

頁岩氣對我國再生能源發展之影響

徐昕煒^{1*}

摘要

由於美國頁岩氣開採技術的突破，帶動全球能源的革命與轉變。頁岩氣主要具有低排碳、低成本與儲量高的優點，然其開採對環境的影響、前景是否被高估、各國的保守態度等風險仍需要進一步評估。美國頁岩氣出口目前受限於法規、設施與市場區隔等因素，短期內大量出口不易，然其對全球能源的間接影響已經造成。此外，在全球對溫室氣體減排的壓力下，頁岩氣的革命對再生能源的影響成為重要的課題。本研究評估頁岩氣對全球、美國與我國可能造成的影響與再生能源之發展，歸納短期內頁岩氣對我國再生能源發展影響有限，然長期恐延緩再生能源市電同價時程。我國在頁岩氣革命下，應以天然氣作為能源轉型的過渡能源，長期來說仍應積極推廣再生能源，積極投入再生能源相關技術的研發。

關鍵詞：頁岩氣、再生能源、溫室氣體、市電同價

1. 頁岩氣簡介

頁岩氣體主要是由頁岩產生的天然氣，它常被描述為「非傳統」(unconventional)的天然氣；其他「非傳統」天然氣來源包括有砂岩(tight sandstones)、煤層氣(coal bed methane)和甲烷水合物(methane hydrates)。開採頁岩氣的主要兩項技術突破為水平鑽井(Horizontal Drilling)和水力壓裂(Hydraulic Fracturing)。水平鑽井技術為利用垂直鑽井至所需的深度，然後再橫向鑽探至氣田儲量豐富的位置的一種方式。水力壓裂技術則為利用高壓將液體注入井內，以壓裂氣藏岩石，使得天然氣可通過裂縫流向井筒，再流向地表的方法(呂嘉容，2012)。圖1顯示頁岩氣開採技術的轉變，凸顯水平鑽井技術是造成頁岩氣近年成功開採的重要技術突破。

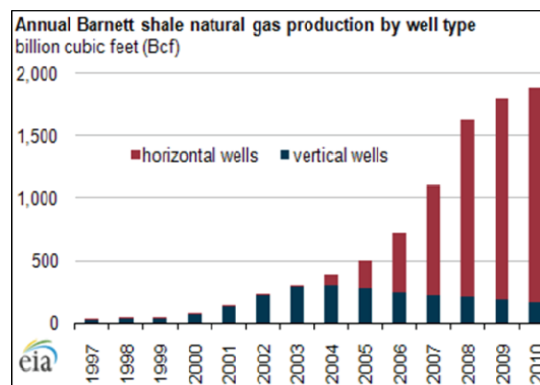


圖1 頁岩氣開採技術的改變(EIA, 2011)

採頁岩儲量最多之區域為北美地區，蘊藏量最豐富之國家為中國。然考量目前各國頁岩氣開採技術與進展，可出口之國家僅美國，中國因開採技術等因素，預計於10年內達量產出口之可能性不高。加拿大政策支持出口頁岩氣，惟其頁岩氣輸出需經過西部落磯山脈，其開發及輸送費用較高，預計出口時程為2020年

¹工業技術研究院綠能與環境研究所 研究員

*通訊作者, 電話: 03-5914367, E-mail: HW_Hsu@itri.org.tw

收到日期: 2013年08月20日

修改日期: 2013年09月24日

接受日期: 2013年10月14日

以後。

2. 頁岩氣的優缺點

2.1 頁岩氣的優點

頁岩氣的優點主要包含三點：(1) 頁岩氣為最乾淨的化石燃料；(2) 目前美國頁岩氣較傳統天然氣價格低；(3) 頁岩氣儲量豐沛。此三點優勢為造成頁岩氣革命的主要原因，分別詳述如下：

(1) 頁岩氣為最乾淨的化石燃料

根據Rhodium Group (2013)研究顯示，與燃煤相比，天然氣每發一度電約可減少一半的二氧化碳排放。因此，若天然氣可降低成本及提高產量，實為取代火力發電及減排的重要能源。2005-2012年美國電力來源占比變化中，煤炭49.6%減少至37.4%(-12.2%)、天然氣18.8%增加至30.4%(+11.6%)、非水力的再生能源由2.2%增加到5.4%(+3.2%)，可看出天然氣在美國發電系統中扮演的角色日趨重要。由圖2可知，2005-2012年間美國共減排1,017百萬噸二氧化碳(million tons of CO₂)，其中能源部門對減排貢獻453百萬噸二氧化碳，占比44.54%。能源部門中，天然氣對減排貢獻占比高達38%。主因即為近年頁岩氣的開採，提供大量低廉的天然氣取代燃煤，造成減排效果明顯。再生能源部

分，雖然美國持續投入資源在再生能源，且再生能源可視為低排放的能源，然其發展速度近年仍不及頁岩氣。再生能源中，由於美國風力發展快速，以風力發電減排貢獻最大，占比達27%。整體再生能源(風力、生質能/燃料、太陽能和其他再生能源)減排占比總計達58%，其低排碳的特性仍為減排提供巨大的幫助。

(2) 目前美國頁岩氣較傳統天然氣價格低

雖然，未來美國頁岩氣價格之高低尚無法估計，然目前美國境內天然氣(含頁岩氣)價格十分便宜，每單位MBtu (Million British thermal unit，百萬英熱單位)約US\$3/MBtu與東亞各國進口液化天然氣高達US\$15-17/MBtu差了5倍，與歐洲國家有2-3倍的差距(圖3)。2013年美國Henry Hub的天然氣價格略微上漲至US\$3.49/MBtu，但在全球天然氣價格中仍相對便宜。液化天然氣(Liquefied Natural Gas; LNG)相對傳統天然氣價格昂貴，而東亞各國(日本、韓國、中國與臺灣)為液化天然氣之主要進口國家之一。其中，東亞各國又以日本採購LNG價格最高，近年受到福島核災影響，核電廠關閉提高天然氣需求，導致日本對於向美國採購頁岩氣表達高度興趣。我國LNG採購價格略低於日本，與韓國相當，2012年平均採購單價為US\$15.04/MBtu。

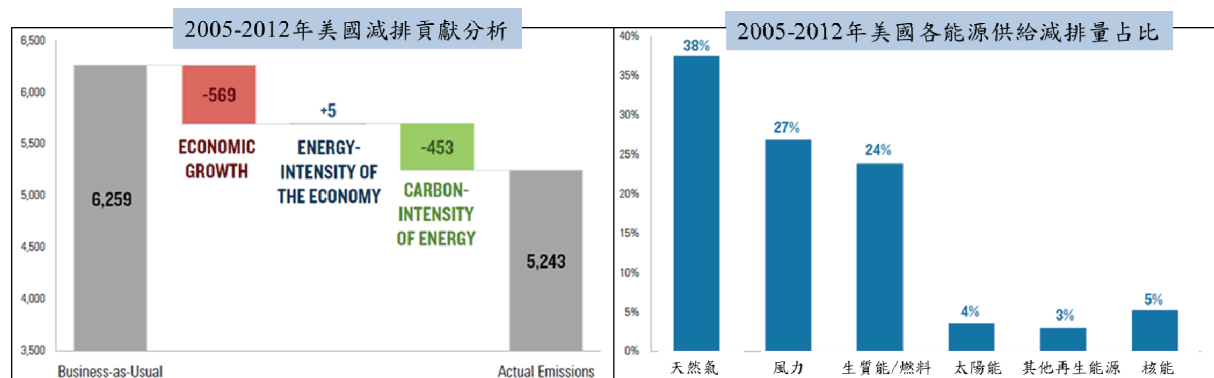


圖2 2005-2012年美國減排量貢獻分析(Rhodium Group, LLC, 2013)

