

2017 年度能源展望_EIA

—推估 2016-2040 年間，美國的總能源消費成長 5%，石油進口量減少，2017 年成為天然氣淨出口國

蕭國鑫

國家能源發展策略規劃及決策支援能量建構計畫

工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

AEO2017 參考情境推估未來的國際油價會逐漸上升，2016-2020 年 Brent 原油價格將從 50 美元/桶上升到約 78 美元/桶，但 2021-2040 年間僅約再增加 30 美元/桶。另 2016 年天然氣價格約為 2.8 美元/MMBtu，預測短期內仍會緩慢增加，推估 2030-2040 年會上升到約 5 美元/MMBtu。

AEO2017 參考情境推估 2016-2040 年間，美國的總能源消費約成長 5%，並以天然氣及再生能源的消費成長增速最快；而目前能源消費最多的電力部門未來將被工業部門取代。另各種模擬情境推估美國總能源生產均呈現成長情形，參考情境預測能源生產將增加 20% 以上；而推估到 2040 年美國的各類別能源生產，天然氣產量約占能源生產總量 40%，原油產量因頁岩油的增產而持續攀升，但 2025 年後會有些微下降；煤炭產量因環境監管作用而持續下降；非水電再生能源因政策支持及未來具有平均成本降低優勢，所以占比明顯成長。

AEO2017 參考情境預計 2026 年美國將成為淨能源出口國；其中的石油及其他液體產量增加，石油進口量隨之減少。另預測 2017 年美國將成為天然氣淨出口國，2019 年前出口量會急遽增加，2020 年起天然氣出口增加量稍微緩和；煤炭出口則呈緩慢增加情形。

美國能源相關的 CO₂ 排放在 2005-2016 年間年均下降 1.4%；AEO2017 推估 2016-2040 年間的 CO₂ 整體排放仍呈下降趨勢，但平均下降幅度明顯減少，如參考情境推估 CO₂ 排放量每年僅下降 0.2%。

2011 年美國電力部門的碳排占比約占能源相關 CO₂ 總排放量 40%；2011 年之後因為增加燃氣與再生能源發電，碳排占比逐漸下降。另美國若推行潔淨電力計畫，推估每年可減少 CO₂ 排放約 5 億噸。

關鍵字：化石能源、再生能源、二氧化碳、潔淨電力

一、前言

1977 年美國發布能源組織法，要求美國能源資訊局(EIA)需每年提供關於能源使用、能源供應趨勢與能源預測的年度報告；此報告並非預測全球會發生何事，而是針對可能發生的情況，利用各種假設和方法(assumptions and methodologies)進行能源相關的模擬預測。而 EIA 提出之 2017 年度能源展望(AEO2017)，為使用國家能源建模系統(National Energy Modeling System, NEMS)進行模擬，主要藉由經濟變化、能源需求與供應，以及能源價格的相互影響進行預測推估。

能源預測存在很大的不確定性，因為無法預見未來能源市場的發展型態、技術、人口相關統計數據(demographics)和確切地能源資源發展等事情。而預測時所使用的相關假設訊息於年度能源展望發布後不久即會對外公開，以供各界徵詢與提供回答。在 AEO2017 模擬案例中，同時使用參考情境(reference case)及側面情境(side cases)進行推估模擬(表 1)；其中的側面情境包含高油氣資源及技術、高油價、高經濟成長、低經濟成長、低油價、低油氣資源及技術等六種假設資訊。

表 1、AEO2017 使用之參考情境與側面情境說明[1]

