

能源與節能減碳：一些重要的概念

楊日昌^{1*}

摘 要

能源是人類文明往前推進的主要動力，但是它大量的使用已經開始明顯的影響地球的氣候系統，所帶來的衝擊將可能會大到危害我們的存續。這個巨大的問題使能源未來的發展都必須要以「節能減碳」為主軸。我們需要達成的任務將不會小於要把人類龐大的能源系統徹底的翻新。在這樣一個大環境裡，做為一個地窄人稠，又是以工業立國的小島國，臺灣在能源和節能減碳上所面臨的挑戰可能比大部分的國家都要來得大。不只如此，即使是一些很基本的東西，像電力的安全供應現在都已經是愈來愈不容易。

不論在世界或是在臺灣，關心能源的人很多，聲音也都不小，但是對能源這個多元互相連動的複雜議題好像常常還是有點「各就立場，各取所需」的味道。這篇文章的目的是希望藉由一些概念的陳述，更系統化的從「執行面」(也就是「怎麼做」)的出發點來看能源今天面臨的諸多議題。對熟悉能源的人，希望能鼓勵他們去為必須要找到的答案做更深入的探討；對比較不熟悉能源但想多瞭解一點的人，則是希望能夠為他們提供一些有用的思考方向。它的內容大致分為兩部分，第一部分以世界為著眼點來看能源與節能減碳的議題，第二部分則探討臺灣的獨特挑戰和可能的未來途徑。

關鍵詞：能源、節能減碳、綠能產業、綠能科技、能源效率、頁岩油氣

1. 能 源

能源是一件「大事」，能源的供應在全世界是一個大約每年六兆美元的巨大產業，不但在所有產業裡排第一，其他產業也都要靠它才能運行。以下就先對我們人類使用能源的演進，以及目前在能源這領域裡最受人矚目的頁岩油氣這個題目做一個簡要的介紹。

1.1 人類能源的演進

人類跟能源的關係可以回溯很久很久，我們最早的能源是木頭，到了十三世紀，歐洲遇

到了第一個比較大規模的「能源危機」。原因是樹快要不夠砍了，還好這時候有煤碳上來替補，才能繼續的運轉下去(Freese, 2003)。到了十八世紀中葉，煤碳的充沛供應使產業科技開始突飛猛進，帶來了工業革命，經濟開始快速穩定的成長，開啟了對人類的生存和生命品質有如脫胎換骨一般的改變。

到了十九世紀末，石油開始在美國中西部大規模的開採與生產，那時候所造成的革命不是我們熟悉的汽油和汽車，而是柴油(kerosene)和廉價的照明，連窮人家的夜晚不必再在黑暗中渡過，人類的生命等於被延長了三分之一。

¹工業技術研究院特聘專家

*通訊作者, 電話: 03-5916324, E-mail: yangjihchang@itri.org.tw

收到日期: 2014年05月05日

修正日期: 2014年05月15日

接受日期: 2014年05月22日

到了汽車發明之後，汽油又把我們生存遊走的空間大幅擴大，連帶我們的「自由」也大幅升級。石油的威力當然也很快的改變了戰爭的武裝和整體佈局，兩次世界大戰裡石油的取得和供應都是最高層次的戰略焦點和決勝關鍵。到了1950年代石油第一次超越煤碳成為人類能源的最大來源，達到了它如日中天的高點(Yergin, 1991)。

石油這不斷直線上升的走勢到1970年代開始進入了一個轉折點。1970年間在石油輸出國組織(OPEC)的主導之下，我們經歷了第一次和第二次的能源危機(石油危機)。大家開始有了要取代石油，要節約能源，以致要開發再生能源的覺醒，逐漸的進入了今天這個石油、煤碳和天然氣三足鼎立的時代(現在各佔人類耗能總量的32、27和21%) (IEA, 2013-1)。核能則是在1960年代開始興起。許多人當時以為它會成為未來電力的主流。但是安全的疑慮和民眾的反對以及日益高漲的成本使它的發展慢了下來。新式的再生能源，像太陽能、風力能則到今天在總能源供給的占比都還是只有1%左右，不過它們的成長是最快速的(IEA, 2013-1)。

回顧從一九七三年第一次能源危機以來的過去四十年，我們人類的能源耗用量大約成長了一倍(每年大約成長2%)。在這段時間裡我們開始警覺到溫室氣體排放所引發的地球暖化問題，也逐漸的瞭解過去傳統的能源發展模式已經不能再持續下去了。針對這點，世界各國終於在聯合國氣候變遷綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)的框架之下達成了要把本世紀末地球暖化的程度控制在不超過工業革命前2°C的總體努力目標，這代表未來全球節能減碳的努力必須要在2050年之前能夠把溫室氣體的排放量比常態發展(business as usual, BAU)降低80%才行(Stern, *et al.*, 2006; IPCC, 2007)。這個發展告訴我們以前那個可以無憂無慮用能源的純真年代(age of innocence)已經結束了，未來的全球能源系統必須要跟我們熟悉的過去徹頭徹尾的不一

樣才行。

1.2 頁岩油氣的發展

雖然節能減碳這件艱鉅的工作，是我們現在就應該全神貫注去推動的大事，但是今天全世界在能源這領域裡最受矚目的焦點不是節能減碳，而是頁岩油氣(shale oil and gas)的爆破性發展。

利用液裂技術(Hydraulic fracturing, or fracking)使原來鎖在頁岩層裡的油和氣能被開採出來的技術，其實美國早在十九世紀末就已經開始嘗試。1980年間搭配了水平鑽井，數值模擬輔助以及其他相關科技的大幅精進，使它漸趨成熟。過去十年裡更因為油價的大幅上揚而帶動了天然氣價的大幅上漲，造就了頁岩氣的開採成為經濟可行的條件，開始快速的躍進。到2012年頁岩氣已經是美國天然氣總年產量的40% (EIA, 2013)。英國石油公司(British Petroleum, BP)更預測到2035年頁岩氣將會佔到美國天然氣總產量的68% (BP, 2014-1)。由於頁岩氣的大量生產，美國天然氣的價格已經從2008年每千立方呎13美元大幅降到了大約4美元(最低點曾低於2美元)。除了在經濟面與整體能源面上所產生的重大影響之外，便宜的頁岩氣使燃煤在美國發電的占比從2005年的50%降到了2012年的37% (Bloomberg, February 14, 2014)。這個轉變使美國這個不願意加入京都議定書而飽受國際撻伐的國家在減碳幅度上一躍而超越了原來的模範生 -- 歐盟(WSJ, April 18, 2014)。

最近，美國頁岩氣革命的熱點又從頁岩「氣」(產量過剩，價格低落)，開始轉向到利潤大得多的頁岩「油」。因為頁岩油的生產，美國的石油產量已經從2008年的每天5.0百萬桶，成長到2011年的5.7百萬桶，和2013年的7.5百萬桶(過去一年內成長0.99百萬桶) (NYT, January 24, 2014)。國際能源署(International Energy Agency, IEA)更是樂觀的預測美國在2015年的產油量將會超過沙烏地阿拉伯和俄國，而

成為世界上最大的產油國(IEA, 2013-2)。

頁岩油氣對美國的貢獻不只是在能源的範疇裡。過去短短的六、七年裡，它不但已經對美國的能源自主(energy independence)和節能減碳都造成了很大的貢獻，因為大量生產而帶來的低廉氣價更帶動了美國製造業的回流和復興，使整個國家的經濟，尤其是以前仰賴高耗能產業的蕭條地區都活絡了起來。管理顧問公司麥肯錫(McKinsey & Co.)估計到2020年，頁岩油氣的發展將會替美國創造170萬個就業機會(MGI, 2013)。