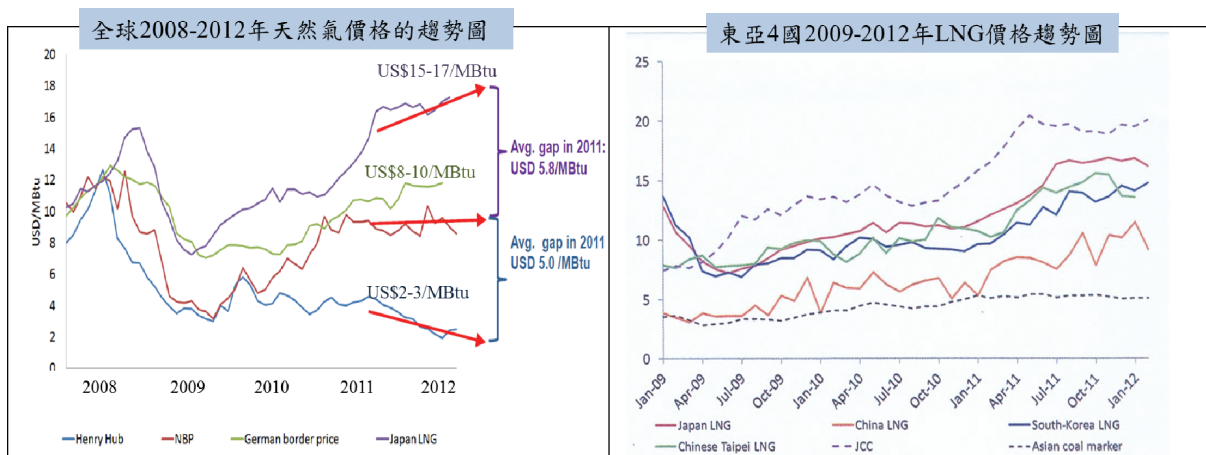


圖3 2008-2012年全球與東亞天然氣價格趨勢圖(IEA, 2012)

(3)頁岩氣儲量豐沛

頁岩氣生產量占2011年美國天然氣總生產量約占34.13%，EIA預測頁岩氣的重要性將持續提升，預計在2040年，頁岩氣占天然氣產量比重將可達50.4%，如圖4所示。以EIA (2013)數據作估計，中國可開採蘊藏量可使用279年，美國28年，如表1所示。

2.2 頁岩氣的缺點

頁岩氣雖然有減碳、便宜與儲量大的優點，然其發展上仍然面臨許多潛在的危機。以下列舉四點頁岩氣的缺點與風險。

(1)頁岩氣對生態的破壞

頁岩氣的開採造成地震的風險增加。英國的Blackpool和美國俄亥俄州的Youngstown皆曾因頁岩氣開採所採用的水力壓裂法，使用大量水資源並造成排放廢水，引發規模不小的地震。同時，開採產生的甲烷和壓裂水流入地下水中，污染水源並導致自來水自燃與影響健康，開採中的甲烷進入大氣，亦造成空氣污染。美國華府智庫「氣候與能源解決方案中心」(Centre for Climate and Energy Solutions; C2ES)指出，甲烷存在於空氣中的時間雖較二氧化碳短，然為影響地球最為嚴重的溫室氣

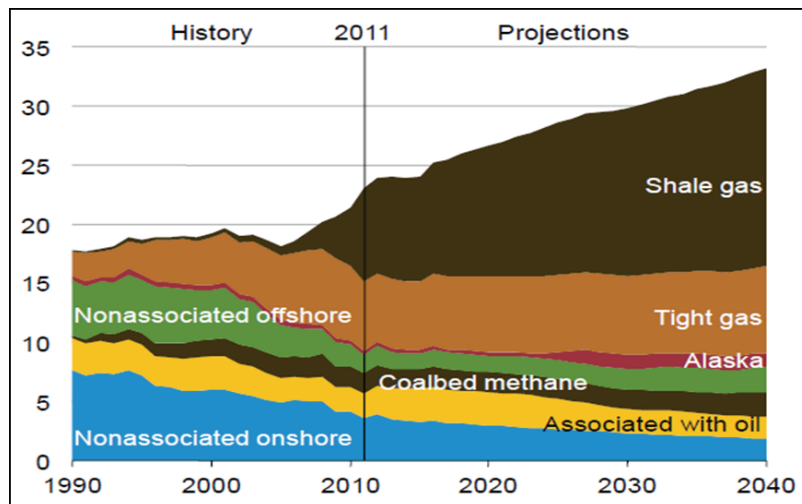


圖4 1990-2040年美國天然氣生產來源(trillion cubic feet) (EIA, 2013a)

表1 各國頁岩氣技術可開採量¹與年限

國別	技術可開採量(Tcf)	預估可使用年限 (以2011年生產量計算)
中國	1,115	279
阿根廷	802	401
阿爾及利亞	707	236
美國	665	28
加拿大	573	96
墨西哥	545	273
澳大利亞	437	219
南非	390	--
俄國	285	12
巴西	245	245

資料來源：EIA (2013b)

¹技術可開採量(technically recoverable resources)指在不考慮成本下採用現有探勘與生產技術可開採的量

體，評估改用天然氣對氣候的真正效益時，必須把甲烷排放量納入考慮。美國北達科他州放空燒掉的多餘天然氣量去年(2012)增長約50%，而北美地區天然氣由於價格低廉，使得修建管道和用儲氣罐處理石油生產中放出的天然氣變得不夠經濟。

(2)頁岩氣營利前景被高估

油氣公司可能高估頁岩氣營利前景，誇大油井蘊藏量。2011年8月美國地質調查局

(USGS) 估計Marcellus Shale的頁岩氣含量84萬億立方英尺(Tcf)，與美國能源信息署(EIA)估計410萬億立方英尺差異過大。2012年，EIA下修全美預估技術可開採資源量40%，至482萬億立方英尺(Tcf)。去(2013)年，EIA發布之技術可開採量估算值為665 Tcf，估計可供美國28年(以每年24 Tcf計算)，其每年估算值之變化與趨勢如圖5所示。由EIA估計頁岩氣藏量之變化可發現，頁岩氣之儲量估計仍有待時間考驗，且可開採蘊藏量無考慮經濟可行性，無法保證供應