參考情境(reference case)	側面情境(side cases)
<ul style="list-style-type: none"> • 已知技術的改進與趨勢，以及當前的經濟和人口趨勢觀點。 • 假定影響能源部門的現行法律和法規(包括法律的日期)，在整個預測期內不變。 • 擬議立法的法規或標準潛在影響未反映在參考情境中。 • 藉由不同假設的宏觀經濟增長、世界石油價格，技術進步和能源政策的側面案例，來解決能源預測中固有的不確定性。 • AEO 的預測因素，應該被清楚地理解假設條件，以及建模中固有的局限性。 	<ul style="list-style-type: none"> • 全球市場油價驅動主要受 NEMS 模型外部因素影響。推估到 2040 年，布倫特原油價格在高油價格案例、參考案例與低油價案例中，分別為 226 美元/桶、109 美元/桶及 43 美元/桶(以 2016 年為基準)。 • 相對於參考案例，高油氣資源和技術具有更低的成本和更高的資源可用性，並允許低價格實現高產量。低油氣資源和技術案例則採用悲觀的資源和成本假設。 • 能源消費影響的經濟假設均被置入於高和低經濟增長案例中；並假設 2016-2040 年美國國內 GDP 的複合年成長率分別為 2.6% 和 1.6%，而參考案例為 2.2%。 • 未施行潔淨電力計畫(CPP)案例與參考案例比較，可顯示政策的缺失如何影響能源市場和碳排。

二、全球能源價格

2016 年全球原油價格(基於全球基準北海布倫特原油)處於 2004 年以來的最低水準，天然氣價格(基於基準亨利中心)亦是 1990 年以來的最低點。EIA 之 AEO2017 參考情境中，推估未來的國際油價會從目前的價位逐漸上升，且原油價格預計在短期內上升的速度比長期來的快，例如在 2016-2020 年間，參考情境的北海布倫特(Brent)原油價格，推估會從 50 美元/桶上升到約 78 美元/桶，但 2021-2040 年間推估僅約再增加 30 美元/桶。另 2016 年天然氣價格雖然相對較低(2.8 美元/百萬英國熱量單位(MMBtu))，但預測會逐漸增加，推估

2030-2040 年間會上升到約 5 美元/MMBtu [1]。

由於國際間的政經情勢變動頗大，上述推估的各情境預測價格會有明顯差異；例如高油價情境與參考情境的石油價格在 2040 年時差異達 1 倍；低油氣資源與技術情境的天然氣價格，在 2040 年時亦超過參考情境價格 1 倍以上(圖 1)。

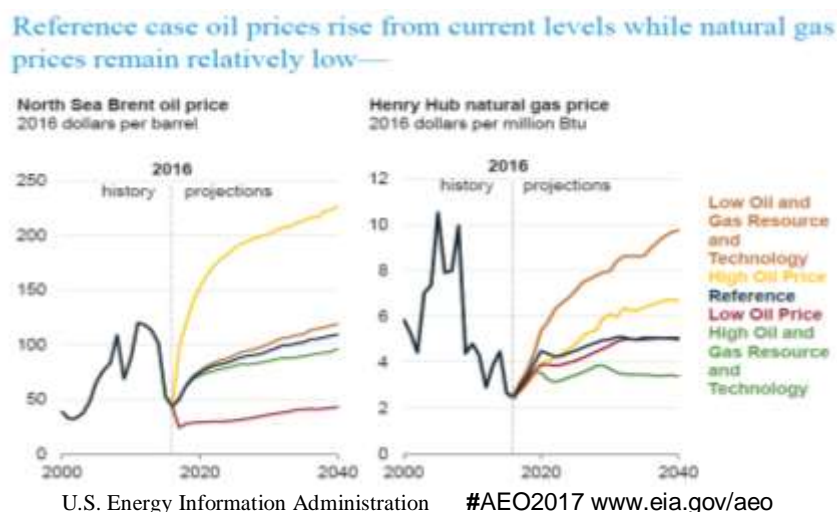


圖 1、AEO2017 不同情境推估的原油與天然氣價格[1]

三、美國的能源消費與生產

AEO2017 資訊顯示各種情境推估 2016-2040 年間，美國的總能源消費差異在-2%~11%之間，並以天然氣及再生能源的消費增速最大。另各模擬情境推估之總能源生產均呈現增加情形，並以高油氣資源和技術、高油價等兩種情境推估的生產量增加最多(增速 30%以上)。在各類別的能源生產中，以天然氣的增量最多，而占比則以再生能源的增速最快。

