

美國頁岩氣開發之過去、現在與未來展望

2013年3月6日

我國中央社駐華府記者林淑媛於2013年2月25日的專題報導中指出¹：「美國是全球擁有最多核電機組國家，雖然歐巴馬政府積極發展頁岩氣與再生能源，去年仍發出4張新執照，不過，美國核電廠目前發展主流趨勢是以延役取代興建新電廠」，同篇報導亦引用美國能源資訊署（Energy Information Administration, 以下簡稱EIA）之預估數據，預計到了2040年時，美國核能發電占比將從2011年的19%微幅下降到

17%，目前的發電主力燃煤，則從42%降到35%；但天然氣與再生能源兩項美國重點扶植能源占比則呈現增加趨勢。從以上文字敘述可以看得出頁岩氣在未來美能源政

策的重要性，到底頁岩氣(Shale Gas)與傳統的

天然氣有什麼不同？它是如何演變成現今具有舉足輕重的地位？未來的潛力如何？開發使用上是否有什麼顧慮？以下針對頁岩氣的來源、開採技術、經濟影響、及環境衝擊等方面加以分析說明。

什麼是頁岩氣

頁岩氣是天然氣的一種型式，它是一種附存在頁岩(沈積岩)層中的氣體。工業界一般將天然氣分成傳統(conventional)及非傳統(non-conventional)兩種，两者的主要成份都是甲烷。傳統天然氣通

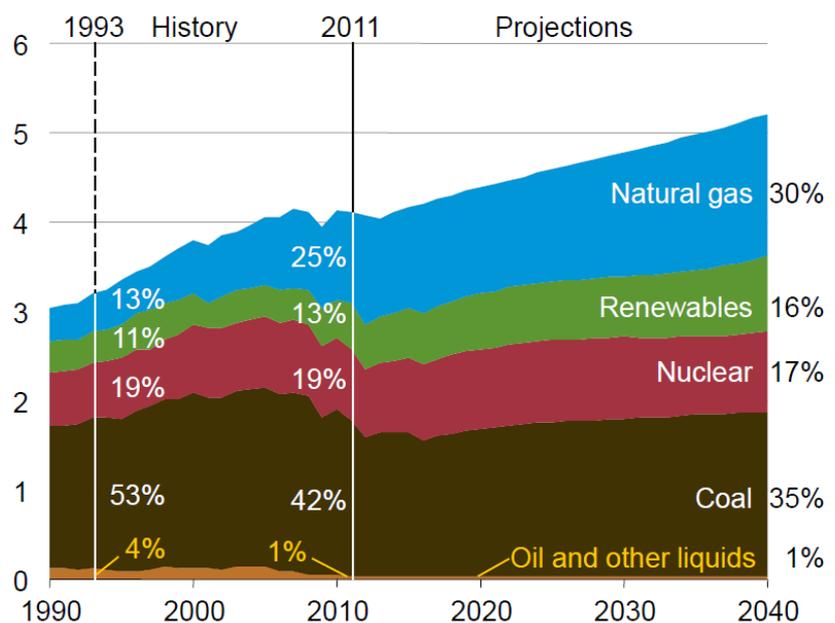


圖 1: 美國各式能源發電比例預測圖
(資料來源: 美國 EIA 2013 年能源展望早期報告²)