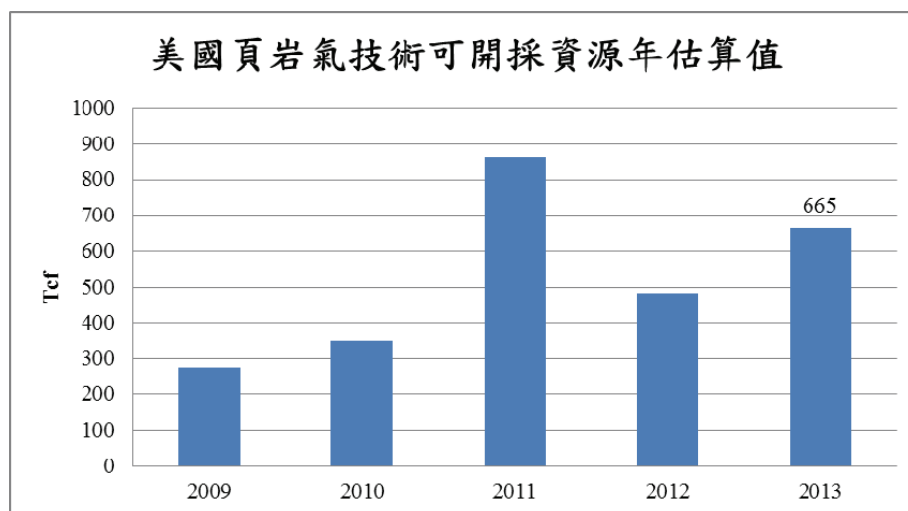


圖5 美國頁岩氣技術可開採資源年估算值(本研究整理，資料來源：EIA)

量。同時，Murray and King (2012)於Nature期刊文章亦指出，世界上現有的油氣田的耗盡仍以每年4.5%至6.7%的速度增長，頁岩氣井產量下降快速：頁岩氣井在運作的第一年產量即下降了60%至90%之多，並無法解決能源問題。

(3)各國對頁岩氣開採的觀望態度

由於同樣產量情況下，頁岩氣的井田面積大約是傳統天然氣井田面積的10倍以上，鑽井數量則達到傳統天然氣100倍以上。美國本土雖有不少油氣井，但通常被大範圍產量較低、開採成本較高的油氣井包圍。同時，頁岩氣開採所需之水力壓裂法技術對環境之影響仍有顧慮，有鑑於此，各國對於頁岩氣之開採態度保留。法國和保加利亞已禁止採用水力壓裂法，而德國則禁止頁岩氣開發，除非能證明水力壓裂法等技術無害。土耳其2020年前將不開採境內頁岩氣資源，需要3-15年的時間進行相關研究；而英國則延長頁岩氣審核時程，由13個星期審查時程延展至4-6個月。即便擁有豐富頁岩氣蘊藏的羅馬尼亞亦正醞釀禁制。開發先行者的美國，亦頒布相關法規，加強對頁岩氣開發環境監管。美國環境保護局目前仍在對頁岩氣開採造成的環境污染進行評估，結果將於2014年公布。

(4)頁岩油事業尚在起步階段

國際能源總署(IEA, 2012)於World Energy Outlook報告指出，頁岩氣事業尚處於形成階段，狀況仍不明朗，在生產技術上若有處理不好，將終止頁岩氣革命。「紐約時報」於2011年的一項調查發現，盡管美國石油工業在公開場合採取了極為樂觀的立場，但在私下卻對頁岩氣持懷疑態度。根據EIA估計未來頁岩氣價格仍將成長，且未考慮環境成本，如圖6。考慮環境影響下，IEA (2012)對頁岩氣開採提出Golden Rules供業者遵循，以降低對環境衝擊，預估將增加成本7%。

3. 頁岩氣對全球能源的影響

3.1 頁岩氣對全球能源的影響趨勢

天然氣(含頁岩氣)目前全球市場可分為三區，價格互不影響。其中，亞太洲市場主要以LNG為主，沒有參考氣價，與日本原油聯動，以JCC (Japan Crude Cocktail)計價方式。歐洲、中東則長期以管線天然氣交易，以石油產品或布蘭特原油聯動，有穩定計價方式。北美地區以氣計價，目前相對價廉易於轉換市場。根據EIA預測，未來美國頁岩氣主要出口以北美(墨

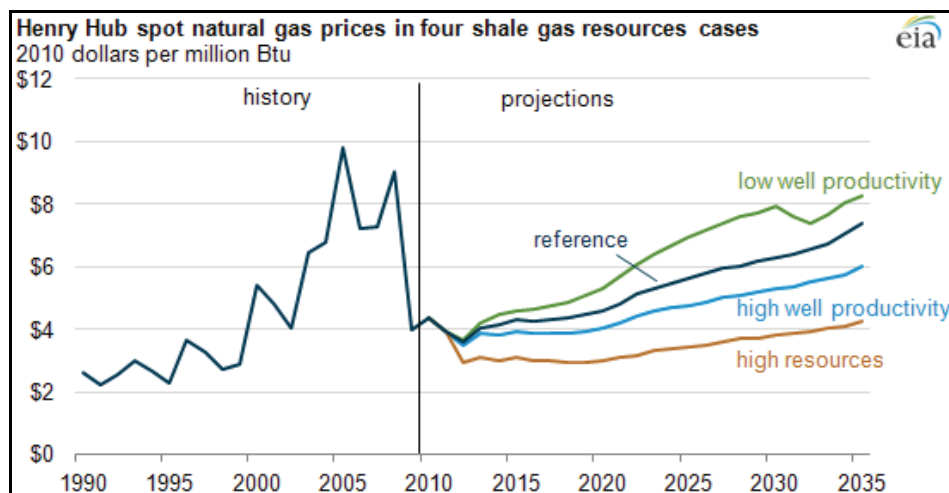


圖6 不同頁岩氣開採情境下之美國天然氣價格趨勢

西哥和加拿大)為主，LNG出口估計需至2015年後，且量不大，如圖7；美國頁岩氣需在2022年後才會成為天然氣淨出口國(EIA, 2012)。有鑑於此，短期內美國頁岩氣的開採對全球天然氣市場的影響不大，對北美地區頁岩氣的供給影響較大。

儘管短期內美國頁岩氣無法直接影響全球天然氣市場，然其已間接影響全球能源供給現況。美國對頁岩氣/油的大量使用，導致石油進口減少，燃煤出口增加。根據EIA統計資料顯示，2006-2011年美國平均每日進口石油減少3,872千桶，減少比例達31.25%。而由於頁岩氣取代燃煤發電，美國的煤炭需求減少，生產商只好尋求外銷。2006-2011年美國燃煤年出口量

增加57,611,292噸，增加比例達116%，如圖8。

EIA表示，美國煤炭將轉而出口至歐洲市場，歐洲的主要消費能源將開始從天然氣向煤炭轉變。同時，需求大的亞洲也成為主要目標，因關閉核電廠的日本，對於煤炭的發電燃料需求增加，關西電力、九州電力二大電力公司也擴大自美國進口煤炭。2012年美國煤炭外銷數量已創下新高，俄羅斯、南非、澳洲、印尼等煤礦商為保住市場份額，只能降價。EIA表示，2016年以前，美國煤炭消費不太可能出現增長，澳洲、印尼等國煤炭產量僅2-3億噸，而美國煤炭仍有數億噸的產量。未來美國出口對象將有可能鎖定新興經濟大國如中國、印度等。值得一提的是，中國頁岩氣儲量位居世界