頁岩油氣的革命當然也是個幾家歡樂幾家愁的事，便宜的能源會改變國家之間的競爭態勢，頁岩氣對國際競爭力的影響將會在石化業最為明顯。以美國現在天然氣的價格，用它來生產乙烯(ethylene)這個關鍵的石化原料要比在歐洲和其他國家(包括台灣)以石油為原料生產的乙烯便宜幾乎三倍(Bloomberg Businessweek, May 30, 2013)。根據美國化學協會(American Chemical Council, ACC)的估計，未來七年裡這種優勢將會在美國促成710億美元的投資，使2020年美國的石化產品出口成長66%，達到每年1,340億美元(NYT, September 20, 2013)。看起來在這個領域裡未來可能只有天然氣比美國更便宜的阿拉伯國家可以與美國抗衡，相形之下，那些靠石油為原料的國家要如何使它的石化業根留國內就成了一個很麻煩的問題。

頁岩油氣的開採目前大致上還侷限在美國，但是這個資源卻是廣布在世界各地，美國能源部的能源資訊署(Energy Information Administration, EIA)所做的全球調查顯示美洲、歐洲和亞洲各大陸都有豐富的頁岩氣儲量，這中間又以中國為最大(EIA, 2013)。中國是世界的製造中心，自主能源具有高度的策略性，很自然的應該會全力去發展。現在雖然許多人都因為它在開採技術上還落後美國很多，而且地質和水資源條件以及輸送管線等基礎建設都未盡理想，所以不看好頁岩氣在中國的發展，但是這些挑戰未見得就是遊戲的終結因素(game

breakers)，最後決定的關鍵還是在成本和經濟可行性。對中國而言，應該不應該大力開發頁岩氣，不是看它的成本能不能跟美國一樣低，而是要看不開發本土頁岩氣的替代(alternative)是什麼。譬如，如果這個替代是從俄國用管線輸入的話，那麼只要在本國開採的成本不比從俄國管線輸入貴太多就有開採的策略價值，因此中國在十幾、二十年後成為重要的頁岩氣生產國是有其可能的。

任何一個很熱門的東西都有可能使人們對它有過大的期待。以下提供幾個比較審慎一點的思考方向：

首先，美國的頁岩油氣經驗會複製到其他國家去嗎？世界上雖然有很多國家都有豐富的頁岩油氣儲量，但是它們都還沒有美國所擁有的條件(尤其是它眾多個經驗豐富，技術高超，高度機動的中小型油氣公司)去充分開發這些資源。根據BP的評估，一直到2035年，美國生產的頁岩氣都還會佔全世界的70%以上(BP, 2014-1)；因此，頁岩氣在美國已經產生了的策略性意義很可能在未來二十年裡都還是一個大致侷限在美國的現象。另一個值得觀察的東西是它的成本，美國到現在從頁岩氣得到的好處，幾乎全是因為它生產過量而造成的超低廉成本所帶來的。其它國家的頁岩氣如果缺乏跟美國一樣的條件，價格就可能高很多，再加上環境衝擊的考慮，它的策略性意義，甚至會不會比較大規模的生產就都比較有疑問了。

第二，過去六、七年頁岩氣在美國相當大幅度的取代了燃煤發電，從而產生了很顯著的減碳效果。哪麼頁岩氣真會成為節能減碳的一個重要因素嗎？這答案是 "Yes and no"。頁岩氣在美國造成的減碳效果主要是因為它低廉的價格。這低廉的價格能持續多久現在還很難說。過去這個冬天，美國中西部和東部的酷寒使天然氣的需求增高了不少，氣價也隨之從每千立方呎美元4塊錢漲到了5.2塊，光是這個變化就把美國燃煤和燃氣發電之間的價格優勢一夕之間翻轉了過來。美國的EIA現在甚至已經預測

在下面三年裡，燃煤發電的占比會彈升1.3%，而燃氣則會降低0.5% (Bloomberg, February 14, 2014)，但是這也不代表將來燃氣取代燃煤發電的趨勢就真的會停滯或逆轉，因為還有別的影響力比頁岩氣大得多的因素也正在發生中，那就是美國政府將要發布的各州電廠二氧化碳排放需要減量30%的政策，以及美國環保署 (Environmental Protection Agency, EPA)正在醞釀中的電廠二氧化碳排放法規(燃氣每發一度電的CO₂排放不得高於1.0磅，燃煤1.1磅；但是目前即使最先進的燃煤發電技術也至少會排放1.8磅) (NYT, September 20, 2013)。這些因素為燃氣發電帶來的優勢將會比頁岩氣大得多。至於其它國家，由於開發頁岩氣的條件多半不如美國，產氣的成本多半會比美國高許多，因此要達成夠量的煤轉氣減碳效果主要還是要靠強力的政府減碳政策(如排放法規、排放交易等)才行。

第三，對我們臺灣以及日本、韓國這些必須倚賴昂貴的液化天然氣(liquefied natural gas, LNG)才能取得天然氣資源的國家來說，頁岩氣最能讓我們憧憬的好處是從美國進口低價LNG的可能性。美國現在頁岩氣產量過剩，因此國內有很大的聲音要把頁岩氣液化後輸出。但是以陶氏化學(Dow Chemicals)為首的美國石化產業就極力反對，因為頁岩氣的輸出必然會使它在國內的價格升高。現在是形成一個拉鋸的狀態。到2014年3月為止美國能源部已經核准了七個廠進行LNG的製造和輸出，另外還有十七個在排隊(IBM, March 24, 2014)。不幸的是美國的LNG光是冷凍坐船來的成本就已經每千立方呎美元10元到11元左右了，與現在的LNG長約成本(大約美元15元)之間的差距並不是很大。因此日本和韓國現在都在主動的出擊，甚至直接挹注這些美國的LNG出口公司，期望能夠有更大的影響力來把頁岩氣LNG的取得成本盡可能壓低一點(Washington Post, October 15, 2013)。

最後，頁岩油氣的興起，主要的因素是科技。因為液裂技術，水平鑽井，地球物理探

測和分析，數值模擬，鑽機平台等等科技的長足進展，使得生產成本比傳統油氣高很多，而且產量衰竭速度快很多的頁岩油氣能夠發揚光大。將來當比較優質的頁岩油氣場址漸漸被開發得差不多了，必須朝比較次級的場址發展的時候，科技能否持續精進的重要性和挑戰就更高了。IEA的預期是頁岩油的生產將在2020年間達到一個高峰，然後減緩下來(IEA, 2013-2)。而頁岩氣則在可見的未來都應該主要是在美國發光發熱。

2. 節能減碳

回到節能減碳這個應該要主導未來全球能源發展的大題目。我們「講」要節能減碳已經至少講了二十年了(UNFCCC是成立在1994年)，但是它實質上的進展(或缺乏進展)卻讓我們愈來愈憂慮；回顧過去這二十年，我們已經很明確的知道地球確實在暖化，這暖化是人為造成的，而且無法抑制暖化的後果是非常的嚴重。為了控制暖化的危害，我們也已經設定了本世紀末的暖化不比工業革命前高過2°C，溫室氣體的排放在2050年之前比BAU減低80%這些節能減碳需要達成的目標，而且已經歸納出有哪些減碳的選項(再生能源、能源效率、核能、碳捕獲與封存、電動車...)，以及各個選項必須發揮到什麼程度才能達到我們減碳的目標...但是，這些東西現在早都已經是老生常談，滾瓜爛熟的東西了。真正重要的事 -- 我們要「怎麼做」，要透過什麼樣的過程(process)才能把這個巨大的改變做出來卻是到現在都還是很模糊，很片面，而且很缺乏共識和定見。