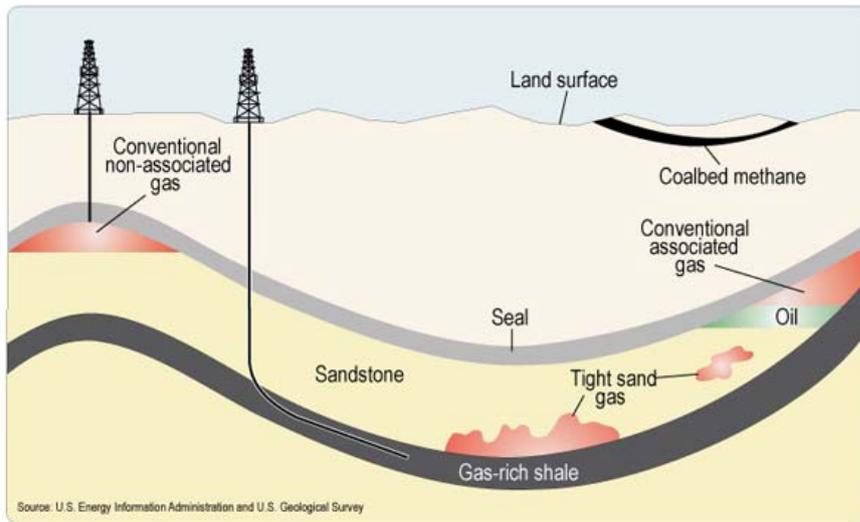


圖 2: 傳統天然氣及非傳統頁岩天然氣示意圖
(資料來源: 美國 EIA 及 Geological Survey³)

常係指地下層豐富的有機氣體遷移到不可滲透之岩石層之後，被阻擋不再移動而聚積形成氣池

(reservoir)。相

反的，頁岩氣這類之非傳統天然氣則是因豐

富的有機氣體停留在低滲透性的頁岩中，而阻擋了氣體遷移到其他高滲透性的岩石。從圖 2 的示意中可以看傳統天然氣井都通常在岩層上側，利用垂直開採方式即可取得，而居於深層之頁岩氣則尚需要水平鑽井的技術，再配合水壓裂解的方式來取得，以下將再予以說明。

頁岩氣崛起的原因

頁岩氣資源的存在，早在幾十年前已為人所知，然而因為處於深層及岩層之低滲透率，而使得頁岩氣的開採過於昂貴，且技術上難以突破，經濟效益不合成本。目前全美及

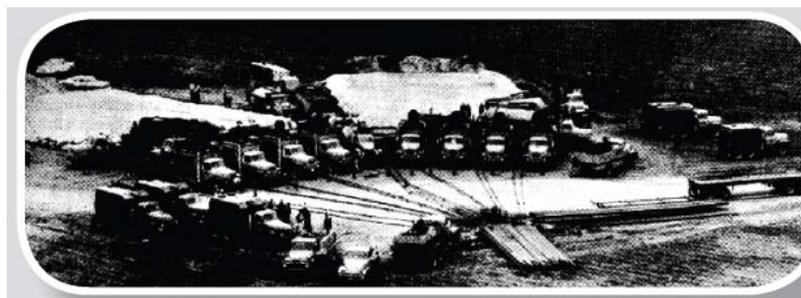


圖 3: 1947 年由泛美石油首次採用水力裂解法抽取天然氣
(圖片來源: Photo Credit Pennwell⁴)

世界各地風起雲湧地開發頁岩氣，其原因係 2005 年至 2008 年之間，天然氣價格開始飆漲，才逐漸讓人回頭檢討頁岩氣的開採，並逐漸

帶動了美國非傳統天然氣的崛起。功臣之為一群較小型的獨立油田服務公司，率先投入頁岩氣探勘及技術發展，並使得北美的頁岩氣開採發生了革命性變化，從而賦予頁岩氣成本競爭力，此開採頁岩氣的主要技術為水平鑽井(Horizontal Drilling)和水壓裂解(Hydraulic Fracturing)。

水平鑽井技術的原理是先垂直鑽井至所需的深度⁵，然後再橫向鑽探至頁岩氣儲量豐富的位置；水壓裂解技術的原理則是利用極高壓將混和水、沙與化學物之液體注入井內，用沙來「撐開」岩石形成的縫隙，這將使得藏在岩石中的天然氣可通過縫隙流向井筒，然後再流向地表。用於壓裂的液體通常由水和沙子或其他固體組成，以便在岩石開裂後形成支撐，此外，化學製劑能夠讓開採過程更具效率。將此兩項技術結合，為引發北美頁岩氣革命的關鍵所在。