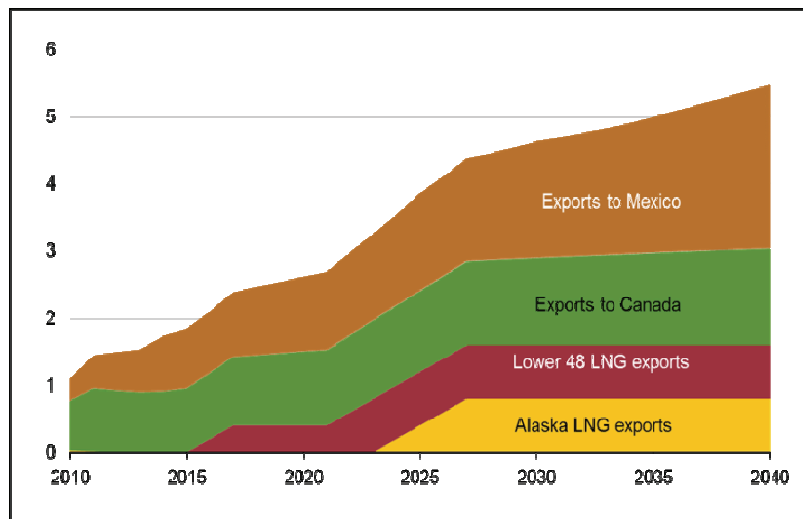


圖7 2010-2040年美國天然氣出口估計(trillion cubic feet) (EIA, 2013a)

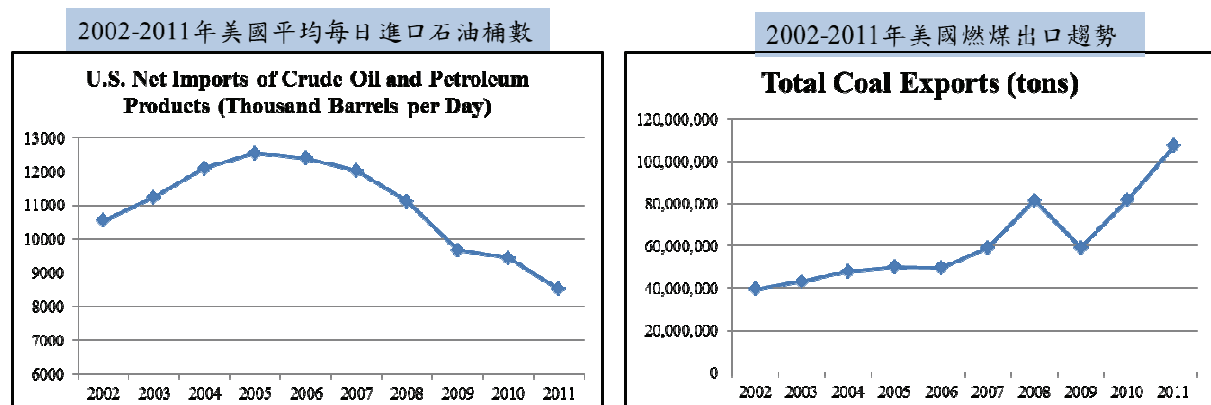


圖8 2002-2011年美國石油與燃煤進出口趨勢(本研究整理；資料來源：EIA)

第一，未來若取得開採技術後，將大大打壓煤碳價格。

總結來說，頁岩氣革命對全球能源供給市場之影響可分為：短期正在發生之影響與日後可能發生之影響兩大類。短期來說，由於美國天然氣與石油供應量增加，導致煤炭需求降低，因而大量廉價煤炭輸出歐洲。歐洲部分由於低廉的煤炭輸入，導致天然氣需求降低。同時，中東地區因美國頁岩氣開發，導致輸出美國天然氣減少，因而改輸往歐洲，歐洲得以減少天然氣對俄羅斯的依賴。俄羅斯部分則因歐洲需求減少，導致整體天然氣價格調降。長期來說，美國將成為天然氣的輸出國，同時降低對中東國家的能源依賴。中東地區國家則將市場改為歐洲與亞洲地區，促使全球天然氣價格出現重新調整與計價的可能。亞洲地區逐步傾向氣價與原油價格脫鉤，日本、中國與韓國則會增加由俄羅斯進口天然氣的量，並藉此抑低整體氣價。整體影響關係可參考可參考圖9。

EIA表示，頁岩氣開採技術的革命性突破

使得天然氣價格跌至低位，亦拉低了世界第二大煤炭消費國-美國的煤炭消費量。隨著頁岩氣增產潛力下降和資源的稀缺，氣價將在2018年之後穩步增長。2030年本土氣價將漲至US\$5.4/MBtu，2040年更是達到US\$7.83/MBtu，屆時煤炭需求量也將增長。就長期而言，2016至2040年間，美國煤炭需求將持續增長，而天然氣價格的上漲將成為主因(EIA, 2012)。

3.2 頁岩氣對日韓天然氣的影響

日本未來能源政策方向主要涵蓋三個面向：(1) 儘早擺脫核電依賴；(2) 完成綠色能源革命；(3) 實現能源的穩定供應。2011年311大地震後，日本對天然氣的需求急遽升高。卡達曾大幅擴張對美國的LNG出口能力，然從2006年起，美國頁岩氣革命迅速發展，卡達也因此失去出口對象，日本因此由卡達採購了部分過剩的現貨LNG。2013年2月，日本首相安倍晉三在華盛頓的談判中要求美國總統歐巴馬儘快啟動輸送頁岩氣的程序，於2013年5月17日，

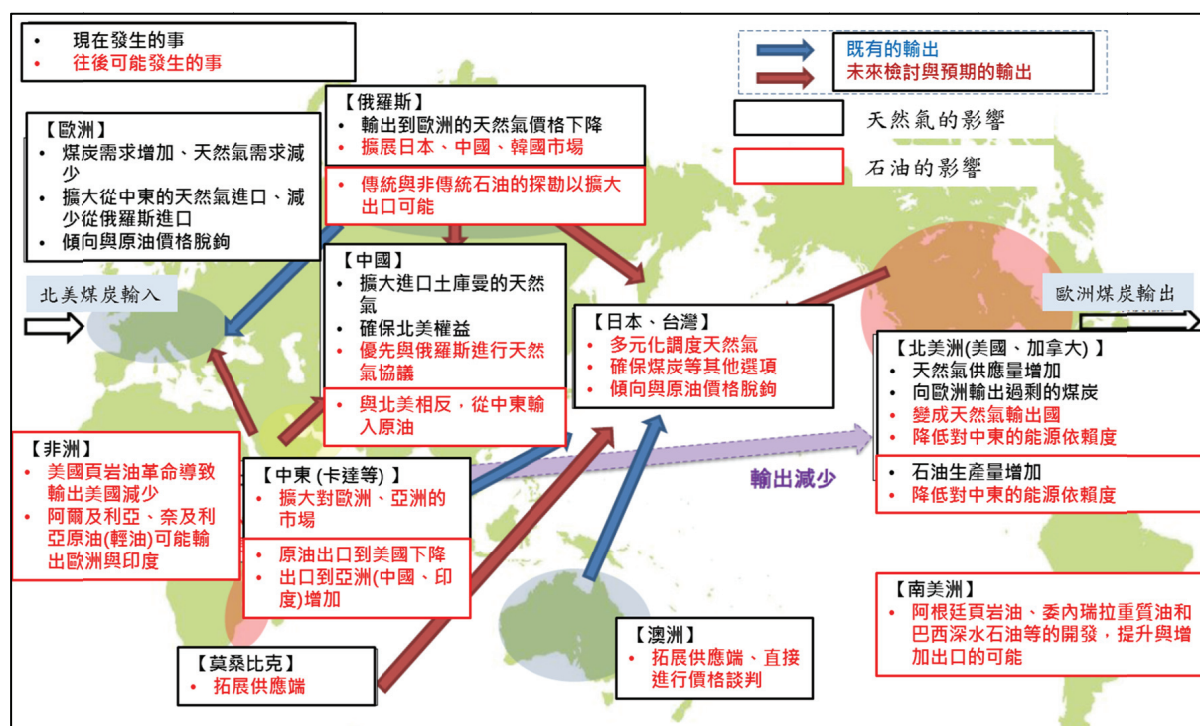


圖9 頁岩氣革命對全球的影響

(資料來源：総合資源エネルギー調査会総合部会 第3回会合，資料2，2013)

