示意圖
資料來源：Electrical Engineering Portal (EEP, 2011)

如：歐洲的德國(Germany)與亞洲的日本(Japan) (Energy.Gov, 2014d)。

1948年，俄亥俄州立大學(Ohio State University)的教授卡爾·尼爾森(Carl Nielsen)在其居住地建設了地源熱泵系統(Ground-source heat pump, GSHP) (詳如圖4所示)，地熱能源的利用開始東移(Energy.Gov, 2014d)。

1960年太平洋瓦電公司(Pacific Gas and Electric)在蓋瑟建設了第一個大型的地熱發電廠(Geothermal electricity-generating plant)，其發電量可達11兆瓦(Megawatts, MW)，目前在美國一共有69座大型地熱發電廠。

20世紀末起，陸續有許多地熱能源開發的組織成立，例如：1970年的美國地熱資源

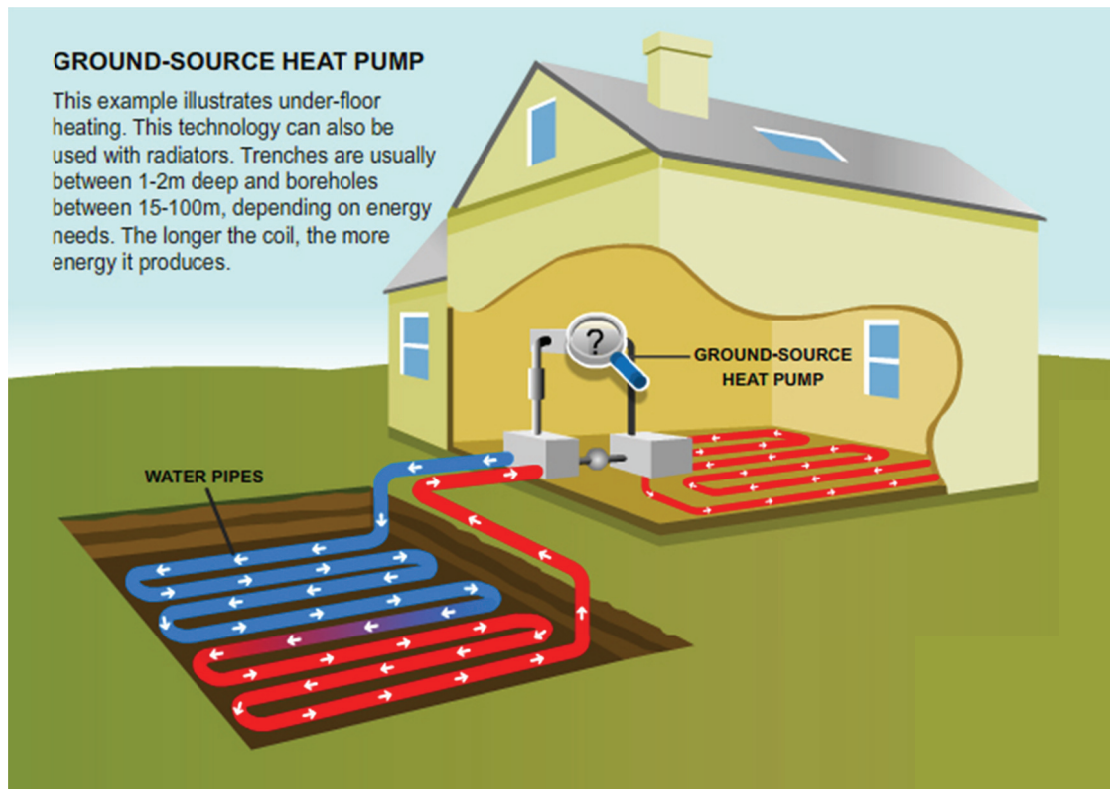


圖4 地源熱泵系統示意圖

地源熱泵系統之鑽井深介於十五到一百公尺之間，其渠溝槽約一或兩公尺深，依據需求不同有不同的規格，系統所產能量與其旋管(Coil)數目成正比，此系統亦可與電暖爐共同結合使用。

資料來源：Energy Efficiency Company (EEC, 2013)

委員會(Geothermal Resources Council, GRC)以及1977年美國能源部(The U.S. Department of Energy, DOE)。除了組織的成立，美國政府亦制定地熱能源使用相關法規，如：1970年的地熱蒸氣法(Geothermal Steam Act)。此時期地熱能源開採技術上也有了新突破，於1989年德州(Texas)建立了利用地熱能源的蒸氣和甲烷(Methane)進行發電的地溫壓(有機郎肯／汽油發電機)混合發電廠(Hybrid (organic Rankine/gas engine) geopressure-geothermal power plant) (Energy.Gov, 2014d)。

21世紀開始，美國能源部為了開發美國西部的地熱能源，與企業合作研發地熱能源開採技術，展開西部地熱發展計畫(GeoPowering the West program)。而近年來因全球暖化(Global warming)以及受國際氣候變遷政策(Climate change policy)影響，美國開始發展再生能源。自2005年開始，美國政府制定了一系列能源政

策，如：2005年能源政策法(The Energy Policy Act of 2005, EPLA2005)，在能源政策中加入了租稅獎勵(Tax incentives) (Prindle, 2006)與貸款擔保(Loan guarantees) (Public Citizen, 2003)，後續亦有2007的能源獨立與安全法案(The Energy Independence and Security Act of 2007)與2009年美國復甦與再投資法案(American Recovery and Reinvestment Act 2009, ARRA 2009)支持地熱能源開採技術的發展(Energy.Gov, 2014d)。