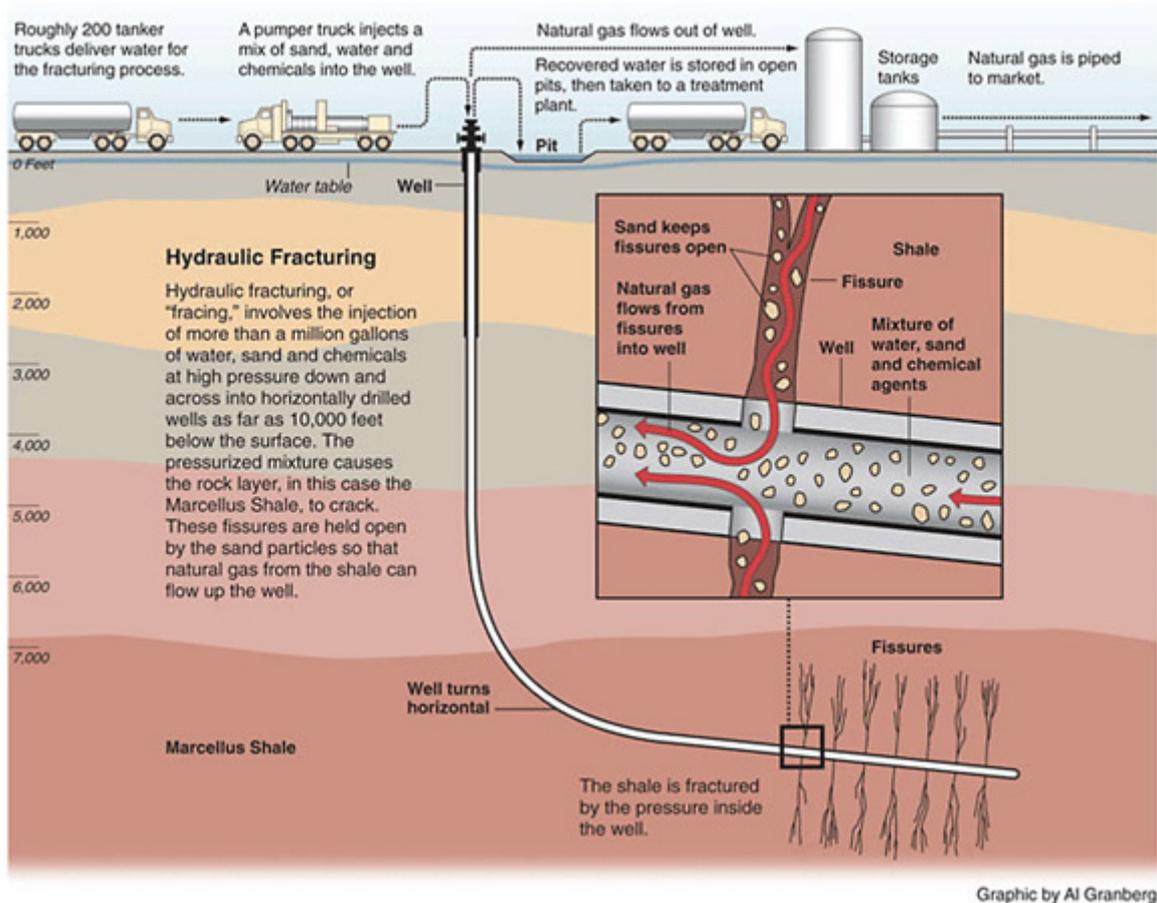
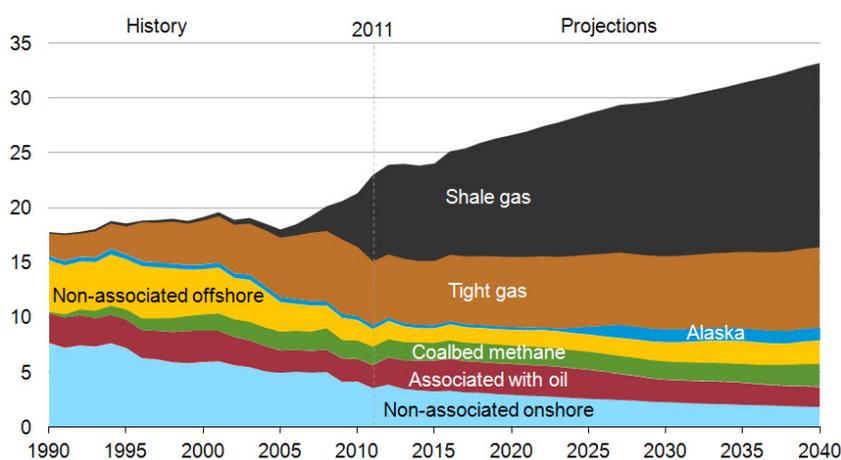