(一)美國的能源消費

AEO2017 顯示不論在何種模擬情境下，2040 年前美國能源消費總量約為 100 千兆英制熱單位(quadrillion BTU)(圖 2)，總消費變化量不大[1]。而 2016 年至 2040 年期間的總能耗，參考情境推估約增加 5%、高經濟成長情境約增加 11%、低經濟增長情境則保持平穩。在

所有 AEO2017 的模擬情境中，電力部門仍然是美國最大的初級能源消費者。

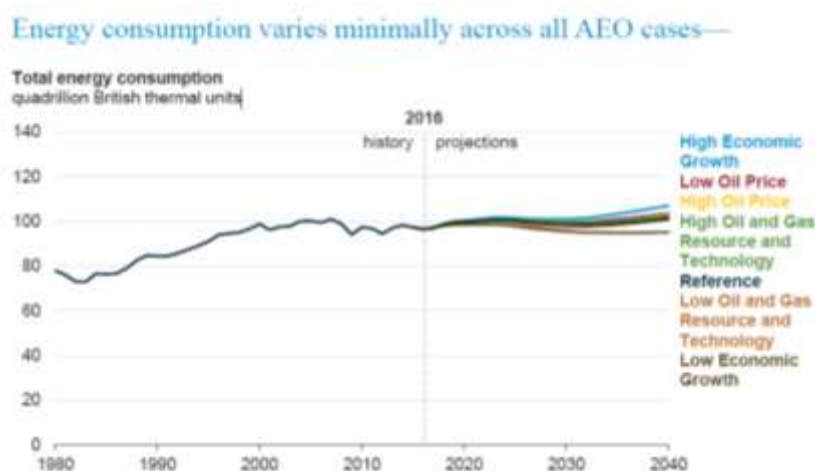


圖 2、AEO2017 各種情境推估 2040 年前美國能源消費變化[1]

AEO2017 參考情境推估 2016-2040 年美國的能源消費總量僅增加 5%。各類別能源消費之工業和電力部門對天然氣的需求成長，在化石燃料中的天然氣使用增速最快(圖 3)；而石油消費量相對平穩，但煤炭消費量則明顯減少。另因美國聯邦政策及各州政府鼓勵再生能源使用，致使在電力部門的發電占比逐漸提升，加上再生能源投資成本隨著滲透率的增加而下降，所以在各類別能源中發展最速(圖 4)。

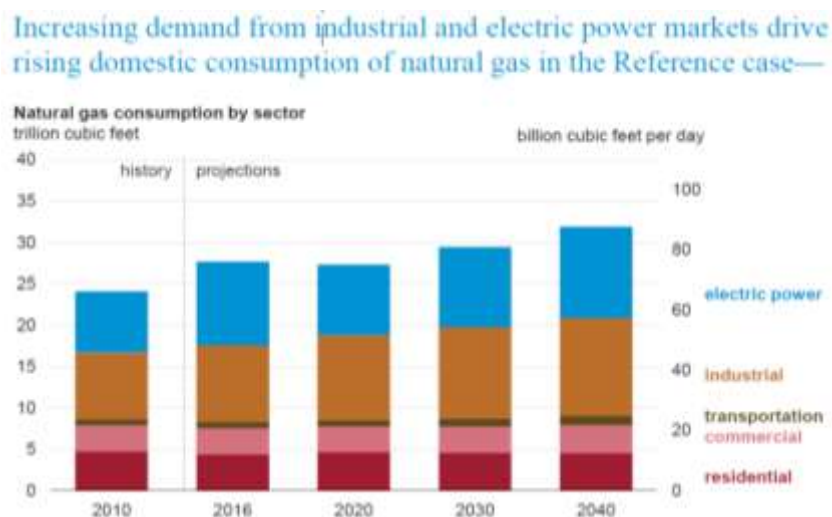


圖 3、AEO2017 參考情境推估 2040 年前美國各部門天然氣消費[1]