美國地熱能源的發展相當成功，從2014年美國地熱能協會(Geothermal Energy Association, GEA)的美國地熱能源發展年度報告(Annual U.S. Geothermal Power Production and Development Report)中可以發現美國地熱發電產業有逐年穩定成長的趨勢(詳如圖5所示)，於2014年一月已達到3442兆瓦的發電量(GEA, 2014)。

美國因其天然地熱能源豐厚加上發展出多

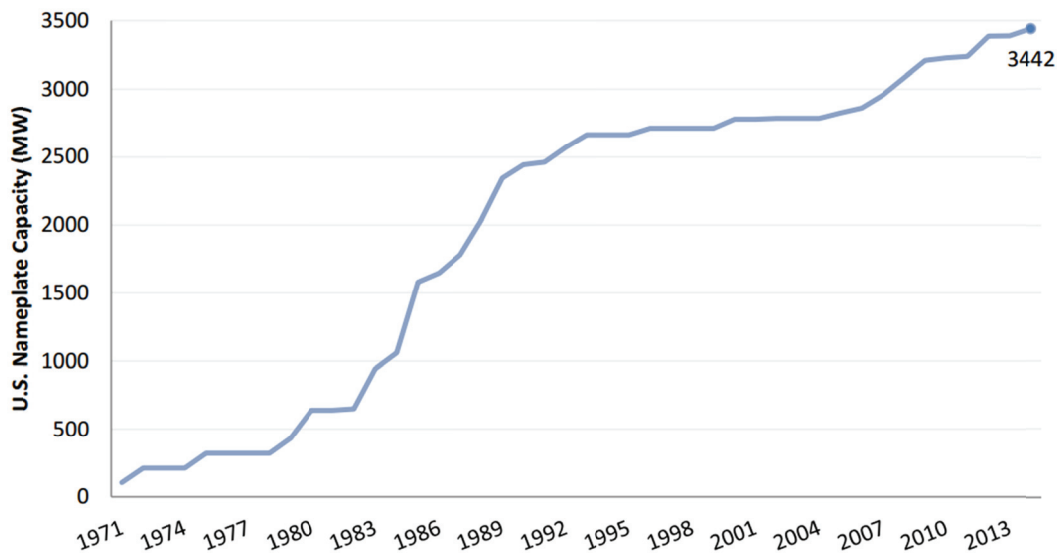


圖5 美國地熱能源發電量
資料來源：2014年4月GEA地熱能源發展年度報告(GEA, 2014)

種地熱能源開採技術，在政策及法律的配合下成為世界上地熱能源發展最成功的國家。

3. 美國地熱能源法規與政策

美國之司法制度分為中央與州，為使地熱資源可以更有效地被利用，美國政府透過立法及提出相關政策排除管轄之問題，於法案或政策中明確分立中央政府與州政府之角色，表1分述與美國地熱能相關之法規與政策。

4. 美國地熱能示範專區

美國政府鼓勵各式再生能源之示範專區設置，以達成再生能源之商業性生產與提高再生能源之產能效率。地熱能源示範區之執行，由地熱技術辦公室與地熱業者以及學術單位共同合作(Energy.Gov, 2014d)，自2002年起開始設置增強型地熱系統示範專區，截至目前為止共有五個示範區(Energy.Gov, 2014f)如表2。

5. 美國地熱能主管機關及其管轄權

5.1 美國能源部(The U.S. Department of Energy, DOE)

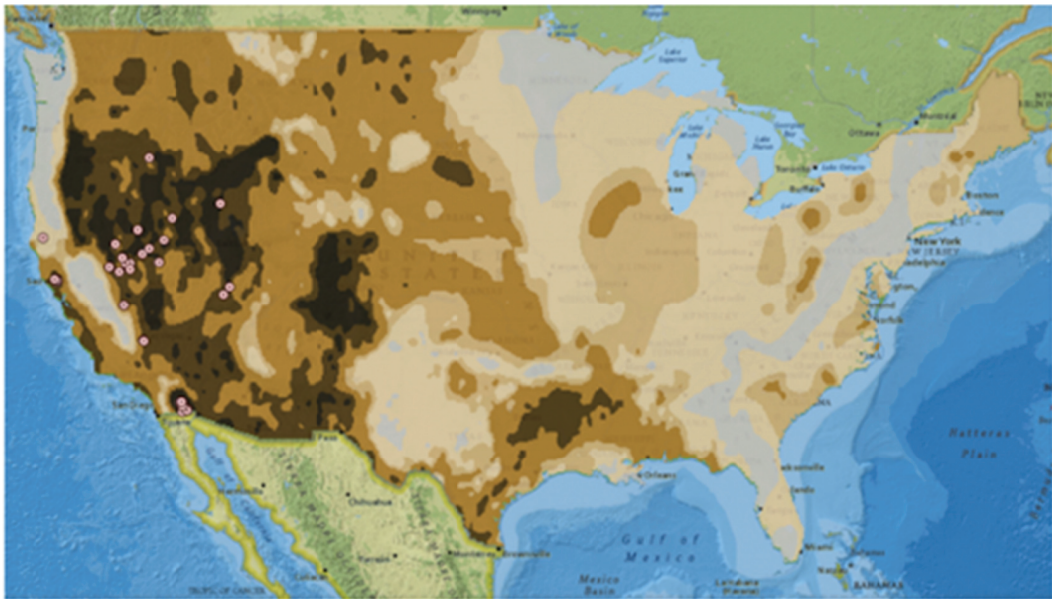
美國能源部於1977年創立，由原來的能源研究發展署(Energy Research and Development Administration, ERDA)、聯邦能源署(Federal Energy Administration, FEA)及其他有關能源的部門整合而成，其成立目的為解決能源問題，其職責主要為能源相關政策法規的制定與執行，管理能源相關業者以及各類再生能源之探勘、研究、開發與利用。本文所提及之地熱能源之技術、探勘、研究、開發與利用之管理即屬於美國能源部之管轄。