2.1 全球節能減碳：怎麼做

要談「怎麼做」，首先讓我們來看一下如果到2050年節能減碳真做出了碳排放「減低80%」的成果，到時候我們人類的能源系統會是長得什麼一個樣子。以下是IEA的描述(IEA, 2012)：

- 全球的能源密集度(產出每元GDP所需要去掉的能源)降到今天的40%以下(每年降低2.4%)。
- 現在化石能源占比高達68%的全球電力系統達成90%的「非碳化」。再生能源從2011年的19% (含水力)成長到2050年的57%，核能從2011年的12%成長到2050年的19%，加裝了CCS的燃煤和燃氣系統從2020年代開始應用，然後逐步增加到佔2050年總發電量的14%。要達成這個結構上的徹底翻轉，全球電力系統的碳排放需要在2015年達到頂峰(peak)，之後就開始逐年下降才行。
- 在現在大部分是燃油的交通運輸方面，純電池電動車(battery electric vehicles, BEV)達到車輛總銷售量的22%，插入式電動車(plug-in hybrid vehicles, PHEV)達到34%，燃料電池車(FCEV)則達到17%。剩下來的27%絕大部分(25%)被生質燃料取代。汽油近乎完全消失。

要達成以上這些脫胎換骨的改變還需要克服另外一個難題：那就是在可見的未來(現在~2035年)，全球能源使用的成長很可能高達95%都會在開發中國家發生(BP, 2014-2)；因此，上述這些全球能源系統的巨大改變有70%需要在開發中國家達成才行(IEA, 2010)。

除了「困難度」以外，我們還有一個「迫切性」的問題。最近非政府組織Carbon Tracker和倫敦經濟學院(Grantham Research Institute, London School of Economics)提出的一個很有用的指標叫做碳預算(carbon budget)。根據這兩個單位的估計，如果我們想要把暖化控制在2°C之內的話，大氣裡可以容許的總碳排放量(總預算)不能超過大約一兆(1 trillion)公噸(Economist, May 4, 2013)；在這一兆公噸裡，因為過去已經排放掉了0.53兆公噸，所以剩下來可以在未來排放的就只剩下0.47兆公噸了。不只如此，因為會排放溫室氣體的設備(如發電廠、化工廠等)只要一蓋下去就都有幾十年的壽齡，在壽齡之內它們都還會持續的排放。因此不管我們將來新建的設施有多麼的減碳，只要我們現在還

在慢條斯理的不採取積極的減碳行動，這0.47公噸裡就會有愈來愈大的一部分會被現在還在持續興建的高排碳設施所鎖定(locked in)。參考這些因素，IEA早在2011年就已經估計如果我們不儘速大力的減碳的話，我們在2°C之內可以排放的總量會早在2017年就統統被鎖定，然後在2035年全部被用完(IEA, 2011)。節能減碳的「行動化」就有這麼的迫切。

相對這些需要儘速推動的巨大改變，世界各國現在的行動卻是非常的緩慢。UNFCCC的Conference of Parties (COP)大會都開了十九年了，卻只達成了「要在2015年達成協議，2020年開始付諸行動」這樣一個還不知道會協商出什麼結果的未來協商時程。蹉跎掉的寶貴時光，事實上幾乎已經註定「2°C」這個目標是不可能的任務了。在這種國際氛圍之下，很多人都埋怨世界各國的政府，尤其是已開發國家的政府沒有決心去大力的投入這個我們必須要盡快有所做為的奮鬥。

我們為什麼會陷入這個困境？其實各國政府有沒有決心都還不是最主要的重點。這問題的根源其實很簡單：節能減碳要能「做」得出來，就必須要有夠好、夠便宜的科技(在現實世界裡，道德勸說的用處是不會有多大的)。但是目前絕大部分綠能科技的成本都還是過度的高。在我們這個以競爭為遊戲規則的全球經濟(globalized economy)大環境裡，過高的成本會使有心減碳的國家必須顧慮到競爭力削弱，產業外移，以致國民福祉遭受危害這些馬上就有嚴重後果的衝擊。這使得大部分需要對老百姓負責任的政府在面對國際減碳目標承諾的時候都只能躊躇不前。

那麼，我們要怎麼做才能改變這個現狀呢？尋求這答案我們需要先建立三個重要的認知：

第一，既然夠好、夠便宜的科技現在還不存在，哪就代表這些科技的發展必須跟我們的減碳工作能平行的、相輔相成的進行才行。也就是說我們為了減碳所設定的目標、政策、法

規和誘因都必須要有能夠把科技發展最大化、最快化的設計。如果做不到這一點，綠能科技的進展就不會得到它們必須的推力。沒有夠好、夠便宜的綠能科技全球的減碳工作就會一直的步步維艱。

第二，人類的執行力絕大部分是蘊含在「企業」裡。像全球節能減碳這麼巨大的一個任務，我們的減碳政策和做法如果不能符合企業經營的法則與模式，使企業界有足夠的誘因去扮演一個積極的角色，甚至領導的角色的話，是根本沒有可能被成功的推動的。

第三，節能減碳是個需要帶動百兆美元投資的大工程(IEA, 2012)，這百兆美元一方面是巨大的成本，另一方面當然也是個巨大的市場和商機。我們不論是想要提供誘因，使企業願意積極的投入，或是塑造環境，使綠能科技能夠快速的創新，成本大幅的下降，最主要的動力來源，恐怕都非這潛力巨大的市場和商機莫屬了。

2.2 節能減碳：執行過程 (Execution Process)

上述科技、企業、市場和商機的討論告訴我們，未來全球節能減碳的執行過程需要包含三個重要的環節。第一個是積極的減碳目標，有了積極的減碳目標，才能開創得出需求、市場和商機。第二個是綠能產業，它們因市場和商機之運而生，而壯大，我們需要達成的節能減碳必須透過它們在市場的運作才會發生。第三個則是科技。政府支持的科研計畫固然會做出某種程度的貢獻，但是經驗告訴我們科技的快速創新，尤其是成本快速下降的主要動力是來自產業蓬勃發展所形成的高度競爭環境。這三個環節之間不但有互為因果的關係，而且會週而復始的運行：當綠能科技的成本下降到某個程度，減碳的目標就可以更高更快，綠能產業就可以再進一步的成長壯大，而科技就會更日新又新，成本也就會更往下降…整個節能減碳的大工程就在這週而復始的運作之下逐步的

被完成。圖1是這執行過程和它關鍵環節的示意圖。

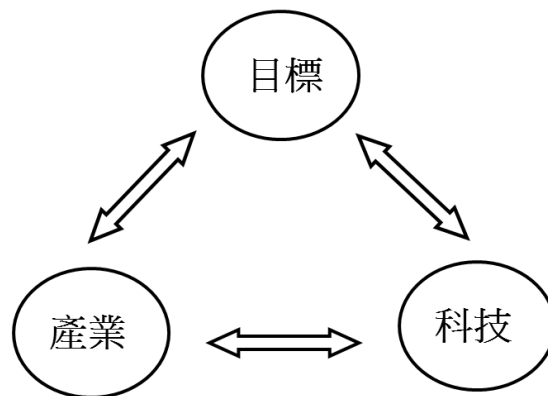


圖1 節能減碳的執行過程和它的三個重要環節

在圖1這個執行過程裡，積極的減碳目標是一切行動的起點，綠能產業是主要的推動力量，而綠能科技則是整個過程所追逐的最終結果。政府制定節能減碳政策的要點是要把減碳的目標轉化為綠能產業的商機；訂了目標之後如果沒有能創造市場需求的法規和誘因政策跟上來，目標就都是白訂的。做了這些事，如果科技不能持續創新，成本不能持續下降，那麼綠能產業再發展也恐怕都只是讓一些公司賺到了錢，對節能減碳卻不會有多大的意義。

