

頁岩氣革命對 CCS 發展之影響

FutureGen Dead! CCS 何去何從？

張志瑋、張耀仁

核研所能源經濟及策略研究中心

2015/07

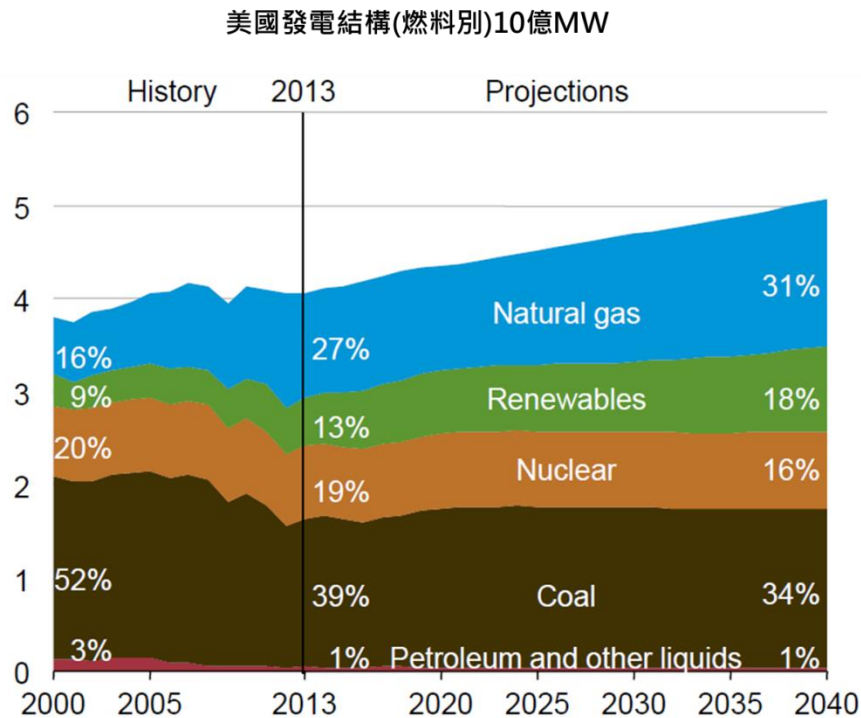
2015 年 02 月 05 日，美國 Think Progress 發表一篇有關美國 FutureGen 計畫發展受挫的文章，此篇文章表示歷經 12 年卻又失敗的 FutureGen 2.0 計畫，顯示大型 CCS 技術很難於 2030 年前被廣泛應用於燃煤電廠，且未來 CCS 對於全球 CO₂ 減排貢獻於 2050 年前將不會超過 10%，同時 CCS 驗證計畫因無法出售捕獲的 CO₂ 及無法從售電回收增加的成本而停止計畫[1]，此文章認為全球未來為了避免災難性的氣候變遷，化石燃料使用量將大量減少，隱喻若減少化石燃料使用則無須再發展 CCS。

此篇文章不經令人發想，為何美國會中止 FutureGen2.0 計畫？全球化石燃料使用量真的會減少嗎？目前 CCS 的發展情形？CCS 仍會是未來重要的減碳手段？

為何美國會中止 FutureGen2.0 計畫？

根據美國能源署(Energy Information Administration, EIA)發佈之 Annual Energy Outlook(AEO) 2015，如圖 1 所示[2]，美國發電結構於 2000 年以燃煤為主，燃煤佔 52%，燃氣佔 16%，核能佔 20%，但 2000 年起燃氣占比逐年增加，於 2011

年因頁岩氣發採技術進步，美國頁岩氣大量開採與使用，燃煤發電逐漸被燃氣取代，至 2013 年，燃煤降為 39%，燃氣增加至 27%(核能 19%)。



資料來源：EIA, Annual Energy Outlook 2015

圖 1：美國 2000-2040 年(預測)淨發電量[2]

由於美國本地頁岩氣開發使其燃煤與燃氣之燃料成本相近¹，但燃氣之碳排放量約只有燃煤的 36%²[3]，以美國 2009 年與 2012 年的數據比較³，燃煤占全美初級能源消費的配比由 21%降至 18%，燃氣由 25%上漲至 28%，美國藉由能源的替代，2012 年的碳排放量相較 2009 年減少 2.9%(154 百萬公噸)，如圖 2 所示[4]。

¹ 美國境內平均終端能源使用價格，煤\$2.6/MBtu，天然氣\$2.75/MBtu[4]