5.2 地熱技術辦公室(Geothermal Technologies Office, GTO)

地熱技術辦公室隸屬於美國能源部，其職責為地熱能源之探勘、發展以及核可具有創新性與成本競爭力(Cost-competitive)之地熱能源生產技術，有效利用美國蘊藏之地熱能源，促使國家淨能源發電(Domestic power generation)發展完全，並且與開發業者、學術專家以及能源部之國家實驗室合作進行地熱能源研究(Energy.Gov, 2014e)，其研究方向主要有四：

表1 美國地熱能相關之法規與政策

名稱	3.1 地熱蒸氣法(The Geothermal Steam Act)
通過時間	1970年
內容	<p>地熱蒸氣法於1970年通過，明文定義地熱能源依其獲得方法分類，類別如下：(1)能源地之直接產物：蒸氣、熱水、熱鹵水(Hot brines)；(2)以人工方式取得之間接產物：蒸氣或其他氣體之蒸氣、熱水、熱鹵水；(3)熱能或其他透過地熱能源生成過程所獲之能源(4)副產物(Byproduct)：礦物或是存在於液體或地熱蒸氣中且其比例超75%易於萃取之礦物質(不包含油類、碳氫化合物氣體(Hydrocarbon gas)以及氦氣(Helium)，亦規定地熱能源所在地點不論位於中央政府公有地(Public land)、聯邦政府所有地(Federal land)、農業部管轄之土地或是地熱能源保護區內，地熱能源探勘與發展之決定權屬於內政部部长(Secretary of the Interior)。關於內政部部长與地熱能源開發業者承租土地發展地熱能源之租賃方法有以下規定：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 內政部部长提出可作為地熱能源發展之土地範圍。 2. 土地租金與權利金之使用。 3. 租賃期間最少需10年，承租人之開發成果須達到內政部部长所列之最低目標： <ol style="list-style-type: none"> 3.1 建立該地地熱能源之發展可能性 3.2 倘若前項已達成，則須確立該地熱發電廠可順利發展。 4. 地熱能源發展除非位在完全不影響民生之地點，否則其面積不可大於5,120英畝(Acres)。 5. 對於副產物之使用須先經過承租人之同意。 <ol style="list-style-type: none"> 5.1 租賃契約之撤回。 6. 租賃契約之中止。 7. 租賃契約之到期。 8. 為了有效發展地熱能源，開發業者可使用覆蓋於地熱能源表面之土地。而當地熱蒸氣法與他法(如：州水法(State water laws))抵觸時之豁免權與在其他法律涵蓋下之執行。
名稱	研究發展與示範區法案(Development and Demonstration (RD&D) Act)
通過時間	1974年
內容	透過研究發展與示範區法案，設立地熱貸款擔保計畫(Geothermal Loan Guaranty Program)，提供資金擔保(investment security)給予公營事業或者私人企業使用開發中之技術進行地熱能源之探勘(Buck, 1982)。
名稱	公共事業管理政策法案(The Public Utility Regulatory Policies Act, PURPA)
通過時間	1978年(Energy.Gov, 1978)
內容	美國國會認為欲保障公眾健康、安全、財富以及維護國家安全，首要工作必須確保電力來源供給穩定、提升用電之公共設施的使用效率以及公平的提供電力給予使用者，因此鼓勵使用公用電網(Electric utilities)連接發展具有獨立性且非公用汽電共生設備(Nonutility cogeneration) (Energy.Gov, 2014d)。
名稱	1978年能源稅法(Energy Tax Act of 1978)
通過時間	1978年
內容	此法尚未通過前僅有石油與天然氣業者可享有抵減稅額(Tax credit)之優惠，於此法下美國政府建立第一個投資抵減稅額制度(Investment Tax Credit, ITC)，提供商業抵減稅額(Business tax credit)予太陽能發電、風力發電以及地熱能發電系統之開發業者，此外為了鼓勵居家用電戶使用再生能源(如：太陽能、風力以及地熱能源)發電，以居住抵減稅額(Residential tax credits)給予再生能源發電用電戶作為獎勵。
名稱	地熱再生能源西移計畫(GeoPowering the West program, GPW)
通過時間	2000年
內容	為了開發蘊含在西部的地熱能源(詳如圖6所示，褐色越深的區塊(如：內華達州、加州、新墨西哥州、猶他州和科羅拉多州西部)，其地熱能發電潛力越高，粉紅色圓點為地熱發電場。)，於是美國能源部從2000年開始進行地熱再生能源西移計畫，與地熱能源開發業者、電力公司、工業用電戶以及當地居民共同合作，此外聯邦政府、州政府與地方公家單位也提供科技與法規的協助並附帶限制條件，州層級(State-level)的活動亦獲得成本分攤(Cost-shared)的資金資助，上述優點促使各地區同意在對環境影響最小之情況下開發地熱能源，同時也開展了其他再生能源在西部發展的可能性(National Renewable Energy Laboratory, 2002)。