綠能科技發展到現在，夠快和不夠快的例子都有。過去這些年裡西方國家透過再生能源躉購價格(Feed-in Tariff, FIT)這類積極的獎勵和誘因措施，形成了太陽能產業的快速擴充和激烈競爭。這種激烈的競爭使太陽光電的成本快速下降，下降的速度就連最挺它的專家們都跌破了眼鏡(LBNL 2012)。反面的例子是纖維質生質酒精(cellulosic ethanol)。雖然美國在2007年就已經訂定了2013年要生產10億加崙的目標，而且還制定了汽油銷售商必須摻配的比例以及提供研發與生產的補助，但是一直到現在，它的研發進度都還是遠遠落後，商業生產量都還是非常的少。

無論如何，全球節能減碳是一個必須以商機為原動力，期望充分發揮企業謀利與競爭

精神，持續的開創成本愈來愈低的綠能科技才能貫徹的一個大工程。圖1這個看似理想化的過程，其實是執行這工程的唯一途徑，別無他途。

2.3 綠能科技

什麼是綠能科技？簡而言之，任何能導致節能減碳的科技都可以稱之為綠能科技。它包括在能源供應面的科技像太陽能、風力能、生質能和生質燃料、CCS、智慧電網、先進發電機組、次世代核電等...，以及在能源的需求面(使用面)的科技像智慧綠建築、先進冷凍空調、先進照明、先進能源管理系統、智慧家電和電子設備、各類低能耗工業製程、高效率內燃機、電動車輛、先進儲能、氫能、燃料電池等...。在這個廣泛的範疇裡，又以下面幾項可以說是「關鍵裡的關鍵」：

- 夠廉價的儲能技術：太陽能和風力能這些再生能源都是時斷時續的能源。電力是需要穩定供應的，沒有廉價的儲能系統，再生能源就不可能在總發電量裡佔多大一個比例。電動車輛沒有夠廉價的電池，即使有了政府的獎勵和補貼都還是賣不出去，這成本需要至少下降一個量級(order of magnitude)。
- 真正廉價的太陽能：理論上最豐沛的再生能源，但是也是最昂貴的再生能源，所需要的補貼也是最高的，至少有比現在便宜好幾倍的必要。
- 更高效率、成本更低的大型風力機：風力是再生能源裡最廉價，也是發展潛力最大的一個項目。它的未來發展趨勢是在海上(離岸)，發展的方向是輕量化和大型化，能夠輕量化和大型化它的成本才能更大幅度的下降。
- 比現在便宜很多的CCS技術：沒有它的話，我們2050年「2°C」的能源系統裡就幾乎不能有任何化石能源，這會使全球節能減碳的困難度和成本都大幅升高。這技術現在還未完全成熟，成本也需要大幅下降才有大規模商業運轉的可能。

- 先進的省能建築相關科技：建築在許多國家都佔到總能源耗用的40%上下。節能減碳的成本也要比工業和交通運輸這另外兩個大耗能領域為低。可以說是從能源需求端推動節能減碳的最大市場。從建築節能設計，建築外殼，材料，隔熱設計與材料，節能窗戶，屋頂太陽光電，建築整合太陽光電，冷凍空調，除濕，暖房，照明，家電，各類電子設備和器具，建築能源監測、管理...充滿了科技創新和綠能產業創業的機會。

這些攸關全球節能減碳成敗的明日科技，必然大部分會在科技先進的國家發展出來，但是光是做得出可以在先進國家穿透入市場的綠能科技是不夠的。這些先進國家都富裕到一個程度可以負擔得起很多像稅制，排放交易，以及法規和獎勵誘因這些可以把「外部成本內部化」的政策來為這些科技推波助瀾。不幸的是未來排碳的成長絕大部分不是在這些先進國家，而是在開發中國家發生；這些開發中的國家多半負擔不起要老百姓花很多錢的輔助政策。因此未來真正能夠「突圍」的綠能科技，也許一開始可以在先進國家藉助獎勵輔助等措施進入市場，但是它們的成本必須終究要能降低到不需要靠政策就能為市場接受的程度才行。

科技創新所帶來的大幅成本下降對節能減碳來說不是一個選項，而是「必要條件」。我們未來為節能減碳而設計的政策和策略必須要以這點為主要的考慮基礎，不然的話節能減碳目標，不論是2°C或是退而求其次的3°C，都是不可能被達到的。

3. 臺灣能源的獨特挑戰

以上是全球大事，下面我們來看一下臺灣的情況。

我們要討論臺灣的能源，首先需要瞭解它有兩個很重要的特性：一個是地窄人稠，另一個則是我們對工業的高度倚賴；因為這兩個特

性，臺灣是全世界單位國土面積耗能最大的國家之一。我們每平方公里的需電量是韓國的1.4倍，日本的2.3倍，德國的4.0倍，美國的14.5倍…。

這種單位面積的高需電量是因為臺灣的老百姓都很浪費能源嗎？當然不是。我們在比較直接「屬人」的像住宅、商業和交通，這些部門的人均耗能量都比大部分的已開發國家和新興工業國家來得低(IEA, 2013-3)，這顯示我們的老百姓其實是相當節省的，但是我們工業的耗能佔總耗能的51%。跟全世界的33%和OECD國家的26%相比都要高出許多(IEA, 2013-3)。工業是我們國家賴以生存的命脈，也是我們在國際分工之下的角色定位；但是工業是一個「天生」就比較耗能的經濟活動。從能源密集度的角度來看，化材業每生產一塊錢GDP的耗能量跟服務業相比是36倍，基本金屬業是服務業的20倍，即使是耗能最低的電子業也是服務業的兩倍，再加上我們是一個地很窄的國家，卻要承載這麼多的工業，我們的人均耗能或單位面積耗能的數據當然就看起來很高了。

3.1 供電的瓶頸

地窄又高度倚賴工業的問題，不只使我們單位面積耗能的數字看起來不好看，更重要的是我們國家的整個能源和環境管理體系，都會因此而必須面臨極大的壓力。舉一個很直接的例子：這種特性已經開始對我們的電力能否安全與穩定的供應產生了很大的疑問，每平方公里的高需電量使我們各類能源設施(電廠、LNG接收站、輸配電/氣管線等)的密度都非常的高，它們的環境影響評估就變得愈來愈複雜，遭受民眾與地方的抗拒就愈來愈嚴重，興建這些設施也就都變得愈來愈曠日廢時。這狀況使台電需要新建的電廠持續的被延遲甚至整個計畫被擱置，從它各年度的電源開發方案裡可以看出，從2010到2015年這六年裡已經沒有一個新的火力電廠可以上線供電，而且在可見的未來都看不到一個新的廠址，只能在已存的廠址

上拆掉舊的蓋新的。這是一個很嚴重的「永續瓶頸」問題，而且隨著時間這個問題會變得愈來愈嚴重。

這種困境最令人擔憂的是：在正常的情況下，一個國家需要蓋多少個新電廠，是由它經濟成長的需要來決定。但是當新建電廠的困難度和不確定性高到某一個程度的時候，國家的經濟能成長多少，就反過來要看我們能蓋出多少個新發電廠來決定了。我們國家過去兩年經濟成長率分別是1.48%和2.11%，如果將來的成長也都是這麼慢，那麼電也許就還會夠用，而絕大部分的老百姓也就不會感覺到我們面臨的供電瓶頸問題。但是如果我們的經濟發展一不小心復甦了，成長率回歸到了4%的話，缺電的困境不出兩三年就會發生，使得這種最起碼的健康成長率都變成無法支撐。