圖 4: 水平鑽井及水壓裂解之示意圖 (資料來源: 美國能源資訊署 EIA³)

美國頁岩氣蘊藏量預估及開採趨勢

根據美國能源資訊署 EIA 公布的「2013 年度能源展望早期報告」報導內容²，因開採技術的進步及頁岩氣探勘的持續投入，美國天然

U.S. dry natural gas production
trillion cubic feet



Source: U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2013 Early Release

圖 5: 1990-2040 美國各類天然氣產量及預測

全國天然氣總生產量之 34%，EIA 預測頁岩氣的重要性將持續提升，預計在 2040 年，頁岩氣產量比重將可達 50%（如圖 5 所示）。非傳統天然氣（尤其是頁岩氣）的崛起，也使美國有機會由天然氣進口國轉變為出口國。未來更預估於 2021 年左右，美國天然氣供給將超過其消費量，由天然氣淨進口國轉變為淨出口國，較 2012 年之預測又提前了 3 年。

在有關頁岩氣的蘊藏量的預估方面，美國歐巴馬總統 2012 年在美國國會的年度演說中，提到美國各種型式天然氣的蘊藏量，可供應 100 年的使用。當然也有人強烈質疑歐巴馬是被錯誤的資訊誤導，石油及天然氣地球科學家 Dave Hughes⁶ 就認為不能僅以現在的年生產量來推估可使用的年數，而需考慮氣井在使用一段時間後，生產量會逐漸下降的事實，且需繼續再鑽鑿新的氣井，在同時開發新井與維護舊井之際，是必須付出相當的成本。不同於其他樂觀的

產量將由 2011 年之 23.0 tcf (trillion cubic feet, 兆立方英尺) 成長到 2040 年 33.1 tcf，成長幅度為 44%，而成長的主要來源即為頁岩氣。另以比例來

看，頁岩氣之生產量在 2011 年佔

預估，Hughes 推論美國頁岩氣僅有 25 年的蘊藏量。根據 KPMG 全球能源研究院 2011 年的專題分析報告⁷，全球最大潛在蘊藏量的國家為中國大陸，可達到 1,275 tcf，其次為美國之 862 tcf，全球頁岩氣總量則約 6,600 tcf，下圖是美國本土頁岩氣分布的概況。