	
	圖6 美國地熱能源蘊藏分布圖 資料來源：GreenTech media
名稱	2005年能源政策法(The Energy Policy Act of 2005, EPA2005)
通過時間	2005年
內容	能源政策法提供再生能源發展業者租稅獎勵與貸款擔保，並且明文規定地熱能源發展之目標係其產電能力更優於傳統化石燃料(Fossil fuels)，並且加以修改1970年通過之地熱蒸氣法中租賃方法之修正，對於權利金(Royalty)之計算，地熱能源開發業者在租賃期之前十年，透過販售地熱能源所產生之能量而得收入須占總收入額至少1%，至多不超過2.5%，於租賃期滿十年後，往後每年販售該能量所得之收入須占總收入額之2%以上(但不超過5%)，即期盼地熱能源開發業者在十年內穩定地熱能源開採，並在十年後將地熱能源效率提升至兩倍(或以上)，而地之租賃權的部分，主要是針對地熱能源開發之主管機關而訂，主管機關必須對地熱能源開發之土地租賃申請建立起一套完整的行政程序(Administrative procedure)，針對國家森林系統(National Forest System)中之租賃用地須訂定五年計畫，以五年為一單位，每五年更新一次，此外尚須建立聯合數據檢索系統(Joint data retrieval system)以便主管機關追蹤租賃與核可申請，亦提供給申請人了解申請租賃之相關程序(Energy.Gov, 2013a)。
名稱	2007能源獨立與安全法案(The Energy Independence and Security Act of 2007)
通過時間	2007年
內容	為了使美國邁向一個能源獨立且能源安全的國家於2007年所通過之能源獨立與安全法案，此法之管理與職行單位為美國能源部，最高管理人為美國能源部部長，其中地熱能源研究發展促進法(Advanced Geothermal Research and Development Act of 2007)指出能源部必須積極發展與建設地熱能源取得之技術，並且建立地熱能源科學技術交流中心(Center for Geothermal Technology Transfer)，此外尚須持續執行2000年所發展之地熱再生能源西移計畫，並向眾議院與參議院之委員會提出地熱技術報告及成果(GPO, 2007)。
名稱	美國復甦與再投資法案(American Recovery and Reinvestment Act, ARRA)
通過時間	2009年
內容	美國為了促進經濟復甦，緩解2007年至2009年間所發生的經濟大衰退(Economic recession)，於2009年通過美國復甦與再投資法案，除了提供大量就業機會，更加強基礎建設並且投入再生能源開發與技術研發，協助州與各地區穩定其財政。在地熱能源的投資部分，地熱技術辦公室(Geothermal Technologies Office)獲得三億六千八百二十萬美元的資金，在三十八個州與哥倫比亞(Columbia)地區執行一百四十九個地熱能源計畫(Recovery.Gov, 2009)。
名稱	增強型地熱系統示範區計畫(Enhanced Geothermal Systems (EGS) field demonstration project)
通過時間	2012年

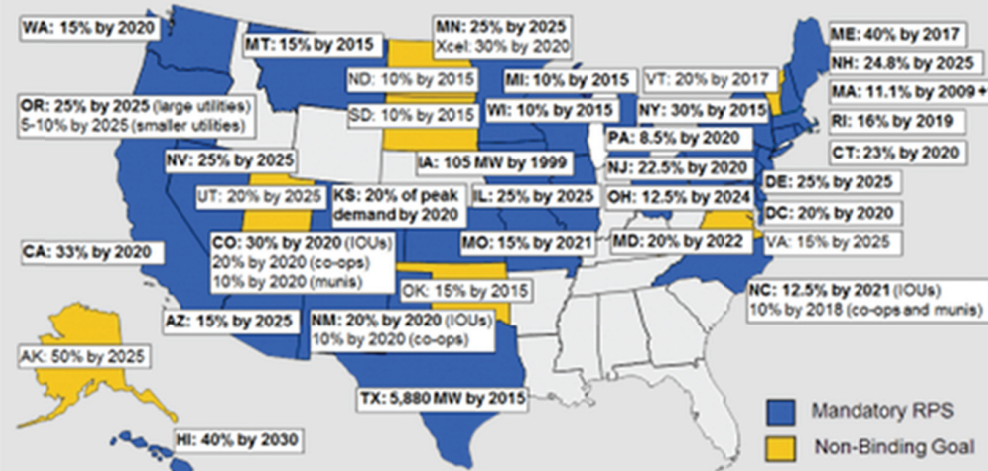
內容	增強型地熱系統示範區計畫在北加州(Northern California)蓋瑟(Geysers)利用地熱蒸氣產電，其產電量已達五百萬瓦(Megawatts)，期望可將此產能大之資源在全國性規模下長期進行發展(Energy.Gov, 2014f)。
名稱	再生能源強制配額標準制度(Renewable Portfolio Standards, RPS)
通過時間	1997年(內華達州最先開始使用)
內容	以法令強制要求各種再生能源技術所提供的能源須有一定比例(配額標準)納入能源生產與利用體系，強制傳統能源供給者須包含一定比例之再生能源在其能源供給結構中，屬固定電量系統(Fixed quantity system)由政規定再生能源發電量，其價格由市場機制決定(蔡岳勳，2009)。此一模式係從強制改變市場供給結構著手，進而達成能源自主目標，由政府設定明確的總量目標規定發電廠商或經營電網之配電商，須保證一定比例之電力係原自再生能源發電，但就價格則由市場機制決定。不同種類之再生能源技術於同一市場競爭，有利於篩選最有效率之再生能源技術。此外亦可發現此制度係由發電商或經營電網之配電商負擔，此與其擔負該政策性義務而造成之成本增加之轉價機制有關，透過此一與用戶端緊密聯系之部門，可以容易轉嫁給最終用戶負擔。此機制課予電力供應公司利用再生能源產生一定比例電量之義務，讓美國各州能按照自身合適的再生能源組合分配電力配比，由於沒有限制推廣再生能源種類，可以讓各州評估最適合推廣的再生能源法案(蔡岳勳，2011)。目前美國已有37州與哥倫比亞地區(District of Columbia)北馬利安納群島(Guam, N. Mariana Islands)、波多黎各(Puerto Rico)與美屬維京群島(U.S. Virgin Islands) (詳如圖7所示)建立再生能源強制配額標準制度，其他州雖無訂定，但仍有其自願性目標(Berkeley Lab, 2015)。
	 <p>圖7 美國各州實施再生能源強配額標準分布圖 資料來源：Berkeley Lab, 2015</p>