這是一件我們必須要正視的事。我們不能因為現在是悶經濟，成長率很低，多半不會缺電，老百姓都感覺不到這個問題，就不看這個問題。一個妥善的電源開發計畫不但必須要有二十年以上的視野，它更不能只是為了短時期滿足悶經濟的低需求而設計。事實上，如果我們的經濟持續的悶，短期內都沒有缺電的壓力，就更應該好好把握這段時間趕快去推動一些真能治本的解決方案，不但為缺電來臨的時候做好準備，而且盡力打下基礎使我們未來的電力能夠再度成為經濟健康成長的支柱才對。

面對這個供電瓶頸的問題，我們在比較熟知的供應面(由台電或民間，增蓋燃氣或燃煤的電廠)其實已經很難再找到什麼答案了：首先，由於愈演愈烈的民眾抗爭，現在新建一個燃氣電廠大約需要九年，燃煤則大約需要十二年之久。因此當我們發現電快不夠用的時候，增蓋新電廠其實只是在想用遠水來救近火，是根本就無濟於事的。第二，因為我們單位國土面積上過高的發電量所造成的民眾抗爭不只是台電蓋電廠的問題，即使開放自由化讓民營電廠去做，所碰到的阻力也不見得會比較小。而且這些阻力只會一年比一年大，蓋電廠的延宕會愈

來愈厲害，投資的風險也就愈來愈高，結果不是投資人怯步不前，就是需要「重賞」才有可能找到勇夫。第三，燃煤電廠面臨的阻力要比燃氣電廠高得多，因此我們在供應面尋找的紓解方案多半都需要用天然氣。但是我們現有接收站的LNG供應量根本不足以支持更多的燃氣電廠。新的第三接收站最快也要到2025年之後才有上線供氣的可能。

3.2 需求面的答案

既然從供應面已經很難找到答案，那麼紓解供電問題的方法就必須要到需求面(抑制電力的需求)裡去尋找了。這是一個我們現在並不是很純熟，但是需要很快就學會怎麼運作的領域。能夠抑制電力需求的主要就是兩件事：

第一，我們國家現在這種高度倚賴工業的產業結構，必須要往高附加價值、低耗能的方向調整。這件事不發生的話，我們國家的能源供應是不會步入坦途的。這當然絕不只是一個單純在能源範疇裡的議題，事實上，產業結構的調整攸關我們國家未來整體的經濟發展、競爭力和民生福祉，已經是國家最優先的發展政策了，但是它不是一件容易做的事，而且任何改變都需要時間，尤其令人擔憂的是我們耗能最低的服務業，它在國家總GDP裡的占比過去十幾年一直在下降，從2001年71.4%的高峰降到2013年的63.1% (好在最近三年這下降的趨勢好像是止住了)。

第二，在產業結構調整沒法子很快就有明顯效果的狀況之下，我們就必須要盡快建立起一個能夠立竿見影，在短期之內就立刻可以開始抑低需求、紓解供電瓶頸的策略性能源效率政策。為什麼要說「策略性」，是因為這件事需要大家在觀念上做一些突破：能源效率不是天天提醒老百姓關電燈、冷氣開小一點，要企業界耗能設備汰舊換新、多做節能投資這些道德勸說就做得出來的。有效的能源效率政策需要系統化的涵蓋法規(如新舊建築法規、車輛油耗法規等)、標準(如耗能產品與設備的分

級標準和標章等)和誘因(如價格政策、低利貸款、租稅優惠、直接補助等)三大項目。在這三大項目之間，又要以誘因最為關鍵：它使法規和標準從靜態變成動態，並且帶動市場的能量來投入在效率的提升上。先進國家的經驗告訴我們，成功的能源效率方案不但已經持續的證明省一度電要比發一度電便宜很多(便宜50到80%)，而且通常都可以把原來需要新建電廠的數目做相當大幅度的減少(往往一半以上)，不但紓解供電的壓力而且省下可觀的電廠投資成本。這種策略性的能源效率政策對我們這個面臨供電瓶頸，供應面的答案瀕臨殆盡的國家而言，已經是不做不行了(FT, June 2, 2012; Green Future Solution 2012; Gumb 2012; Hough and White 2014; Kushler, 2006; Kushler *et al*, 2009)。

3.3 臺灣的節能減碳選項

供電不是我們在能源方面唯一的難題，地窄人稠與工業立國這兩個特性，也同時使我們在節能減碳的選項(options)上比一般國家更為捉襟見肘。以下就讓我們一一的來看一下這些選項在我們國家所面臨的狀況。

1. 太陽能

太陽能是很多人心目裡最綠色的能源，而且因為任何屋頂和土地上只要鋪上太陽能板就都能發電，所以看起來好像是個取之不盡、用之不竭的清潔能源。不過現實世界當然沒有那麼理想，不但土地不見得可以隨手取來，太陽能的發電成本也一直是各項能源裡最高的。我們國家現在已經建立了再生能源躉購費率制度，民間的意願很高，政府也設定了2030年的太陽能發展目標，那麼臺灣到底應該開發多少太陽能才算「夠積極」呢？以下為大家提供一個簡單的思考邏輯。

我們國家最新的太陽能發展目標是要在2030年達到6.2 GW (Gigawatt)的裝置容量。這到底是多還是少呢？讓我們來跟大家公認的世界再生能源領先國德國做一個比較。德國

2030年的太陽能發展目標是66 GW (Renewable Energy World.com, 2012)，大約是我們的十倍，他們的國土面積大約也是臺灣的十倍，因此從「單位國土面積裝置量」這個衡量指標來看，臺灣太陽能政策的「積極度」其實已經是跟世界標竿的德國差不多了(尤其考慮我們的國土只有三分之一是平地)。這個以「單位國土面積裝置量」做為開發太陽能積極度的指標是很合乎邏輯的，因為太陽能是高度「耗地」的能源。根據美國國家再生能源實驗室(National Renewable Energy Laboratory, NREL)的研究(NREL, 2013)，1.0 GW的太陽能發電裝置容量需要大約30平方公里的土地。一些比較樂觀的人士則認為這面積應該是15平方公里。不過不論是30或是15平方公里，都比傳統電廠的用地大很多(提供一些跟它對比的數據：興達火力發電廠的面積是1.35平方公里，發電裝置容量是4.33 GW；核四廠的面積是4.80平方公里，發電裝置容量是2.70 GW)。對臺灣這樣一個地窄人稠，寸土寸金的地方來說，有這種「大小」的感覺是很重要的。

那麼，既然我們開發太陽能的積極度跟德國差不多，得到的供電效果也就應該差不多了，對嗎？對不起。不對。不要忘了我們是個地窄人稠、工業立國的國家，每平方公里的需電量是德國的四倍。因此即使我們在每平方公里上太陽能發出了跟德國一樣多的電，它對整體供電的貢獻度卻只會是德國的四分之一。也就是說如果德國人很努力的開發太陽能可以對總發電量造成8%的貢獻的話，我們同樣的努力只會貢獻2%。這是我們臺灣很多關心太陽能的人都需要瞭解的一個很「不方便的現實」。