² 此處為電廠直接排碳量，與表 2 之 LCA 碳排放量不同。

³ 此兩年初級能源總供給相近，2009 年：94.15QBtu，2012 年：94.5QBtu

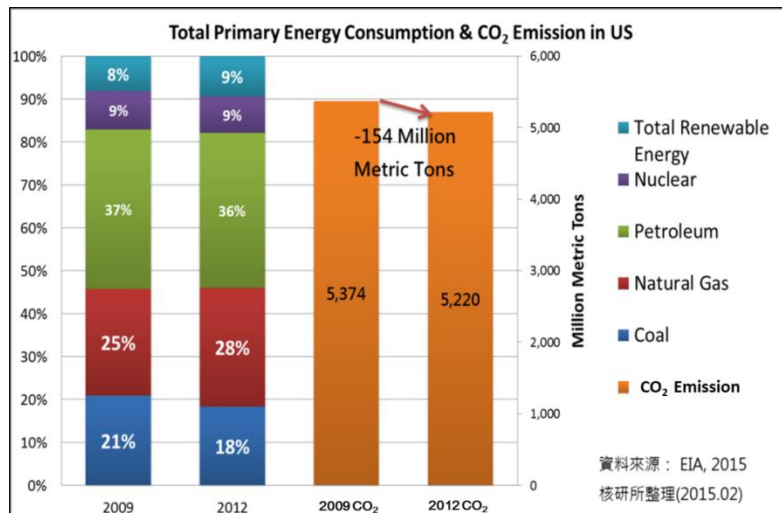
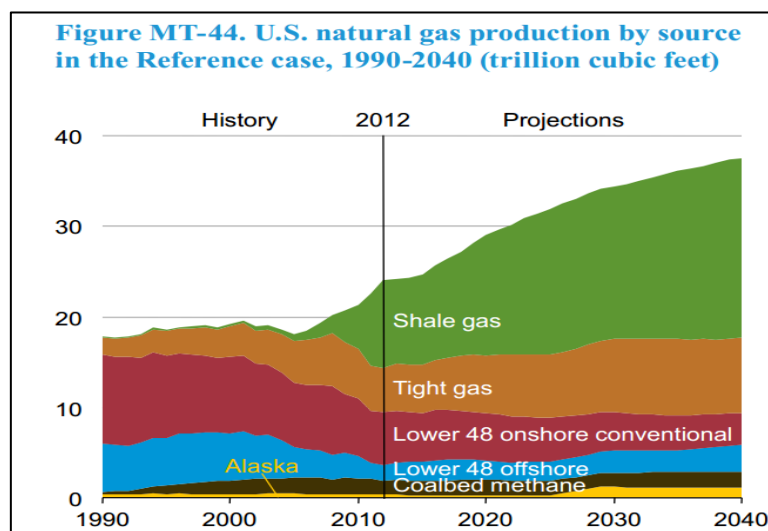


圖 2：美國 2009、2012 年初級能源總供給與 CO₂ 排放[4]

另外，受到頁岩氣革命影響，北美天然氣價格跌至低點，因此天然氣發電成本相對便宜且碳排放又較低，可暫時減緩美國 CO₂ 排放，因此頁岩氣也可是影響美國 FutureGen2.0 發展的原因之一。根據 EIA 於 AEO 2014⁴報告顯示[5]，預測未來美國天然氣總產量將提升 56%(2012-2040)，頁岩氣產量將由 9.7Tcf⁵上升至 19.8Tcf，占天然氣總產量之 53%，此舉可能更不利於 CCS 的發展。



資料來源：EIA, Annual Energy Outlook 2014[5]

圖 3：美國天然氣預估產量[5]

⁴部分資料 AEO2015 並未明確說明，故採用 AEO2014

⁵兆立方呎，10¹²ft³，Trillion cubic feet, Tcf

CCS 成本過高也是影響其發展的重要因素，AEO 2014 預測各項發電技術之均化成本，IGCC+CCS 每千度電需多付 31.4 美元(2012US\$/MWh)，NGCC+CCS 每千度電需多付 25 美元(2012US\$/MWh)，如表 1 所示，以成本觀點而言，直接使用 NGCC 發電為美國最快速且低成本之減碳手段⁶。

表 1：各項發電技術均化成本(LCOE)