表2 美國地熱系統示範專區

沙漠峰(Desert Peak)示範區	
地點	內華達州(Nevada)邱吉爾郡(Churchill County)
時間	2002年9月
資金	美國能源部：五百四十萬美元 企業贊助：二百六十萬美元 共計八百萬美元(Energy.Gov, 2013b)
簡述	此示範區計畫與歐瑪特工業(Ormat Technologies)合作，利用水力破裂方法(Hydraulic Fracturing)增加該示範區地層環境之通透性(Permeability) (李伯亨等，2014)，以及評估位於原型盆嶺地形(Prototype Basin and Range)之示範區東部是否具備增強型地熱系統技術發展之可能性，先前雖已有低環境敏感之地熱系統發展，此示範區已有良好基礎建設並且具備適宜增強型地熱系統發展之地形，但仍須透過示範區內場以及東邊之兩口鑽井和地球科學研究結果之數據加以確認此區是否適合發展增加型地熱系統技術。此計畫之執行除了成功的增加當地38% (一百七十萬瓦)之電力產生(Energy.Gov, 2013c)，亦透過發展地熱能源之過程增加就業機會，更提升企業對於地熱系統開發之信賴度，沙漠峰示範區之成功為日後蓋瑟示範區紐貝里火山(Newberry volcano)示範區之借鏡。

紐貝里(Newberry volcano)火山示範區	
地點	奧勒岡州(Oregon)本德郡(Bend)
時間	2010年5月
資金	美國能源部：四千四百萬美元
簡述	<p>此示範區與阿爾塔洛克(Altarock)公司合作開發，其目的係在未開發地區(Greenfield)發展增加型地熱系統，包含地熱能源的研究調查、試驗性鑿井、製造地熱儲集層(Geothermal reservoir)並測試鑿井之產能、評估該地區儲集層之優缺點以及該鑿井設施的持續性使用維護(Energy.Gov, 2014a)，由於此示範區是首次開發之地，發展過程中主要面臨二個問題，以下分別敘述該問題與解決方式：</p> <p>問題一：鑿井過窄，以致其流通度過小(Energy.Gov, 2013e)。</p> <p>為解決此問題，阿爾塔洛克公司使用熱裂解帶狀隔離物料(Thermally-degradable zonal isolation materials, TZIMS)填進鑿井中的斷層處，以填通物與水流結合增加鑿井之流通度，透過此法可利用單一鑿井開發出多個儲集層，藉增加儲集層之方式增加鑿井之流通度。熱裂解帶狀隔離物料為一種生物可降解性聚合物(Biodegradable polymers)待鑿井激發後將被推至鑿井底，在時間與高溫的作用後將被微生物(Microorganism)分解，此種暫時性的填充方式不會造成鑿井堵塞而影響其後續採集地熱能源之工作(Altarock, 2014a)，對於此物料的監控，阿爾塔洛公司則使用了分布式光纖偵溫系統(Distributed Temperature Sensing, DTS) (Altarock, 2014b)，此系統利用光纖作為溫度感應器，可沿著光纖大範圍地偵測光纖周圍的溫度情形，感應光纖緊貼在被測物表面，或者靠近被測物鋪設，能準確的將被測物分成數千個測定區域，來即時顯示偵測到的溫度。</p> <p>問題二：如何最佳化鑿井激發系統的設計。</p> <p>使用孔內電視攝影(Borehole Televiewer, BHTV)將具照明、定位及攝影功能的探測器深入孔內，將孔壁影像數位化後，可以用肉眼觀查井壁狀況，或由裂隙的形狀計算裂隙的傾角、走向與寬度等資訊。除孔內電視攝影的使用外，阿爾塔洛克公司開發了AltaStim，此系統可預測採集地熱能源時所需用水量、泵壓力與流動速率，以作為設計採集系統之參考。</p> <p>紐貝里火山示範區在未開發區成功發展地熱能，也是首次創造出單一鑿井多儲集層的地熱發電系統(Energy.Gov, 2014a)，此示範區之成果將吸引地熱能業者與學者更積極開發美奧勒岡州之地熱潛能區(Central Oregon's Leader, 2013)。</p>
蓋瑟示範區(Calpine corporation at the geysers)	
地點	北加州(North California)中州鎮(Middletown)
時間	2008年9月
資金	美國能源部：六百萬美元
簡述	<p>此示範區勞倫斯柏克萊國家實驗室(Lawrence Berkeley National Lab)合作，以水力破裂法刺激原先已位於高溫地區(High Temperature Zone, HTZ)中之鑿井，藉此增加該地區儲集層之通透性，以便於往後地熱能源之取得。該地區透過增強型地熱系統之設置獲得純度更高之地熱蒸氣，透過該蒸氣產生五百萬瓦之電力，也因該示範區成功增加該地區之發電量，該計畫除獲得當地居民之認同外，亦獲得他們的協助(Energy.Gov, 2014b)。</p>
瑞特河(Raft river)示範區	
地點	愛荷達州(Idaho)
時間	2009年6月
資金	美國能源部：八百六十萬美元
簡述	<p>此示範區計畫與猶他大學(University of Utah)合作，透過熱技術與液壓技術結合再次利用先前已開發但發電量過低之舊鑿井，將該地區原有之舊鑿井提升成 業等級之鑿井。</p> <p>有別於其他示範區計畫，此計畫以四個階段，階段性的對鑿井進行刺激，前兩階段以不同溫度之水柱入鑿井中，透過水壓進入鑿井將其內部之斷層打通相連，使儲集層容量增大，在第三階段則是使用高速率之水流進行刺激，使鑿井中之流體回流，確認鑿井內部是相通的，倘若發現鑿井內部堵塞，會再次進行刺激作用或加入支撐劑以確保儲集層之流通度，每個階段都會透過微震活動與即時性壓力評估鑿井內部進行監控(Energy.Gov, 2014c)。</p>
布狄斯示範區(bradys)	
地點	內華達州(Nevada)
時間	2008年9月
資金	美國能源部：四百五十萬美元