2. 風力能

再讓我們來看一下風力能。風力能有兩種-- 陸域和離岸；因為地窄的關係，我們陸域風力的總開發潛能只有1.2 GW，再加上人稠，我們陸上風力的開發已經開始面臨跟大型電廠一樣強硬的居民抗爭。因此即使在這1.2 GW的總

潛力裡，除了已經開發了的0.7 GW左右之外，還能再開發多少其實還是一個很大的問號。在離岸風力方面，淺離岸(水深20米之內)的總潛力也只有1.2 GW，而且淺離岸通常是生態敏感地帶，環評的困難度和民眾抗爭的強度都會是相對的高。

臺灣真正令人期待的再生能源是深離岸風力(水深20到50米)。我們在雲林彰化外海的「雲彰隆起」地帶擁有品質在全世界屬一屬二，而且潛力相當豐沛的風場資源，可開發的潛力應該在10 GW以上。這種最前瞻的深離岸風力現在在英國、德國這些先進國家已經開始有大規模的開發計畫，但是它的成本還是偏高，而且由於離岸風機的技術提升與成本下降都正在快速前進(目前已經有一隻風機可以發出7 MW電力的技術，有人甚至預期到2020年有可能達到20 MW)，我們這個珍貴的綠色能源應該是付比較高的成本「快些開發」還是「在最有利的時機開發」這兩個方向需要平衡的考慮才能決定我們的最適方案。

3. 地熱

在地熱方面，臺灣雖然地處地球板塊交錯之處，地層活動頻繁，但由於土地面積小，地熱資源的開發潛力經過調查大約也僅是1.0 GW左右。這1.0 GW裡大約七成酸度過高，開發的成本也就比較高。整體來說，地熱資源的開發應該盡可能結合觀光業的發展，以擴大附加價值，至於深層地熱則技術成熟度與成本都離可行性尚有相當歲月的距離。

4. 核能

核能是所有能源裡爭議性最高的一個，但是它也是全球節能減碳不可或缺的一環，因為它是所有我們知道的無碳能源裡唯一可以"scale" (擴大)得很快的一個。能不能scale得夠快不是一件小事，從前面「碳預算」的討論可以看出，節能減碳的挑戰不只是「能減多少」還是「能減得多快」，不然的話就有愈來愈多

的未來碳排放會被現在新建的高排碳的設備(如燃煤電廠)鎖定(locked in)了。

根據IEA的分析，我們未來如果要能達成「2°C」的減碳目標的話，全球供電系統裡核能的占比，需要從現在的12%增高到2050年的19% (IEA, 2013-1)。該署的首席經濟學家兼發言人Fatih Birol也曾經公開指出：如果沒有核能的話，我們人類的節能減碳目標是絕對做不到的(他用的辭是 "absolutely not") (Yale Environment 360, June 11, 2012)。這是從全世界的角度看核能。但是這是不是代表全世界所有國家都需要做核能呢？答案當然是「不是」。地大物博，電廠可以離人很遠的國家會更適合做核能，地窄人稠的小國家就需要更審慎的考慮。

我國的核能政策近年來已經逐漸走向「減核」甚至「非核」的方向。日本福島事件後，我們政府推出了「穩健減核」政策，決定要將現在旁邊已經住了很多人的核一、二、三廠屆齡除役(2018~2024年)。至於核四廠則因為國民抗爭劇烈，政府已經宣示將要訴諸公投，最近更做了將要先封存再公投的決定。無論這過程是什麼，公投都應該是一個合理的方向，因為核能到底有多安全固然可以用科學的方法來估計，但是百姓願意接受什麼樣和多大的風險，以及為了追求某一種安全的程度願意付出多大經濟上的代價，這些抉擇透過公投這類的過程由老百姓自己來決定應該是一個適當的做法。

5. 天然氣

天然氣是化石能源中排碳最少的，因此從煤碳轉換到天然氣，在世界各個有心減碳的國家都是他們能源政策的重點。不過天然氣的成本會因為它的取得方法而有很大的差別。本地產的天然氣(如美國)，管線傳輸來的天然氣(如歐盟)，和低溫液化之後用船運來的天然氣(如日本、韓國、臺灣)的價格大約是5：10：15。我國沒有自產的天然氣，管線要跨海傳來，可行性也不高，因此在可見的未來都將是以昂貴

的液化天然氣(LNG)的形式進口。

LNG除了相當昂貴之外，在臺灣它面臨的另外一個大問題是它所需要的接收站和輸送管線系統都必然是民眾激烈抗爭的標的(又是單位面積能源需求量高的問題)。我們現在有永安和臺中港兩個LNG接收站，以及它們各自的擴建計畫，但是預期到2018年就會碰到滿載的瓶頸；至於新的第三接收站則恐怕最快也要到2025年才有可能開始供氣，可以說是已經處在一個很可能會短缺的狀態。因為這個短缺，台電未來十幾年的電源開發計畫就非要新增更多的燃煤發電量才行，整體發電的碳排放係數就不但不會順著全球節能減碳的大方向逐步降低，而是有可能會逆勢的逐步升高(我國2013年總發電量裡的初級能源組成是燃煤38.4%，燃氣31.1%，核能18.8%，再生能源(含水力)4.6%，汽電共生購電3.4%，燃油2.3%，抽蓄水力1.5%)。

6. 煤炭和CCS

看過上述幾種能源個個困難，煤碳的重要性就自然的變得比較高了，但是煤碳到底是個排碳最高的能源，我們不可能不考慮這個因素去一味的追逐一個高碳的發展方向；因此CCS對臺灣的重要性也就要比其他的國家來得高。好在這方面我們有工研院正在開發與示範的世界級技術(Chang, M. H. *et al*, 2013)，而且根據能源國家型計畫的初步評估，我們西海岸的地質條件也足以提供足夠的二氧化碳封存量(能源國家型淨煤主軸專案計畫，2014)，因此CCS在臺灣至少還算得上是一項能派得上用場的減碳選項，不過CCS的成本在全世界現在還是過高，要能夠大規模的應用至少是2020年以後的事了。

7. 能源效率

除了煤、油、氣、核能、太陽能、風力能這些「實體」的能源之外，我們其實還有一種大家平常不會想到，但是量可能比任何實體能

源都大的能源，這個能源就是「效率」。它不只是我們紓解供電瓶頸的必要做為，也是所有減碳選項裡潛力最大，最攸關成敗的一項。

為什麼效率也是一種能源？因為我們供應能源的目的是要去滿足我們對能源的需求，因此用效率把需求降低跟蓋電廠把供應增加的效果是一樣的。把用電的需求降低1.0 GW就等於是興建了一個1.0 GW的「虛擬電廠」。這種電廠不佔地、看不見、完全無排放、發電成本低很多，而且民眾絕不會去抗爭，比實體電廠的好處多得多了(楊日昌，2001)。

能源效率有這麼多好處很重要的一個原因，是它的成效是逐年以幾何級數累積的。這類政策的施行對象是當年投資節能的人和公司。這些人和公司在政府效率政策的誘導之下，對節能所做的投資不只在當年省能，以後在這投資的壽齡之內都還會繼續年年自動的省能，到了第二年，對象又是另一批人，他們的投資又在壽齡內年年自動省能，第三年又是另一批人...直到第一批人投資的壽齡到期要新一波的更換設備或製程，又開始一個新的循環，這新循環裡做的投資則跟著科技的進步又要比舊循環省能很多...如此週而復始的運作下去，所達成的節能效果逐年是以幾何級數累積上去，很快就累積起了很大的效果。