美國能源署表示雖然與日本尚未締結自由貿易協定(FTA)，但是仍放行LNG輸出日本。同意LNG輸出日本的第一步為大阪瓦斯和中部電力參與Texas、Freeport的LNG對日輸出計畫。日本預計2017年起就能正式從美國輸出LNG。對於核電停止，造成燃料費調度成本上升的日本經濟來說，是個好消息。

韓國部分，韓國瓦斯公社已於2012年1月與美國Sabine Pass公司簽署採購契約，為亞洲第一個與美國簽署頁岩氣輸出的國家。自2017年至2036年間，將每年進口360萬噸。2020年起將頁岩氣進口占燃氣比重增加20%，預計每年進口800萬噸以上。根據韓國官方預估，包含液化(冷凍燃氣)、輸送費用，進口費用將增長至US\$11/MBtu。而頁岩氣進口將強化韓國「能源議價能力」，並可藉此壓低中東、南亞購買的天然氣的進口價格。同時，韓國正在建構「韓國型頁岩氣開發模式」，主要分成三階段：(1) 韓國石油公司、燃氣公司、民營企業共同攜手對海外燃氣田進行開發；(2) 建設完成液化所需設備液化的燃氣；(3) 通過韓國國內企業建造的船舶運送至韓國。

3.3 中國頁岩氣的發展與影響

中國為能源生產大國，同時亦為能源使用大國。根據國家發改委在制定「十二五計畫」期間，將2015年頁岩氣年產量目標制定在6.5 Bcm (billion cubic meters)；2020年年產量目標制定在60-100Bcm，然目前估計目標恐很難達成。中國四川盆地具有與美國典型盆地相似的地質條件，具有較大的頁岩氣勘探前景。因此，經過多年調查，中國將優勢區域鎖定在四川。

中國現在僅有不到100口頁岩氣井(美國已有3.5萬口井)，且其開採技術和經驗有限，必須在和北美地質結構不同的情況下，尋求合適的經濟開採方法。中國頁岩氣井探勘成本很高，為美國的2-3倍。然隨著規模經濟，成本會逐步下降。此外，頁岩氣開採約需400-500萬

加侖的水，而中國頁岩氣蘊藏地水資源較為缺乏。天然氣輸送部分亦為挑戰之一，中國現階段僅有約5萬公里的天然氣管道，而美國是中國大陸的8倍。若以美國經驗合理估計中國頁岩氣發展時程，約於2018-2019年達到美國2007年的產量水準，2023年後產業始有可能蓬勃發展(Credit Suisse, 2012)。

若不考慮頁岩氣開採，假設傳統天然氣產量以9%的平均增長速率，2020年需求仍需要180Bcm的天然氣進口，約占總需求量的50%(Credit Suisse, 2012)。未來，由於中國天然氣的大量內需，頁岩氣開採應多數用於自用。長期來說，若中國出口頁岩氣，可能侷限於東亞地區少量出口，且其出口時程至少需十年以上，對全球能源供需短期內仍無法產生明顯影響。對我國來說，由於中國與我國地理位置接近，長遠發展仍應持續注意中國頁岩氣技術與產業發展。

4. 頁岩氣對再生能源之影響

由於低碳價廉的頁岩氣興起，對於目前成本仍高的再生能源發展形成一種挑戰。根據2011年MIT報告顯示，頁岩氣的持續發展，有可能延緩到再生能源發展，預估將使美國再生能源發展延遲20年。然亦有人主張，美國在成功開採頁岩氣後，其能源成本下降有助其國力以及改善其財政狀況，而美國在乎環境保護，其國力向上後將會更挺再生能源，對太陽能及再生能源皆有正面幫助。

美國歐巴馬政府承諾打造清潔、便宜，並提供更多就業機會的新能源產業，並朝太陽能成本在2020年減少75%努力，推廣能源效率研究，減少石油依存度。為進一步開發複雜度區的天然氣資源，保護空氣、避免水資源污染，預算中有120萬美元用於改善天然氣安全性研究。同時，比較美國能源部2012會計年度與2013會計年度財政預算，節能與再生能源的預算增加29.1%，顯示美國歐巴馬政府持續發展

表2 2012與2013會計年度美國能源部財政預算比較

單位：億美元	2012財年	2013財年	增加比例
節能與再生能源	18.1	23.37	+29.1%
化石能源	5.43	6.51	+15.3%
核能	8.59	7.7	-10.3%
輸電與能源可靠性	1.39	1.43	+2.8%
科學研究	48.74	49.92	+2.4%
先進能源研究項目	2.75	3.5	+27.3%
能源部總計	263	272	+3.2%

資料來源：美國能源部(United States Department of Energy; DoE)網站

再生能源的決心。此外，美國能源部科學研究經費亦將優先補助再生能源研究、開發、示範和部署。美國能源部指出，頁岩氣的大量開採幫美國爭取開發綠能技術的緩衝時間，並期許未來能大量仰賴綠色能源，而非會產生二氧化碳的能源。

再生能源發電成本目前雖然仍高於傳統能源，然逐漸達到市電同價。單以發電成本計算，家用太陽能歐洲多處與美國加州已接近等市電同價(Grid Parity)。未來十年內，太陽能發電有可能在全球大部分地方達到Grid parity，而具有成本優勢。夏威夷，加勒比和南太平洋熱帶島國和西班牙已達市電同價，2013年，預計義大利各地，巴西，智利和澳洲亦會達到市電同價。美國在2015~2020年之間估計太陽能平均發電成本可與其上網電價相當，如圖10。風力部分，部分陸域風力較佳地區發電成本已達市電同價。2013年2月4日在維也納舉行的歐

洲風能協會(European Wind Energy Association; EWEA)年度會議中亦指出離岸風力將於2023年達到市電同價。

總結來說，再生能源若持續發展低成本技術，長期來說應具有競爭力。比較各國所規劃之太陽能發電成本路徑圖與美國天然氣成本上漲趨勢可發現，至2030年PV發電成本將與天然氣接近，如圖11。長期來說，PV發展未必會受頁岩氣影響，短期內則可藉由頁岩氣的發展以作為再生能源發展的過渡能源。