Plant Type	Capacity Factor (%)	Levelized Capital Cost	Fixed O&M	Variable O&M (including fuel)	Transmission Investment	Total System LCOE	Subsidy ¹	Total LCOE including Subsidy
Dispatchable Technologies								
Conventional Coal	85	60.0	4.2	30.3	1.2	95.6		
Integrated Coal-Gasification Combined Cycle (IGCC)	85	76.1	6.9	31.7	1.2	115.9		
IGCC with CCS	85	97.8	9.8	38.6	1.2	147.4		
Natural Gas-fired								
Conventional combined Cycle	87	14.3	1.7	49.1	1.2	66.3		
Advanced Combined Cycle	87	15.7	2.0	45.5	1.2	64.4		
Advanced CC with CCS	87	30.3	4.2	55.6	1.2	91.3		
Conventional Combustion Turbine	30	40.2	2.8	82.0	3.4	128.4		
Advanced Combustion Turbine	30	27.3	2.7	70.3	3.4	103.8		
Advanced Nuclear	90	71.4	11.8	11.8	1.1	96.1	-10.0	86.1
Geothermal	92	34.2	12.2	0.0	1.4	47.9	-3.4	44.5
Biomass	83	47.4	14.5	39.5	1.2	102.6		
Non-Dispatchable Technologies								
Wind	35	64.1	13.0	0.0	3.2	80.3		
Wind – Offshore	37	175.4	22.8	0.0	5.8	204.1		
Solar PV ²	25	114.5	11.4	0.0	4.1	130.0	-11.5	118.6
Solar Thermal	20	195.0	42.1	0.0	6.0	243.1	-19.5	223.6
Hydroelectric ³	53	72.0	4.1	6.4	2.0	84.5		

資料來源：EIA, Annual Energy Outlook 2014[5]

表 2 呈現 IPCC 於 2014 年 AR5-WGIII 報告中計算各電廠之生命週期溫室氣體排放量，以 EIA 均化成本與 IPCC 的生命週期排放量交叉比較，計算粗估得到電廠+CCS 之減碳成本，IGCC+CCS 約為\$48.5/tons，NGCC+CCS 約為\$89.7/tons⁷，但 2015 年 5 月底美國加州碳價為 US\$12.70/tons[6]，遠低於上述兩項 CCS 技術之減碳成本。因此，低碳價也可能是導致 CCS 難以執行的原因之一。綜合以上論述可知，頁岩氣大量開採、燃氣電廠取代燃煤、CCS 減碳成本高及低碳價等因素

⁶整合型氣化復循環發電系統(IGCC)為 115.9(2012US\$/MWh)，IGCC+CCS 為 147.4 (2012US\$/MWh)，燃氣複循環(NGCC)為 66.3 (2012US\$/MWh)，NGCC+CCS 為 91.3(2012US\$/MWh)。

⁷溫室氣體減排量採平均值計算，例如：燃煤+CCS， $[(710+950)/2-(70+290)/2]/1000=0.65 \text{ tons/MWh}$ ， $(147.4-115.9)/0.65=48.5(\$/\text{tons})$ 。

皆不利美國 CCS 之發展。

表 2：IPCC 對於各電廠之生命週期溫室氣體排放之計算[3]

發電技術	生命週期溫室氣體排放量(gCO ₂ eq/kWh)
燃煤電廠	710~950
燃煤+CCS	70~290
燃氣電廠	410~650
燃氣+CCS ⁸	90~370

資料來源：IPCC,2014，核研所整理

未來化石燃料使用與 CCS 發展情形

根據 IEA, WEO 2014[7]之 450 情境，投入大量預算於減碳措施且再生能源使用率提高之假設下⁹，2040 年全球初級能源需求中，化石燃料仍是最大宗，如圖 4 所示，既然未來使用化石燃料發電無法避免，同時又須抑止環境氣候變遷，CCS 技術仍是重要途徑。

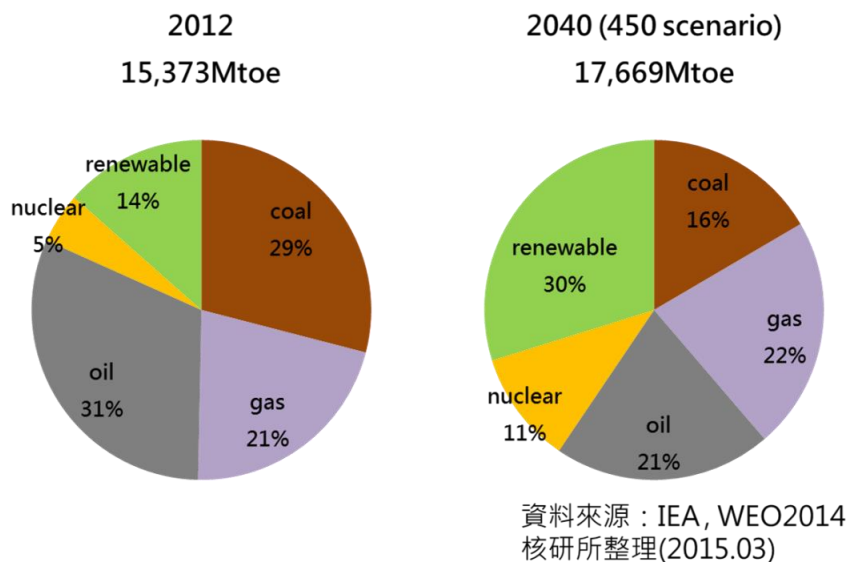


圖 4：全球初級能源需求比例

國際知名 CCS 研究機構 Global Carbon Capture & Storage Institute (GCCSI)報

⁸燃氣電廠溫室氣體排放量稍高原因為開採時伴隨的甲烷產出。

⁹450 情境-此情境下假設有 50%的機率全球平氣溫增加在 2°C 以內，此目標下 2100 後的溫室氣體濃度維持在 450ppm 左右。因此假設在 2010 年坎昆協議 (Cancun Agreement) 之內容在 2020 年完全實現 (在新政策情境下僅實行協議中的部分政策)，且 2020 年後，OECD 國家每年將支出 1000 億預算在非 OECD 國家的減量措施上。