簡述	二度歐瑪特工業執行布狄斯示範區計畫(Energy.Gov, 2013d)合作，此示範區之目標為將位於布狄斯示範區南方發電廠之產能提升至商業用等級，將過去設置沙漠峰示範區經驗運用於此，促進該地區液壓流之連結使增強型地熱系統的設置更普遍，未來期盼將此發展成具高經濟效益之技術提供給其他計畫使用，藉此使地熱能源成為國內基本負載之發電來源。 此示範計畫成功的提升該地區發電廠之發電量，且布狄斯示範計畫所採用之技術收編至增強型地熱系統資料集(EGS Toolbox)中以供將來科學研究與開發業者參考。
----	--

5.2.1 增強型地熱系統(Enhanced Geothermal Systems, EGS)

相較於傳統地熱系統，增強型地熱系統可利用更便利之方法獲得一百吉瓦(Gigawatt, GW)以上之電力，並且可以廣泛設置於傳統地熱能源系統無法設置之偏遠之處。

5.2.2 熱流與能源結構(Hydrothermal and Resource Confirmation)

地熱能源須藉由流體(Fluid)、蒸氣(Heat)與通透性才可產生電力，此三種特性皆可在常見的天然熱流能源尋得，這些地熱能源遍布在各種地質環境(Geologic settings)中，可能存在於非光滑面之下，倘若無法直接從地表正確的預測溫度以及其滲透性將會是地熱能源探勘之一大風險。地熱技術辦公室致力於地球物理學(Geophysics)、地質學(Geology)、地質化學(Geochemistry)、遠距感測(Remote sensing)以及橫割切面(Cross-cutting)的研究，希望可增加地熱能源探勘之成功率以及減少探勘成本(Energy.Gov, 2014g)。

5.2.3 低溫能源(Low-Temperature Resources)

低溫能源與共生產能源(Coproduced resource)為攝氏一百五十度(或者低於攝氏一百五十度)之持續成長中的小型地熱能源，通常可以直接使用(Direct-use applications)，作為地域熱供給(District heating)、溫室(Greenhouses)、漁業(Fisheries)、採集礦物(Mineral recovery)以及工業製程用熱(Industrial process heating)之用，因此可以在短期內投資即

可獲得回饋，故地熱技術辦公室與開發業者、學術專家和國家實驗室積極研究與發展低溫能源技術(Energy.Gov, 2014h)。

5.2.4 系統分析(Systems Analysis)

系統分析著重四個要點，分別為環境議題(Environmental issues)、政策法規與財務之研究、經濟分析與確效(Validation)研究以及支持地熱能源探勘與發展之數據和工具的研究，為了達成上述研究目標(Energy.Gov, 2014e)，有以下五種方法綜合分析之：

5.2.4.1 環境分析(Environmental Analysis)

透過研究與分析地熱計畫之週期、水資源的使用以及地震活動度(Seismicity)加以探討地熱能源技術對於環境之影響。

5.2.4.2 市場與政策分析(Market and Policy Analysis)

透過變動市場與政策分析提出相關意見，使現行地熱能源政策更加完全，並且鼓勵社區增加地熱能源之使用。

5.2.4.3 戰略計畫(Strategic Planning)

地熱技術辦公室發展每兩年更新之多年期地熱技術研究發展與示範區計畫(Geothermal Technologies Multi-Year Development and Demonstration (RD&D) Plan)，對地熱發展投入資金並編列預算。

5.2.4.4 地熱能源數據系統(Geothermal Data Systems)