國際組織間對於頁岩氣革命對再生能源發展的影響亦有不同的觀點。Rhodium Group認為廉價的頁岩氣提供了短期的環境效益，若無擴大再生能源稅收抵免辦法或採用新的有利政策，未來再生能源將有一段艱難的時刻(Rhodium Group LLC, 2012)。國際再生能源總署(International Renewable Energy Agency; IRENA)則表示：頁岩氣開採與技術的蓬勃發展

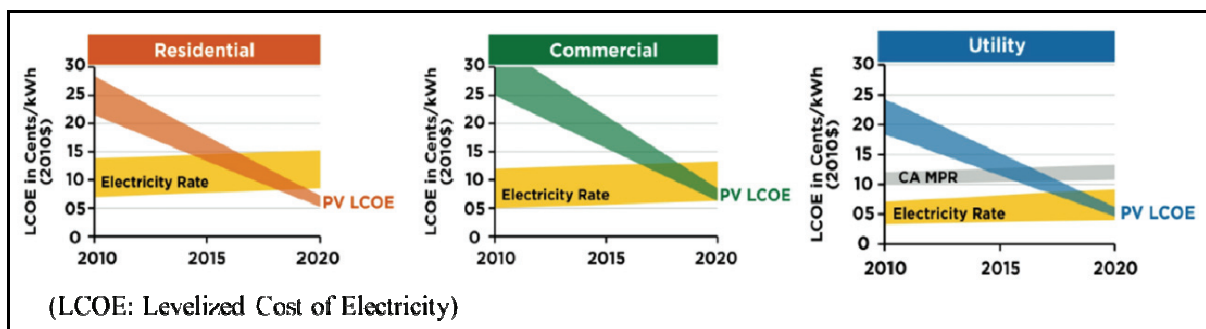


圖10 美國太陽能發電成本與平均電價趨勢(SunShot Vision Study, 2012)

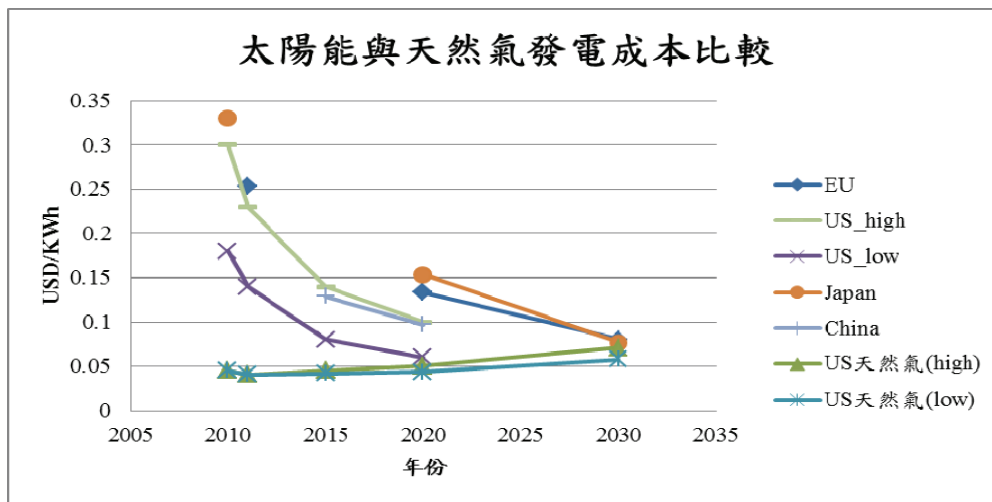


圖11 太陽能與天然氣發電成本比較
(本研究整理，資料來源：EIA, 2012)

使美國成為燃料的優良供應者，並可成為再生能源發展的過渡能源，並補其不足，因兩者皆可用來替代較污染的能源產品。IRENA認為，頁岩氣的第一目標應是取代煤，以較低的成本建立混和動力系統，以輸送到電網，並使用太陽能與風力補強。美國華府智庫C2ES與IRENA持相同看法，其認為美國可利用天然氣取代煤和石油，然天然氣仍為化石燃料，無法做為長期的替代品。美國應走向零碳能源，例如風能、太陽能和核能(C2ES, 2013)。IEA World Energy Outlook 2012 報告中指出，頁岩氣重要性提高，但實質成果不佳。反而屬再生能源類別的風力和太陽能，估計2035年將佔整體電力產量的三分之一，其中太陽能的增長將快過其他再生能源技術。

由再生能源的發展趨勢來看，頁岩氣與再生能源的發展政策尚不衝突。美國雖發展頁岩氣，然歐巴馬總統在2013年1月22日就職演說中仍續挺再生能源，預期將為太陽能市場帶來新利多；中國於2013年1月7與8號的全國能源工作會議中亦明確提出，2013年要大力發展頁岩氣與分散式太陽能發電。顯見，頁岩氣與再生能源在各國能源政策上應不衝突。IEA (2012) 報告中亦指出，再生能源將持續成長，至2035年，由於新興市場的推動下，全球電力需求將

成長70%；其中一半的新需求產能將來自於再生能源，接近煤炭發電量。

5. 頁岩氣對我國再生能源的影響

我國天然氣採用液化天然氣(LNG)，不同於管道天然氣。且主要進口國為卡達(46.32%)、馬來西亞(21.84%)與印尼(15.2%)，如圖12。我國LNG主要來源國為卡達，且單位採購價格為所有其他來源國中最便宜，如表3所示。去(2012)年初，中油與澳洲簽了15年每年進口175萬噸LNG的長約，合約總金額為NT\$6,300億，平均每年要支付台幣420億元，為近期簽訂的重要合約。此外，我國擴大使用LNG目前仍有潛在問題，如接受站及儲存槽不足和夏天氣候不穩多颱風的特性，影響船運進口。

臺灣中油公司進口之液化天然氣，2012年平均單價為US\$15.04/MBtu，2013年1月則為US\$14.03/MBtu，其中最新的LNG長約為2012年與澳洲簽訂，費用約為US\$15/MBtu。IEA (2012)估計，若美國頁岩氣價格US\$3/MBtu而言，液化成本約US\$3/MBtu，由美國墨西哥灣各州輸送到東亞的運輸成本約US\$6/MBtu。若

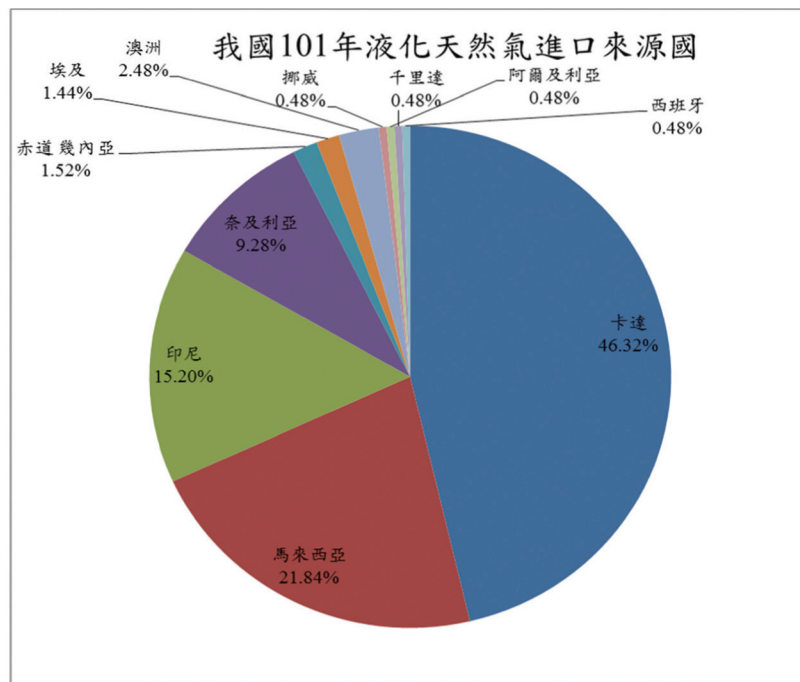


圖12 2012年我國液化天然氣進口來源國占比
(本研究整理，數據來源：台灣中油公司網站)