這種幾何級數的累積還有一個關鍵性的好處：它可以在「第一時間」就發揮供電和減碳的雙重作用。前面說過，任何一座實體電廠從計畫的開始到電廠的落成都需要大約十年之久。用效率蓋出來的虛擬電廠就不一樣了，假如我們每年可以透過效率政策把用電效率多提升1% (這是很多先進國家和地區都已經證明可行的事)，就等於是蓋了一座馬上可以發出0.35 GW，完全無排放的虛擬電廠(臺灣現在的尖峰用電大約是35 GW)，第二年這個虛擬電廠就擴大到了0.70 GW (大約一座燃氣機組)，三年就是1.04 GW (大約一座燃煤機組)，四年就是1.38 GW (大約一座核能機組)...馬上就以幾何級數的速度開始一面擴大電力備用容量，一面累積減

碳量。對國家能源和減碳政策的策略性意義是不言可喻的。

能產生這種效益的能源效率政策一方面要從國際標竿措施(best practices)裡去學習，一方面也要根據本國能源使用以及執行環境的特性去自行開創。這不是一件容易做的事，但是不論從國家供電安全或是減碳成效的角度來看，它都已經是一件不可或缺，必須要做得出來的工作。

3.4 能源稅

最後，讓我們來看一下能源稅這個重要的議題。在全球節能減碳的大趨勢之下，透過一些價格上的機制達成「外部成本內部化」的效果，使得能源的耗用降低，溫室氣體的排放減少，不論這機制是能源稅、費、碳稅、排放交易許可...都是正確的，而且該做的。

但是，我們對能源稅常常有一個誤解：那就是我們以為它的主要機制是「以價制量」。其實，「以價」能「制」下來的「量」不是很大，能源是一個民生福祉和經濟運作的必需品，它的「價格彈性係數」通常都很低，過去的經驗告訴我們這個值大約在0.2到0.3之間。意思就是說如果我們提升能源價格10%的話，大約可以把能源的需求抑低2到3%。這個值現在還有在下降的趨勢。國際貨幣基金(International Monetary Fund, IMF)最近在45個國家做的研究顯示石油的價格彈性係數現在就已經只有0.072了(已開發國家0.093，開發中國家0.035) (IMF, 2011)。

即使我們假設這個彈性係數有高到0.3，我們國家如果每年抽1,000億元的能源稅，能夠抑制下來的能源耗用量恐怕都還不到2%，而且以後每年都要抽1,000億，所得到的抑制都還是2%，不會累積。這些稅都是必須要反映在電價、油價、氣價上的，而能夠達成的節能量又是如此的低，老百姓能夠接受嗎？

那麼，能源稅就真會被這「價格彈性係數障礙」綁死？到底有沒有法子突破呢？

答案當然是「有」。因為任何一個重視「執行面」的能源稅制度都有兩個部分：一個是「怎麼抽」，另外一個則是「怎麼用」。事實上，把抽來的能源稅用在任何節能減碳的工作上，它的成本效益都會比純粹靠以價制量來得好。以能源效率做一個例子：美國的Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)和著名的能源效率智庫American Council on An Energy Efficient Economy (ACEEE)的研究都顯示，把能源稅的稅收投入到獎助節能這種有逐年以幾何級數累積特性的措施上，其成本效益要比純粹靠以價制量這種不會累積的價格機制高五到八倍。也就是說達到同樣節能效果，所需要抽的稅可以減少五到八倍(Krause and Eto 1988; Cowart 2008)。因此我們在設計能源稅政策的時候一定要把這個稅要「怎麼用」一起設計進去才行。

明訂怎麼用的「必要性」可以從世界各國設計這類制度的大趨勢裡很明顯的看出來。澳洲的能源稅、英國的氣候變遷稅、美國和加拿大東北部十州(省)的排放交易制度Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI)、美國加州新推動的排放交易制度、中國大陸十二五計畫裡規畫的排放交易制度、日本正在規劃的新能源稅、歐盟第二期的排放交易制度...每一個都是把它的收入全部、大部分、或是優先的投入在各類節能減碳的措施上。我們國家將來推動這類制度當然也應該要走同樣的途徑(唯一要注意的細節是由於在我們國家任何「稅」都法定必須立刻投進國庫，不能編列特定的用途，所以將來要抽的不能是「稅」，而必須是「費」、「許可」...等等才行)。

想一想，如果我們每年抽150億元的費或許可(遠比原來已送到立法院。現在被撤回來的能源稅法案要抽的稅額為低)，然後把所抽來的金額全部回饋給繳納這費或許可的人和企業，做為獎勵和補助他們投資節能減碳之用。這每年可以注入到綠能科技市場的150億元，會對我們的綠能產業發展帶來多麼決定性的提升力

量！

4. 我國未來能源政策應可考慮的方向

我們國家未來的能源政策有兩個很明顯的優先主題。在國內，我們必須要克服供電的瓶頸，不然我們的經濟就沒法子回復到健康的成長。面對全世界，我們要盡可能的為全球節能減碳的努力做出積極的貢獻。

這兩個主題又有一個共同的重點，那就是能源效率；它不但是紓解供電瓶頸，也是促成節能減碳的最主要選項。我們在這方面的努力當然必須要持續積極的推動高值化、低耗能化的產業結構調整，但是這需要時間，不是五年、十年之內就看得到的效果；因此一個策略性的能源效率政策，就必然要成為我國家未來整體能源政策的主軸，這政策必須要像先進國家的標竿措施一樣，能夠相當大幅度的減少原來需要新建的電廠數目，並且在國家節能減碳政策的各個選項裡扮演貢獻最大的角色。這種效率政策的重心是獎勵和誘因，每年需要投入的資源大約在150億元這種幅度(從先進國家標竿措施的費用以GDP的比例大致推算)，這150億投下去能造成的燃料成本節省(需求降低了，不需要發那麼多電了)和投資成本節省(很多電廠不必蓋了)會遠比這150億大。

在能源的供應端，LNG是重要性最高的議題。新的LNG第三接收站需要政府優先、盡快的推動。當我們的效率政策可以具體的減少未來新建電廠數目的時候，被減掉的電廠必然要從燃煤的減起，如此我們的電力碳排放係數才能夠被降低。要做到這點當然必須要有足夠的LNG供應才行。

從政策制訂的角度來看，我們需要瞭解一個國家的節能減碳政策，除了揭示它的減碳目標和方案，做為未來實際執行的依據之外，它也是這個國家在溫室氣體減量這個全球性的議題上對全世界進行溝通(communication)的重要

工具。從前述的分析可以看出，我們是個地窄人稠，又高度倚賴工業的島國，減碳的資源遠在世界平均之下，成本與困難度都相當的高；未來在配合全球設定後京都議定書減碳目標的時候，應該要採取「積極但務實」的做法，經過專業審慎的評估之後再擬訂出符合我國國情與能力的節能減碳政策與目標。做為一個「溝通工具」，它除了要清楚的說明我們獨特的挑戰之外，更需要在可以使力比較大的部分，盡可能的展現我們投入節能減碳這件事的「積極度」。以下幾項是值得我們考慮用來彰顯積極度的項目：

- 把我國2030年太陽能開發的目標從跟德國一樣積極的6.2 GW再往上提升到明確的超越德國(不論從土地、電價和電網衝擊的角度來看我們都應該做得到)。對於一個地窄人稠，寸土寸金的國家來說這已經是非常的「高標」了。
- 在盡可能克服民眾抗爭的前提下，把所有陸域和淺離岸的風力潛力全部都在2030年之前開發出來，原來深離岸風力2050年的開發目標(6.0 GW)提前到2030年實現(原來2030年的目標是1.8 GW：既然已經能開發1.8 GW，6.0 GW的困難度也不會高多少)。這樣做的話，我們陸域和淺離岸在不到二十年內就全部的潛力都已經發出來，深離岸也大部分發出來了。
- 持續積極的推動我國現在已經很有進展的CCS研發及示範計畫，設定目標成為國際間實際應用CCS的領先國之一。
- 最重要的一部分是一個能夠媲美先進國家標準措施，並且具有量化的省能和減碳指標的能源效率政策。不論從國家供電能否安全，或是減碳目標能否達成的角度來看，這都是必要的，應該盡速推動的。