地熱技術辦公室蒐集世界各國之地熱能源發展數據，並將這些數據儲存於國家地熱能源系統(National Geothermal Data System, NGDS)，提供未來開發地熱能源之參酌以降低開發之風險。

5.2.4.5 經濟影響工具(Economic Impact Tools)

回顧地熱能源發展之成本與經濟影響的總支出額，評估地熱技術之獲益與風險。

5.3 土地管理局(Bureau of Land Management, BLM)

土地管理局為美國內政部(United States Department of the Interior)轄下之單位，欲開發聯邦政府之土地者須先獲得土地管理局核發之地熱租賃權。

6. 臺灣地熱能源發展建議方向

我國地熱能源蘊藏量豐富，專家評估該蘊藏量相當於65座核四廠之發電量(海大，2013)，由此可見地熱發電發展成為替代性能源之優勢，然截至目前為止僅有宜蘭縣清水鄉於2013年開發商業性地熱發電廠，臺灣發展地熱能源所面臨之問題，以下分別述之：

6.1 技術

臺灣之地熱能源開發較晚，開發技術尚未成熟，此外臺灣地狹人稠，不適合大面積的地熱技術發展。國外增強型地熱系統之技術，係藉由單一鑿井，透過水力破裂法之技術提升地層之通透性，其所需之開發面積較傳統地熱系統小，此一技術可作為臺灣未來發展方向之參考。

6.2 法規

由於臺灣並無地熱發電專法，因此地熱發電所涉及之法規層面廣。首先是發電業皆須面

臨之電業籌設問題，此將涉及電業法之收費與電源引接…等問題；在土地使用部分，將涉及國有財產法中土地租賃與經營，倘若地熱潛能區位於溫泉觀光區與國家公園內，將分別涉及溫泉法對溫泉之保育和永續利用與國家公園法對於開發國家公園內土地之限制，而開發前之環境影響評估與地質探勘，將分別影響環境影響評估法、開發行為環境影響評估作業準則…等與地質法、地質敏感區基地地質調查及地質安全評估作業準則之執掌範圍，如何在各個法規所涉及之業務進行調合與修訂將會是一大挑戰。臺灣雖與美國之立法制度不同，但仍可參酌美國地熱相關專法將原先涉及法規最適化，或者另外針對地熱能源發電另立專法。

6.3 公民參與

大型開發影響民生或者當地經濟產業發展，將會引起當地居民對於開發行為之反彈。在地熱發電開發過程中，影響溫泉觀光業甚多，為了降低與當地居民之糾紛，參照過往國外經驗，如：美國，於1978年通過之能源稅法，對於開發再生能源地區之居民提供居住抵減稅額，使當地居民有電費減免之優惠，以此降低反彈聲浪並促成再生能源於地區之發展(Mendonc *et al.*, 2009)。

致 謝

本論文感謝科技部104年度「國家型科技計畫(整合性)：臺灣發展淨源節流科技所涉法令限制探討研究(II)-子計畫二：我國淨源節流法制之檢討與調適建議」。

參考文獻

李伯亨、柳志錫、劉力維、謝瑞青、郭泰融、王俊堯，2014。增強型地熱系統發展分析與探討，臺灣能源期刊，第一卷(第三期)：325-348。

- 海洋大學，2013。海洋大學應用地球科學研究所：臺灣地熱資源相當於65座核四廠，http://blog.ntou.edu.tw/oceannews/2013/06/65_1.html。
- 陳宏宇、劉佳玫，2013。臺灣地熱潛能之發展，臺灣能源期刊，第一卷(第一期)：85-103。
- 蔡岳勳，2009。跛腳的能源法案－評析再生能源發展條例，月旦法學雜誌，第174期：69-87。
- 蔡岳勳，2011。當代國際新能源政策與法制發展，Airiti Press Inc.，臺灣。
- Altarock, 2014a, THERMALLY-DEGRADABLE ZONAL ISOLATION MATERIALS (TZIMS), available at: <http://altarockenergy.com/technology/tzim/>
- Altarock, 2014b, ALTAROCK STIMULATION SERVICES, available at: <http://altarockenergy.com/altarock-stimulation-services/>
- Berkeley Lab, 2015, Renewables Portfolio Standards Resources, available at: <http://emp.lbl.gov/rps>
- Buck, Alice, 1982, A History of the Energy Research and Development Administration, available at: <http://energy.gov/sites/prod/files/ERDA%20History.pdf>
- Central Oregon's Leader, 2013, Geothermal on the rise across the U.S. Tests near Newberry Crater prove successful, available at: <http://www.ktvz.com/news/Geothermal-on-the-rise-across-the-U-S/19100954>
- Electrical Engineering Portal (EEP), 2011, Geothermal Energy – The Hot Facts, available at: <http://electrical-engineering-portal.com/geothermal-energy-the-hot-facts>
- Energy.Gov, 1978, UBLIC UTILITY REGULATORY POLICIES ACT OF 1978 (PURPA) available at: <http://energy.gov/oe/services/electricity-policy-coordination-and-implementation/other-regulatory-efforts/public>
- Energy.Gov, 2013a, ENERGY POLICY ACT OF 2005, available at: http://energy.gov/sites/prod/files/2013/10/f3/epact_2005.pdf
- Energy.Gov, 2013b, Desert Peak East EGS Project, available at: <https://www4.eere.energy.gov/geothermal/projects/206>
- Energy.Gov, 2013c, First Commercial Success for Enhanced Geothermal Systems Spells Exponential Growth for the Future of Geothermal Energy, available at: http://www1.eere.energy.gov/geothermal/news_detail.html?news_id=19234
- Energy.Gov, 2013d, Feasibility of EGS Development at Brady's Hot Springs, available at: <https://www4.eere.energy.gov/geothermal/projects/124>
- Energy.Gov, 2013e, Geothermal Technologies Office 2013 Peer Review _Newberry EGS Demonstration , available at: http://energy.gov/sites/prod/files/2014/02/f7/newberry_demo_peer2013.pdf
- Energy.Gov, 2014a, Newberry Volcano EGS Demonstration, available at: <https://www4.eere.energy.gov/geothermal/projects/53>
- Energy.Gov, 2014b, Demonstration of an Enhanced Geothermal System at the Northwest Geysers Geothermal Field, available at: <https://www4.eere.energy.gov/geothermal/projects/122>
- Energy.Gov, 2014c, Enhanced Geothermal Systems - Concept Testing and Development at the Raft River Geothermal Field, available at: <https://www4.eere.energy.gov/geothermal/projects/125>
- Energy.Gov, 2014d, A HISTORY OF GEOTHERMAL ENERGY IN AMERICA, available at: <http://energy.gov/eere/geothermal/history-geothermal-energy-america>
- Energy.Gov, 2014e, GEOTHERMAL TECHNOLOGIES