表3 2012年我國液化天然氣來源國之單位採購價格

主要來源國	每萬噸單位採購價格 (百萬美元)
卡達	\$ 621.57
馬來西亞	\$ 914.76
印尼	\$ 974
奈及利亞	\$ 881.81
赤道幾內亞	\$ 953.68
埃及	\$ 944.44
澳洲	\$ 897.42
挪威	\$ 916.67

(本研究整理，數據來源：台灣中油公司網站)

依臺灣中油公司初步估計，美國當地天然氣價格約US\$3-4/MBtu，含管輸、液化和運輸成本輸出至臺灣約需US\$10-15/MBtu，約為美國境內天然氣價格的3-4倍，如圖13。

我國最快可於2017年進口美國頁岩氣，然量不大，短期影響有限。頁岩氣進口的難度主要有以下兩點原因。

1. 美國出口至Non-FTA國家須各部會審核同意

若輸出對象為Non-FTA國家，必須徵詢美國各部會意見，審核時間約30-40個月，中油已於2014年2月11日獲得美國能源局的特別審查核准，成功爭取臺灣名列美國頁岩氣對Non-FTA國家第一輪出口名單。截至2013年底業者申請液化天然氣(頁岩氣)出口案件中，共有5件計畫獲准。2012年1月Sabine Pass Liquefaction LLC與西班牙、英國、韓國完成簽約，為第一個獲准之計畫。然因須通過巴拿馬運河，預定於2016年後開始交貨。餘計畫如取得美國能源部核可得出口至Non-FTA國家，從籌資至完成興建液化廠約5年，因此預計最早出口時程為2017年。日本部分，與美國經過多個月的交涉，於2013年5月，美國才正式同意LNG輸出日本計畫。

2. 出口設施不足，短期無法大量出口

美國目前相關之管線、液化設備、液化天然氣(含傳統天然氣及頁岩氣)船舶皆不足，且美國船運通過巴拿馬運河受到長寬限制，預定2014年10月完成拓寬，造成短期內美國無法大量出口液化天然氣。此外，美國墨西哥灣區液



圖13 臺灣進口美國頁岩氣之成本估計
(本研究整理，資料來源：台灣中油公司，IEA)

化天然氣船往返臺灣航程約60天，相較於目前我國天然氣來源國卡達航程約26-30天，印尼與馬來西亞航程約10-11天航運期長，對我國能源的穩定供應與安全具有較高的風險。

總結來說，頁岩氣對我國再生能源發展短期內影響有限。由於目前再生能源發展成本仍高，需仰賴政府補助及，採行固定躉購費率的方式收購，未來亦需與市電價格做競爭。因此，頁岩氣可能影響我國再生能源發展之主要因素為「能源價格」。Deloitte MarketPoint LLC (2012)的研究報告指出，若美國至2030年出口6 Bcfd (billion cubic feet per day)至亞洲地區，美國天然氣價格相較於2016年僅些微上漲US\$0.15/Mbtu，亞洲地區LNG價格相較於2016年將可能減少US\$0.4-0.6/MBtu (視市場競爭情境不同而不同，如圖14)，為長期影響且價差有限。同時，我國目前正在研擬能源稅之可行性，若能建構完善能源稅制度，並妥善運用能源稅資金於再生能源，則對我國再生能源發展與價格競爭具有正向幫助。

我國目前天然氣接受站及儲存槽不足尚

待克服，且美國頁岩氣短期仍難以大量出口。同時，我國採用LNG，美國出口至東亞成本較高，且根據自由市場原則，其售價不至於與市場行情差異過大。此外，即便進口美國頁岩氣，短期內量亦不大，對我國天然氣價格影響有限。我國再生能源發展有既定規劃，政府於2011年11月3日公布新能源政策，加速開發我國再生能源潛能及擴大各類再生能源推廣目標，規劃2025年裝置容量達9,952 MW，新增裝置容量6,600 MW，提早5年達成「再生能源發展條例」所定20年增加6,500 MW目標，2030年進一步擴大成長至12,502 MW，如表4，短期內將不影響我國目標與發展。

長期來說，頁岩氣的發展將延緩再生能源市電同價時程。由於全球天然氣需求持續擴大，相關投資增加，將降低液化與大型LNG船的建造成本，運輸成本亦可望逐漸降低，LNG價格在未來可望獲得控制。美國頁岩氣/油將影響全球能源供需現況，抑制全球油價並導致燃煤價格下降，能源價格獲得舒緩，導致再生能源市電同步時程恐延緩10年以上。此影響正

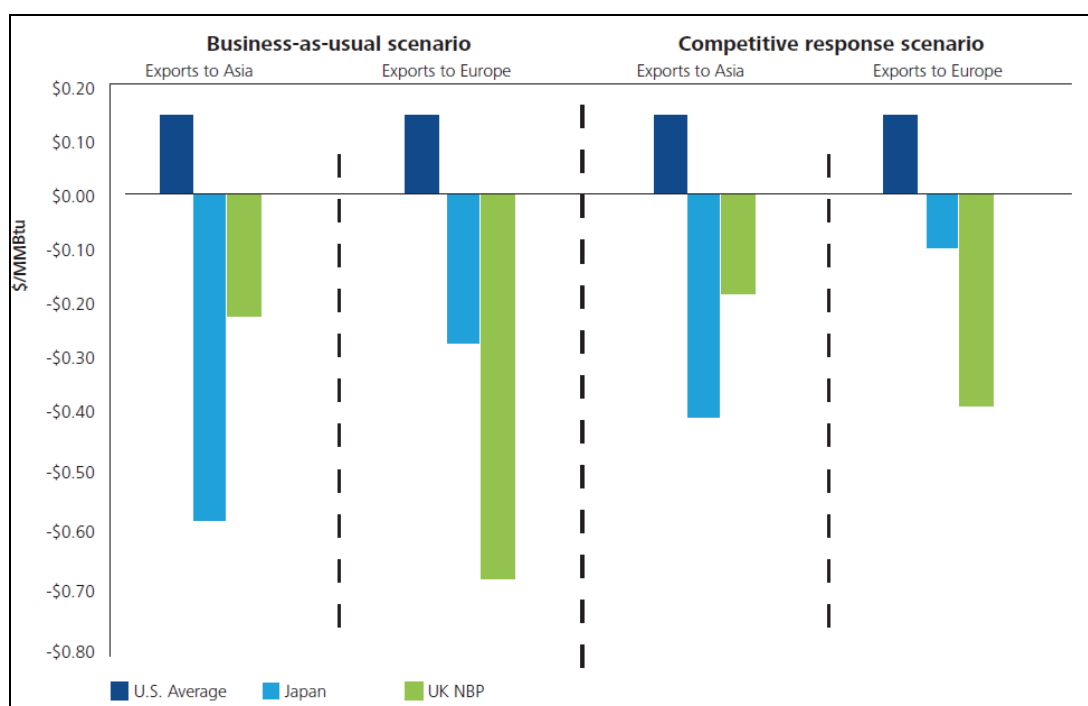


圖14 2016-2030年不同情境下天然氣預估價格影響
(\$/MMBtu, 2012年實質貨幣價值)
(資料來源：DMP World Gas Model projection, 2012)