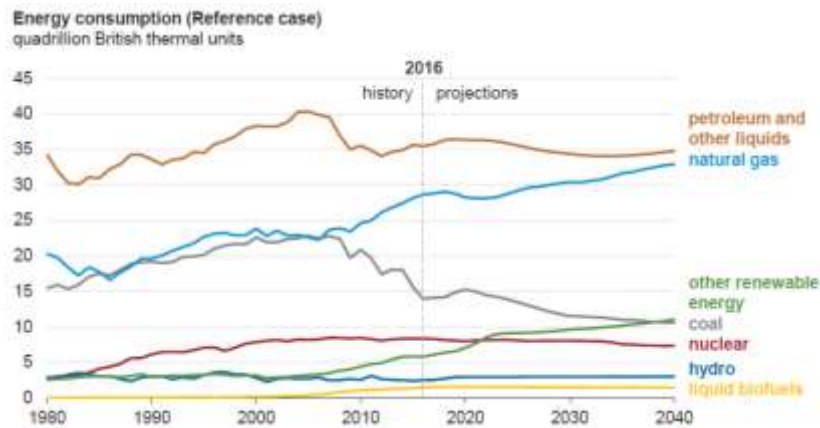


圖 4、AEO2017 參考情境推估 2040 年前美國各類別能源消費[1]

(二)美國的總能源生產

AEO2017 推估 2016-2040 年間美國能源總生產量差異較大。例如在天然氣、原油及再生能源增加帶動下，參考情境中的總能源生產增加 20% 以上(圖 5)。高油氣資源和技術情境則假設對未經驗證的阿拉斯加資源有較高估計量，同時假設生產這些資源的成本較低，推估能源生產總量約增加 45%；低油氣資源和技術情境推估生產量僅增加約 8%。另在高油價情境為全球石油產品需求增加促使產量提升，但是石油輸出國組織(OPEC)上游投資及 Non-OPEC 國家受到石油探勘和開發成本增加影響，推估產量增加的假設條件與高油氣資源相反。

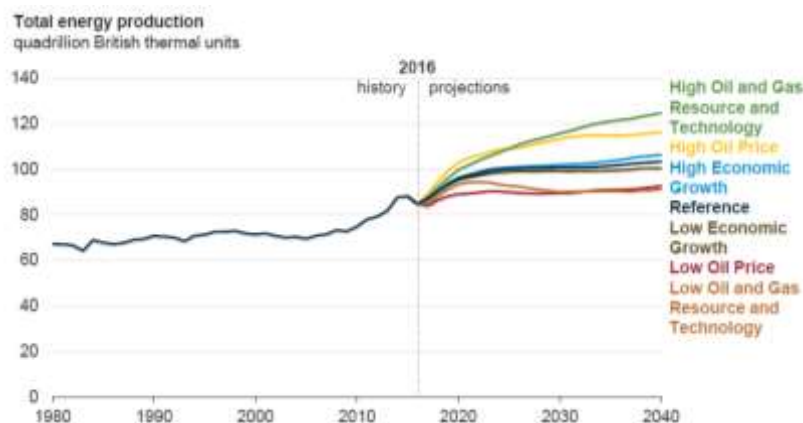


圖 5、AEO2017 各種情境推估 2040 年前美國能源生產[1]

AEO2017 參考情境推估 2040 年美國天然氣產量占能源生產總量 40%；原油與凝結油產量持續上升，但在 2025 年後產量會有些微下降(預估石油生產進入生產率較低地區)。煤炭生產因環境監管發揮效力(包括潔淨電力計畫和出口市場限制)，產量持續下降。非水電再生能源受到美國聯邦和各州政府現有政策之加強風能和太陽能利用的推展，加上未來平均發電成本降低，再生能源將有明顯地成長。核能發電在 2017-2040 年間，因停止運轉量(現有核能電廠大部分假設運轉 60 年後退休，2040 年前發電量將加速下降) 幾乎抵消了新核電廠的成長，所以核能發電占比略為下降，如圖 6。