告顯示，目前國際上大型 CCS 計畫發展確實呈現趨緩，2013 年全球有 65 個大型 CCS 計畫，發展至 2014 年全球剩下 55 個¹⁰[8]，減少數量最多的為歐洲地區，主因歐洲碳價長期處於低點，而市場分析顯示，碳價必須達到 20~50 歐元/噸，CCS 技術方有投資誘因[8]，顯示低碳價對於歐洲的 CCS 發展也產生影響。但仍有令人振奮的市場消息，加拿大已於 2014 年啟用全球第一座應用於燃煤發電廠的大型 CCS 計畫，2015 至 2016 年間美國將有兩個大型應用於電力部門的 CCS 計畫商轉，應可為 CCS 技術發展帶來曙光¹¹。

CCS 仍是未來主要減碳手段？

美國頁岩氣大量開採及碳價偏低雖可能導致美國 CCS 發展不遂，但美國以自產頁岩氣代替燃煤+CCS，乃因美國自產自用，以致天然氣價格較低，對於其他初級能源仰賴進口的國家，如：台灣、日本、韓國等，煤進口價格仍遠低於天然氣進口成本，燃煤+CCS 仍是具有潛力的減碳技術。中國的頁岩氣蘊藏量雖為全球最多，但開採成本至少是美國的兩倍以上，中國短期內要大量開採頁岩氣在技術及經濟可行上均有困難，再者使用燃氣發電的碳排放量雖為燃煤的一半，但 CCS 技術可降低燃煤 80~90%的碳排放量，凸顯 CCS 技術對於減碳仍有貢獻。

綜合以上觀點，CCS 因頁岩氣開採、技術成本較高、使用 CCS 容易導致電廠效率降低、碳價持續低迷等因素，使得 CCS 發展缺乏經濟誘因，但燃煤+CCS 之均

¹⁰ 主要減少的大型 CCS 計畫皆為規畫階段的計畫

¹¹ 加拿大:Boundary Dam Power Station, Saskatchewan, 美國:Kemper County Energy Facility, Mississippi, Petra Nova Carbon Capture Project, Texas

化成本仍相對低於部分再生能源(離岸風力及太陽能)¹²，此外，目前大部分的 CCS 計畫均搭配增進採油/氣(Enhance Oil/GAS Recovery, EOR/EGR)，上述減碳成本計算均未考量 EOR/EGR 增加油氣產量之經濟效益，淨成本實為高估。根據 IEA 報告，若需達 450 情境，全球需減少 16.4 億噸的碳排放，其中 CCS 技術需貢獻 20% 之減碳量，且由於全球對於化石燃料需求仍占大宗，我們須同時兼顧能源供應與氣候變遷兩者，以能源替代角度而言，CCS 技術是為了延長化石燃料電廠的使用年限，在能源轉型的過程中提供穩定的低碳電力，讓再生能源有足夠時間發展並取代傳統化石能源，因此 CCS 對許多大量依賴化石燃料之國家(包含我國)，仍是重要減碳選項之一。

¹²成本採用 IPCC,AR5-WGIII 均化成本之中位數，燃煤+CCS 約 131USD₂₀₁₀/MWh，CSP 約 202USD₂₀₁₀/MWh，PV 約 159-214 USD₂₀₁₀/MWh，離岸風力約 168 USD₂₀₁₀/MWh [3]

參考文獻

- [1] Joe Romm, 2015/02/05, FutureGen Dead Again: Obama Pulls Plug On ‘NeverGen’ Clean Coal Project, *Think Progress*,
<http://thinkprogress.org/climate/2015/02/05/3619195/futuregen-clean-coal-project-dead/>
- [2] EIA, Annual Energy Outlook, 2015
- [3] IPCC , AR5-WGIII, 2014
- [4] EIA, Monthly Energy Review, 2015
- [5] EIA, Annual Energy Outlook, 2014
- [6] California Carbon Dashboard : <http://calcarbondash.org/>
- [7] IEA, World Energy Outlook 2014, 2014
- [8] GCCSI, The global Status of CCS 2014, 2014
- [9] Dave Keating , CCS loses out on EU funding, 2012, European Voice