這樣的一個節能減碳政策，不但「積極但務實」，而且不論是對國民或是對國際溝通，都會是「理直氣壯」的。

最後，在推動供電安全和節能減碳的過程

裡，我們需要盡可能的把設定的目標都轉化成商機導向的政策、措施和旗艦型計畫，有效的提供商機與誘因，帶動綠能產業的發展，提升我國綠能科技的國際競爭力，並且開創綠能投資與綠能就業機會。在我們國家未來的能源與節能減碳政策裡，這是建立與強化核心執行力的最重要做為。

5. 結 語

不論是小在臺灣的供電瓶頸問題，或是大到全球的氣候變遷問題，能源的問題都是大問題；愈大的問題就愈需要我們聚焦在解決這些問題的執行面上，然後用務實的態度去把答案找出來，唯有如此，我們才有可能開始把這些攸關重大的艱鉅問題解決到一個可以被接受的程度。

誌 謝

這篇文章的架構和部分內容源自作者接受余紀忠基金會邀請而撰寫的文章(楊日昌，2014)。在此特別謝謝基金會容許我引用。

參考資料

- 楊日昌，2001，“虛擬電廠的理論與實踐”，*能源季刊*，第31卷，第三期，2001年7月。
- 楊日昌，2014，“能源與綠能產業的展望”，*決定台灣的二十九堂課*，余紀忠基金會，2014年2月。
- 能源國家型淨煤主軸專案計畫，*台灣二氧化碳地質封存潛能地圖集(草案)*，2014年3月。
- Bloomberg, February 14, 2014, "Coal Burns Brighter as Utilities Switch from Natural Gas".
- Bloomberg Businessweek, May 30, 2013, "The Battle over Who Gets US Natural Gas".

- BP (British Petroleum), 2014-1, News Release, "BP Energy Outlook 2035 Shows Global Energy Demand Growth Slowing, Despite Increases Driven by Emerging Economies", January 2014.
- BP, 2014-2, BP Energy Outlook 2035, January 2014.
- Chang, M. H., *et al*, 2013, "Design and Experimental Investigation of the Calcium Looping Process for 3-kWth and 1.9 MWth Facilities", *Chemical Engineering Technology*, 2013, 36, No.9, pp. 1525-1532.
- Cowart, R., 2008, "Carbon Caps and Efficiency Resources: How Climate Legislation Can Mobilize Efficiency and Lower the Cost of GHG Reduction", Testimony given by American Council on an Energy Efficient Economy (ACEEE) at the Select Committee on Energy Independence and Global Warming. U. S. House of Representatives Hearing on Efficiency and Climate Policy, May 8, 2008, pp. 7-10.
- Economist, May 4, 2013, "Unburnable Fuel".
- EIA (Energy Information Administration), 2013, *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States*, June 2013.
- Freese, B., 2003, *Coal: A Human History*, Penguin Group.
- FT (Financial Times), June 2, 2011, "Green Deal Aims to Win Trust of Public".
- Green Future Solutions, 2012, *2012 Guide to Singapore Government Funding and Incentives for the Environment*, May 30, 2012.
- Gumb, G., 2012, "German Approaches in Promoting Energy: KfW Best Practice Experience", Workshop on Energy Efficiency, Paris France, March 2012.
- Hough, D. and White, E., 2014, *The Green Deal*, UK House of Common Library, Science and Environment Section, February 6, 2014.
- IBT (International Business Times), March 24, 2014, "Energy Department Approves One More LNG Export Application, Seven Now Approved".
- IEA (International Energy Agency), 2010, *2010 Energy Technology Perspective.s*
- IEA, 2011, *World Energy Outlook 2011*.
- IEA, 2012, *Energy Technology Perspectives 2012, Pathway to A Clean Energy System*.
- IEA, 2013-1, *Key World Energy Statistics 2013*.
- IEA, 2013-2, *World Energy Outlook 2013*.
- IEA, 2013-3, *World Energy Statistics and Balances*.
- IMF (International Monetary Fund), 2011, *World Economic Outlook*, Table 3.1, April 2011.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007, *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, Working Group 3 Contributions*.
- Krause, F. and Eto, J., 1988, *Least Cost Utility Planning Handbook for Public Utility Commissioners, Volume 2, the Demand Side: Conceptual and Methodological Issues*, National Association of Regulatory Utility Commissioners, December 1988.
- Kushler, M., 2006, *Energy Efficiency as a Utility System Resource*, American Council on An Energy Efficient Economy (ACEEE), June 2006.
- Kushler, M. *et al*, 2009, *Meeting Aggressive New State Goals for Utility-Sector Energy Efficiency: Examining Key Factors Associated with High Savings*, ACEEE Report No. U091, March 2009.
- LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratories),

- 2012, *Tracking the Sun V*, November 2012.
- MGI (McKinsey Global Institute), 2013, *Game Changers: Five Opportunities for US Growth and Renewal*, July 2013.
- NREL (National Renewable Energy Laboratory), 2013, *Land Use Requirements for Solar Power Plants in the United States*, June 2013.
- NYT (New York Times), September 20, 2013, "Administration to Press Ahead with Carbon Limits".
- NYT, January 24, 2014, "U.S. Oil Production Keeps Rising beyond the Forecasts".
- Renewable Energy World.com, 2012, "Germany's New Solar Containment Policy", February 27, 2012.
- Stern, N., et al, 2006, *Stern Review: Economics of Climate Change*, Figure 8.4.
- Washington Post, October 15, 2013, "Asia Wants a Piece of U.S. Shale Gas Boom: Japan, South Korea Seek Lower-cost LNG".
- WSJ (Wall Street Journal), April 18 2014, "Rise in U.S. Gas Production Fuels Unexpected Plunge in Emissions".
- Yale Environment 360, June 11, 2012, "An Influential Voice Warns of Runaway Emissions"
- Yergin, D., 1991, *The Prize: the Epic Quest for Oil, Money and Power*, Free Press.

Energy and Decarbonization: Some Significant Considerations

Jih-chang Yang^{1*}

ABSTRACT

Energy is the force that moves civilization. The relentless growth of its use, however, is now affecting the world's climate systems, with grave consequences that threaten mankind's very sustainability. This makes decarbonization the central issue for energy for the foreseeable future, and our task will be nothing less than a complete makeover of the world's entire energy system. Taiwan is a small island state with limited land and a substantial reliance on industry for its economic wellbeing. That makes energy and decarbonization greater challenges to manage than most other countries. Whether it's for Taiwan or for the world as a whole, the answers we seek are to be found in the execution aspects of how we tackle these difficult tasks. Only thus will we be able to find the ways and set ourselves in motion toward the goals we must reach.

Keywords: Energy, Decarbonization, Green energy industry, Green energy technology, Energy efficiency, Shale oil and gas

¹ Distinguished Fellow, Industrial Technology Research Institute

* Corresponding Author, Phone: 886-3-5916324, E-mail: yangjihchang@itri.org.tw

Received Date: May 05, 2014

Revised Date: May 15, 2014

Accepted Date: May 22, 2014