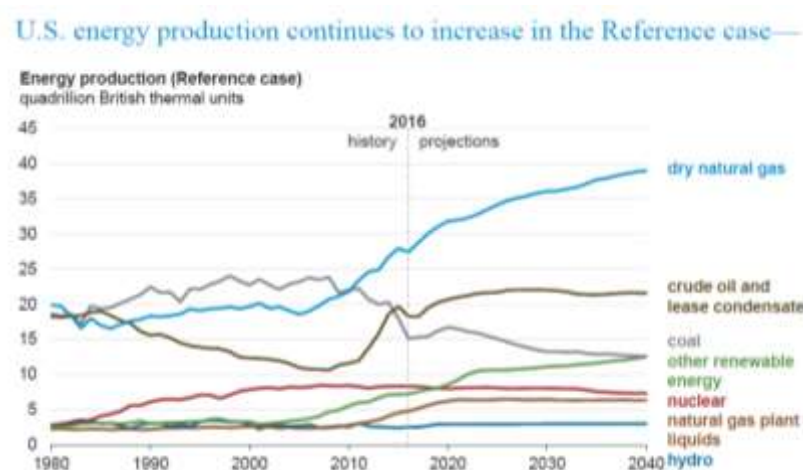


圖 6、AEO2017 參考情境推估 2040 年前美國各類別能源生產[1]

(三)美國的能源進出口

AEO2017 參考情境推估 2026 年美國將成為淨能源出口國。其中轉型較早的三個模擬情境，包括(1)高油氣資源和技術情境的能源淨出口最高，因為地質和技術開發的結合，有利於以較低的價格生產石油和天然氣；(2)高石油價格，因為非常有利於生產者的加強量產，但由於價格上漲，消費量較低；(3)低經濟成長，消費量降低，導致產能過剩(圖 7 及圖 8)。另在低油價、低油氣資源和技術等兩種情境中，推估美國仍是能源淨進口國；因為低油價的價格太低，不足以激勵美國有高的能源產量及能源出口，而在低油氣資源和技術情境中的產量較少，亦不利於美國能源的出口。

美國的石油及其他液體產量因為頁岩油的增產，推估未來的原油產量會再增加，將導致石油的進口量減少。另 AEO2017 推估美國的天然氣在 2017 年即可達淨出口，並在 2019 年前出口量急遽增加，2020 年起天然氣出口增加量稍微緩和；至於煤炭出口則呈緩慢增加情形。

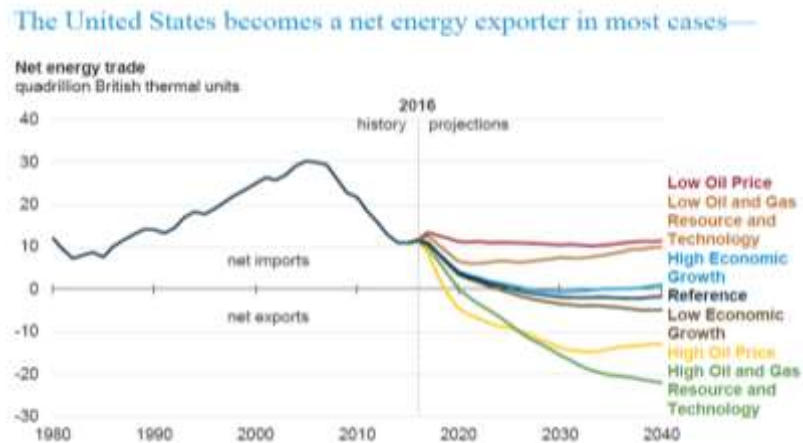


圖 7、AEO2017 各種情境推估 2040 年前美國能源淨進出口[1]