- OFFICE, available at: <http://energy.gov/eere/geothermal/geothermal-technologies-office>
- Energy.Gov, 2014f, ENHANCED GEOTHERMAL SYSTEMS DEMONSTRATION PROJECTS, available at: <http://energy.gov/eere/geothermal/enhanced-geothermal-systems-demonstration-projects>
- Energy.Gov, 2014g, HYDROTHERMAL, available at: <http://energy.gov/eere/geothermal/hydrothermal>
- Energy.Gov, 2014h, LOW-TEMPERATURE AND COPRODUCED, available at: <http://energy.gov/eere/geothermal/low-temperature-and-coproduced>
- GEA, 2014, Annual U.S. Geothermal Power Production and Development Report, available at: <http://geo-energy.org/events/2014%20Annual%20US%20&%20Global%20Geothermal%20Power%20Production%20Report%20Final.pdf>
- GPO, 2007, Energy Independence and Security Act of 2007, available at: <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/BILLS-110hr6enr/pdf/BILLS-110hr6enr.pdf>
- Mendonc, Miguel a, Stephen Lacey, Frede Hvelplund, 2009, Stability, participation and transparency in renewable energy policy:Lessons from Denmark and the United States, Policy and Society, 27: 379–398
- National Renewable Energy Laboratory, 2002, GeoPowering the West, available at: <http://www.nrel.gov/docs/fy02osti/31864.pdf>
- Prindle, Bill, 2006, Energy Efficiency Tax Incentives in the Energy Policy Act of 2005, available at: http://www.epa.gov/statelocalclimate/documents/pdf/4_20_06_EPACT_Tax_incentives_Prindle.pdf
- Public Citizen, 2003, Summary of Loan Guarantee Provisions in House and Senate Energy Bills, available at: <http://www.citizen.org/documents/SummaryLoanGuaranteeProvisions.pdf>
- Recovery.Gov, 2009, THE RECOVERY ACT available at: http://www.recovery.gov/arra/About/Pages/The_Act.aspx
- Wisions.net, 2014, GEOTHERMAL ELECTRIC POWER, available at: <http://www.wisions.net/technologyradar/technology/geothermal-electric-power-1>

Development of Geothermal Energy Regulation and Policy in the U.S.

Yueh-Hsun Tsai^{1*} Yu-Hsun Tsai²

ABSTRACT

In recent years, the climate change is becoming worse and the market price of fossil fuel is continue to fluctuate. In order to slow down the Global warming effect and raise up the Energy security, many countries commit to develop renewable energy. The renewable energy means the resources from the nature and it can renew by itself, such as solar energy, wind power, tidal power, geothermal energy... and so on. Though Taiwan did not regulate the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), the national energy policy planning should take balance between Environment and Sustainable Development. Furthermore Taiwan depends on the resource from imports, the issue of energy security must be discussed. Taiwan belongs to sea-island countries, located on Ring of fire. Taiwan has potential of developing different kinds of renewable energy for sustainable development and ensure the energy security. This paper introduce the development of geothermal energy in the U.S. The first of this paper is the history of it. The second part talks about the policy and regulations. The last part of this paper introduce the newest technology of the geothermal energy and its demonstration area in the U.S. Taiwan and the U.S. are the countries with plenty of geothermal energy, located on the Ring of Fire. Taiwan once demonstrate geothermal energy in Ilan in 2013, the effect was limited by the technologies. And Taiwan has no specific regulation of geothermal energy. Taiwan can learn how to solve the problems from the experiences of the development of geothermal energy in the U.S.

Keywords: Renewable energy, geothermal energy, enhanced geothermal system

¹ Law, Associate Professor, National Yunlin University of Science and Technology, Graduate School of Science and Technology

² Law, Graduate Student, National Yunlin University of Science and Technology, Graduate School of Science and Technology

* Corresponding Author, Phone: +886-5-5342601#3613, E-mail: dennis@yuntech.edu.tw

Received Date: October 14, 2015

Revised Date: December 15, 2015

Accepted Date: February 29, 2016