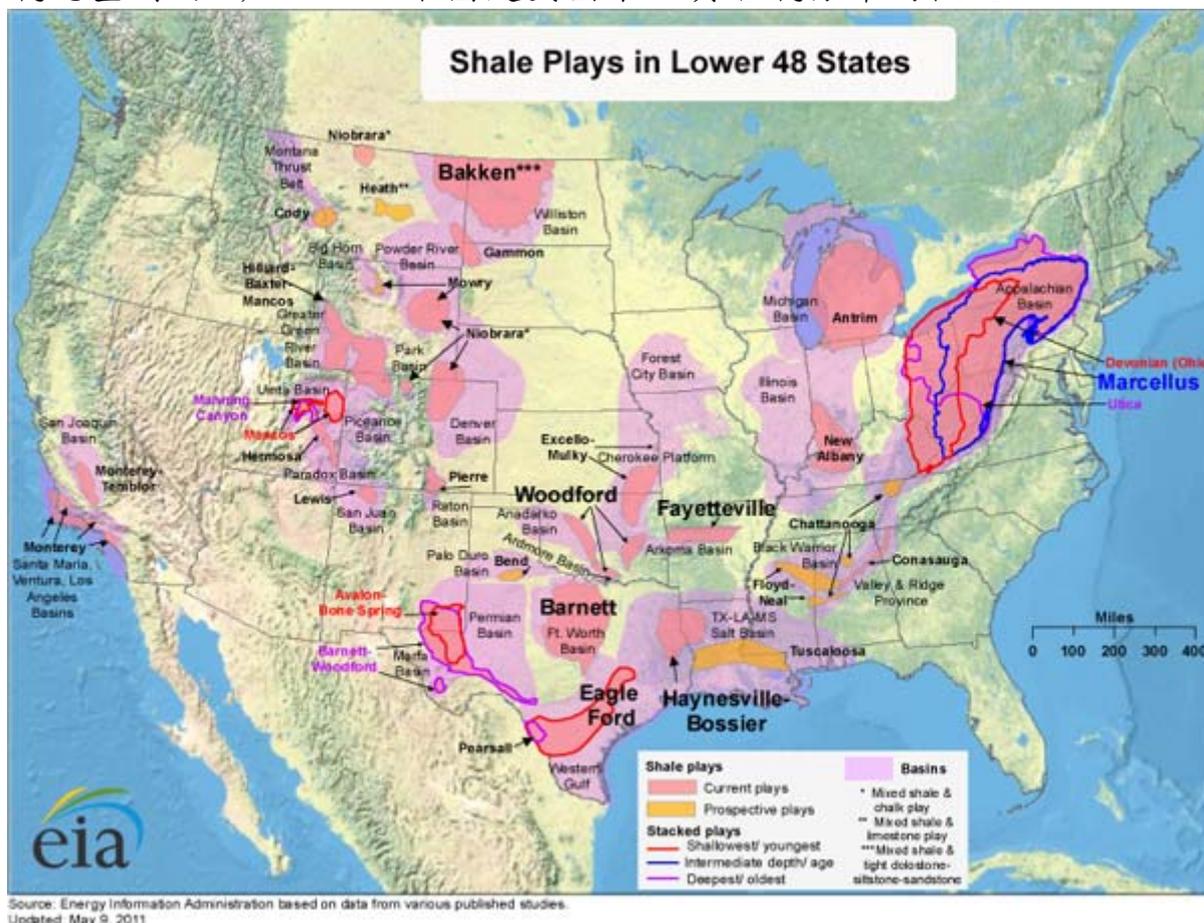
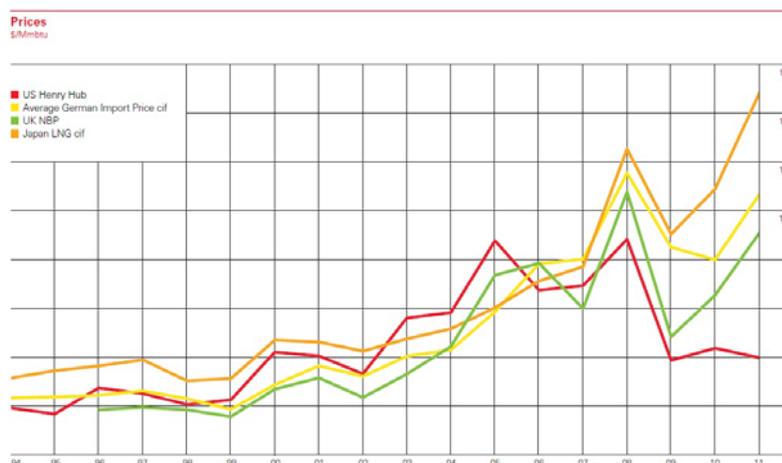