表4 我國再生能源發展目標

再生能源設置量(MW)								再生能源發電量(億度)							
能源別		2010 年	2011 年	2012 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年	2010 年	2011 年	2012 年	2015 年	2020 年	2025 年	2030 年
風力 發電	陸域 風力	476	523	571	866	1,200	1,200	1,200	10	15	14	21	29	29	29
	陸域 風力	0	0	0	15	600	1,800	3,000	0	0	0	0.5	19	58	96
水力		1,977	2,041	2,081	2,081	2,112	2,502	2,502	42	40	57	22.1	22.4	27	27
太陽光 電		22	118	222	612	1,300	2,500	3,100	0.3	0.7	1.7	8	16	31	39
地熱能		0	0	0	4	66	150	200	0	0	0	0.3	4	10	13
生質能		825	822	822	877	954	1,400	1,400	37.4	35.9	35.1	63.5	69.5	101.6	101.6
海洋能		0	0	0	1	30	200	600	0	0	0	0.04	1	7	21
燃料電 池		0	0	0	7	60	200	500	0	0	0	0.4	4	12	30
合計		3,300	3,503	3,697	4,464	6,322	9,952	12,502	90	92	108	115	165	274	356

(資料來源：新能源政策與節能減碳配套措施推動規劃，行政院節能減碳推動會 101年第1次委員會會議，2012年2月29日)

註1: 預估占當年度之占比，係依電力系統負載預測(黃金十年GDP 成長5.0%，電力彈性系數0.75)推估。

註2: 再生能源因受天候影響，較無法提供可靠電源。如風力發電，全年平均利用率僅約27%。太陽光電發電，全年平均利用率僅約14%。相同占比裝置容量之再生能源，其發電量遠低於傳統火力與核能電廠之發電量占比。

逐步發生，於此全球溫室氣體的排放管控壓力下，值得特別注意。頁岩氣雖為低排碳化石能源，然仍無法取代幾乎不排碳之再生能源減排優勢。因此，應將頁岩氣視為再生能源發展的過渡能源，加速再生能源推廣與技術研發。我國為海島型國家，能源多仰賴進口，且為獨立型電網，長期仍應著重具自主性的再生能源。然再生能源具有不穩定性，其占比提升恐影響能源調度，倘若未來天然氣成本下降，將有助於電力彈性調度。同時，由於地理因素，相較於美國頁岩氣的開發，我國應持續關注中國是否成功開採頁岩氣，其成果對我國的影響將更為直接。

參考文獻

- 呂嘉容，2012，低碳能源新希望-頁岩氣之崛起與未來趨勢，經濟部能源局能源報導，2012年9月。
- 臺灣中油股份有限公司，2013，天然氣事業部。
- 中國人民網，2013，財經頻道-中日技術產業信息網。
- 中國國家能源局，2012，頁岩氣發展規劃(2011~2015年)。
- 韓國中央日報中文網，2013，2020年韓國能源金蛋頁岩氣比重將增加至20%，http://chinese.join.com/big5/article.do?method=detail&art_id=91918, September, 2012。
- 新能源政策與節能減碳配套措施推動規劃，2012，行政院節能減碳推動會101年第1次委員會議，2012年2月29日。
- 工商時報，2014，美國頁岩氣2017年來台。2014年2月11日。<http://www.chinatimes.com/newspapers/20140213001078-260202>
- 総合資源エネルギー調査会総合部会 資源エネルギー庁 第3回会合，資料2，2013。
- Centre for Climate and Energy Solutions (C2ES), 2013, Leveraging Natural Gas to Reduce Greenhouse Gas Emissions Technology. June, 2013.
- Credit Suisse, 2012, The Shale Revolution, Securities Research & Analytics. 13 December 2012.
- Deloitte Center for Energy Solutions and Deloitte Market Point LLC, 2012, Exporting the American Renaissance- Global impacts of LNG exports from the United States, October, 2012.
- U.S. Energy Information Administration (EIA), 2013a, Annual Energy Outlook 2013 Early Release Overview, 5 December, 2012.
- U.S. Energy Information Administration (EIA), 2013b, Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States, 13 June 2013.
- U.S. Energy Information Administration (EIA), 2012, Annual Energy Outlook 2012, June, 2012.
- U.S. Energy Information Administration (EIA), 2011, Technology Drives Natural Gas Production Growth from Shale Gas Formations, <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=2170>, July, 2011.
- U.S. Energy Information Administration (EIA), 2011, World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States, April, 2011.
- Massachusetts Institute of Technology (MIT) study, 2011, The Future of Natural Gas, June 6, 2011.
- International Energy Agency (IEA), 2012, World Energy Outlook, 12 November, 2012.
- International Energy Agency (IEA), 2012. Medium-Term Gas Market Report 2012, June,

2012.
International Energy Agency (IEA), 2012, Golden Rules for a Golden Age of Gas- World Energy Outlook: Special Report on Unconventional Gas, 29 May, 2012.
Murray J. and King D., 2012, Climate policy: Oil's tipping point has passed, Nature, Vol. 481, Issue 7382, pp. 433-435.
Melbourne Energy Institute, 2011, Renewable Energy Technology Cost Review, March, 2011.
Rhodium Group, LLC, 2013, Coal Claws Back, <http://rhg.com/notes/coal-claws-back>, 14 February, 2013.

The Impact of Shale Gas Revolution on Taiwan's Renewable Energy Development

Hsin-Wei Hsu^{1*}

ABSTRACT

As the technology breakthrough of U.S. shale gas, it drives global energy revolution and change in recent years. The shale gas has the advantages of low carbon emissions, low cost and high reserves. However, it needs further evaluation on the development of shale gas for the impact on the environment, the overestimated prospects and the national conservative attitudes. The exports of U.S. shale gas are currently subject to regulations, facilities and market compartments, and therefore are not easy to be done in the short time. However, it still has the indirect effects on the global energy market. In addition, due to the pressure of global greenhouse gases emission, the shale gas revolution on the impact of renewable energy has become an important issue. This study focused on the possible impact of shale gas on global, U.S. and Taiwan's renewable energy development, and the results for Taiwan are the limited impacts in the short-term and delaying the grid parity in the long-term. Under the shale gas revolution, the natural gas should be an import role for energy transition for our country, and it makes us have the time to promote renewable energy and actively involved in development of renewable energy related technologies in the long-term.

Keywords: shale gas, renewable energy, greenhouse gas, grid parity

¹ Researcher, Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute

* Corresponding Author, Phone: 886-3-5914367, E-mail: HW_Hsu@itri.org.tw

Received Date: Aug. 20, 2013

Revised Date: Sep. 24, 2013

Accepted Date: Oct. 14, 2013