圖 6: 美國頁岩氣分布圖 (資料來源: 美國能源資訊署 EIA³)

頁岩氣對美國及全球天然氣價格的影響

從以上關於美國頁岩氣的開發生產趨勢可知，由於非傳統天然氣的持續開採及生產，除提升能源自給率外，降低美國本土的天然氣價格，甚至使美國有機會成為天然氣出口國⁵。然而我們亦應注意世界各國天然氣的價格，因地理位置因素，及進出口需求的關係，不見得都可以享受類似美國的低廉天然氣。美國本土境內開發的頁岩氣，可以利用管線的方式達到用戶，對於輸出到其他國家，就必

須靠壓縮之液化天然氣(Liquefied Natural Gas, LNG)以輪船運送的方式。在經濟部能源局 2012 年 4 月份出版之「能源報導」中，李正明即指出因為全世界對於 LNG 需求的持續增加，使得 LNG 航運業近年來一枝獨秀⁸，運費也因而被抬高，再加上日本福島核災後，因日本關閉大部分核能電廠，轉向大幅度地使用化石燃料，而履見不鮮的海盜事件，又進一步的提高航運保費，使得各國進口 LNG 的成本也隨之水漲船高。從圖 7 美日英德四國天然氣價格的統計近 20 年的統計圖可以看出，2009 年之後，除了美國仍維持平穩天然氣價格，工業大國如：日本、德國、及英國之天然氣價格均呈現成



長的趨勢，其中又以日本漲幅最大，2011 年其天然氣平均價格約為美國的 3.75 倍。

圖 7: 1994-2011 美日英德四國天然氣價格變化圖
(資料來源: 英國石油 BP 能源統計³)

台灣經濟研究所院李詩豪副所長在其所撰「台灣必須思考如何應對國際 LNG 價格上漲的挑戰與壓力」一文指出¹⁰，所謂國際天然氣價格不斷地下降，實際上指的是北美市場的管線天然氣價格，國際上 LNG 市場在石油價格持續上漲及福島核災日本大量採購 LNG 的雙重影響下，近年來 LNG 價格不斷上揚，對台灣而言進口天然氣價格自然也是如此。李副所長進一步分析，台灣為因為國際溫室氣體減量的壓力，將大量使用天然氣這種低碳能源，然而因為國際 LNG 價格的上漲也代表著能源成本的提高，國內電力價格也無法避免地持調漲，如此對於經濟發展及民眾生活都會產生進一步的壓

力。然而各界對於天然氣價格的誤解，卻會輕忽了未來的壓力與難題，恐怕將來受到的打擊和傷害會更為嚴重。

頁岩氣開採對環境的衝擊

雖然世界各國都已開始積極頁岩天然氣的開採及使用，而且相對於高污染煤炭來說，天然氣是一種相對乾淨的化石燃料，若有效地使用在複循環電廠，每單位電力排放的二氧化碳量，比燃燒煤炭而產生的量少了將近一半。然而頁岩氣的開發也伴隨著環境保護上的顧慮。美國能源資訊署(EIA)即列出四項可能的環境衝擊因素³。

首先在運用水壓裂解的技術時，必須同時使用大量的水，據估計裂解一口氣井所需的總水量通常是 9-90 百萬公升，相當於英國 170-1700 人年用水量¹¹，對於部分國家或地區而言，因為開採頁岩氣而顯著地使用水，將會對水資源的可用性，甚至對於水生動植物的棲息都造成不良的影響。其次在水壓裂解技術中所使用化學液體為潛在的危險物質，若不能謹慎處理，將透過濺出、洩漏、毀壞的氣井、或其他的途徑，污染了周遭的環境。有頁岩氣開發公司估計所使用的化學之壓裂液體，約有 75% 會留在井裡，的確有可能造成地下水的污染。

第三方面則是頁岩頁的開採，通常也伴隨產生大量的污水，這些廢水都是應該要加以再處理或回收使用的。美國最近對於如何處理井中的水壓裂解液體有些疑慮，使用後的殘留甚至會有少量重金屬與天然放射性原料，對於直接將液體暫時儲放在開放的煤坑更是令人擔憂，萬一煤坑因豪雨溢流，可能損害當地環境。最後根據美國地質調查所的報告，水壓裂解會造成輕微的地震現象，這些地震強度並沒有安全的顧慮，但是會對部分被注入深井的廢水儲存處造成損壞，進而影響到周遭的環境。

結論與心得

綜合以上的說明及檢討，可歸納以下四點結論及心得

1. 頁岩氣的開發崛起，對於美國未來 30 年之能源使用而言，將扮演著舉足輕重地位，全球頁岩氣的整體蘊藏量，若能有效地開採，估計也可以提供相當比例的能源，除美國之外，對世界整體經濟持續進步，未嘗不是件好事。唯美國因地大物博，整體探勘及開採技術等方面，都居於先驅的地位，對於其他資源缺乏的國家，如日本及我國，因地狹人稠等因素，不見得都可以等量齊觀。
2. 由美國能源資訊署所公布的 2013 年的最近數據，再次顯示美國分散能源使用的政策，此亦現任歐巴馬總統所說之多重能源政策 (All of the Above)。最近被歐巴馬總統提名美國能源部新任部長之 Ernest Moniz，為麻省理工學院物理及工程系統教授，並身兼能源倡議及能源與環境實驗室主任，曾在柯林頓總統時代擔任美國能源部次卿。Moniz 本身即是 All of the Above 政策之倡議者，且曾致力推廣頁岩氣的開發，推測未來美國能源政策仍將維持現有的模式穩步前進。
3. 由於頁岩氣的開發，帶動美國天然氣價格的降低，唯需注意這並不表示世界各國都可以享受同樣的待遇，特別是考量液化天然氣所需要的船運因素，及各國爭取能源資源的狀況下，我國及臨近的日本仍將面臨能源成本提高的挑戰及壓力。
4. 我國近來不少人倡議增加天然氣的使用，或是比照各國開發頁岩氣，但需知天然氣的使用所造成溫室氣體的產生量，固然優於煤炭，但畢竟仍是化石燃料的一種，大量使用天然氣，仍然會排出可觀的二氧化碳。另開發頁岩氣對環境的潛在污染及衝擊，也是必須加以考量的，加上台灣地理面積狹小，在普遍垃圾場不在我家後院的心態下，更增添在本土開採頁岩氣可能性之難度。

參考資料

1. 中央社新聞，”經濟效益 美國核電廠延役成主流”，2013 年 2 月 25 日。
2. US Energy Information Administration, “Annual Energy Outlook, 2013 Early Release”, December 5, 2012.
3. US Energy Information Administration, “Energy in Brief: What is shale gas and why is it important?”, December 5, 2012.
4. National Energy Technology Laboratory, “Shale Gas: Applying Technology to Solve America’s Energy Challenges”, March, 2011.
5. 呂嘉容，” 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。
6. Steve Horn, “Reports: Shale Gas Bubble Looms, Aided by Wall Street”, February 19, 2013.
7. KPMG Global Energy Institute, “Shale Gas: A Global Perspective”, 2011.
8. 李正明，” 2011 年 LNG 船運評析”， 經濟部能源局能源報導，2012 年 4 月。
9. British Petroleum, “BP Statistical Review of World Energy”, June, 2012.
10. 李詩豪，” 台灣必須思考如何應對國際 LNG 價格上漲的挑戰與壓力”， 經濟部能源局能源報導，2012 年 4 月。
11. 駐英國台北代表處科技組，” 非傳統天然氣”，2011 年 8 月 9 日。