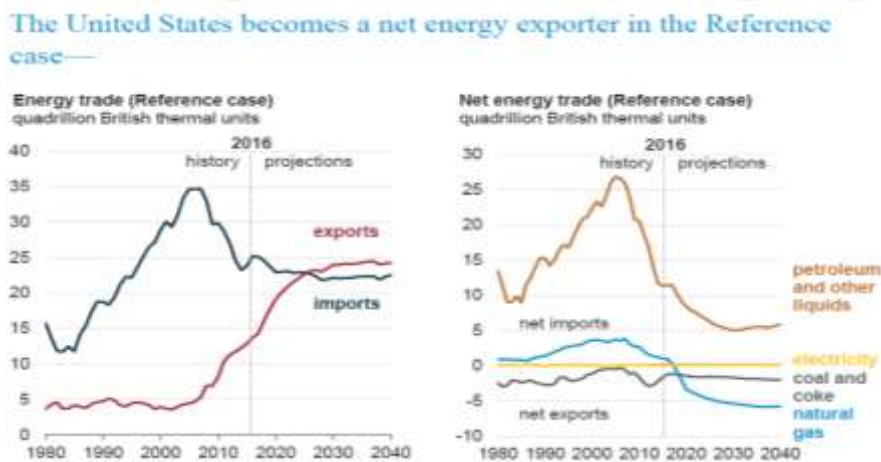


圖 8、AEO2017 參考情境推估 2040 年前美國化石能源進出口[1]

(四)美國的 CO₂ 排放

美國能源相關的 CO₂ 排放在 2005-2016 年間，年平均下降 1.4%；AEO2017 推估 2016-2040 年間的 CO₂ 整體排放呈下降趨勢(圖 9)[3]，但平均減排下降幅度已明顯減少，如在參考情境中，與能源相關的 CO₂ 排放量推估每年僅下降 0.2%。

AEO2017 預測期間，與能源相關的最低 CO₂ 排放模擬情境會有所變化；如 2025 年高油價情境之最低 CO₂ 排放為 49.6 億噸(比 2005 年排放低 17%)。2030 年最低排放為低油氣資源和技術、以及低經濟成長等兩種情境，排放量比 2005 年約低 21%。到 2040 年，低經濟成長情境仍維持較低的排放量，排放量為 46.2 億噸，相較於 2005 年的排放量約低 23%。

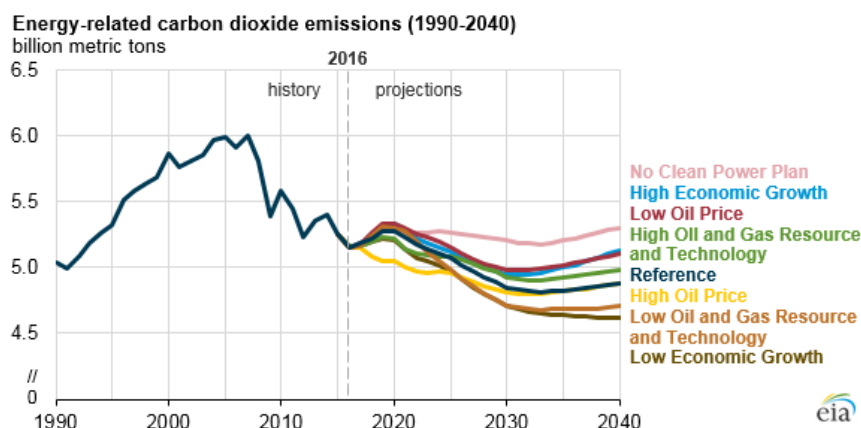


圖 9、AEO2017 各種情境推估 2040 年前美國 CO₂ 排放[3]

相對於美國各部門的碳排放，電力部門碳排占比在 2011 年達到峰值，約占美國能源相關 CO₂ 總排放量 40% (圖 10)。2011 年後的碳排占比逐漸下降，原因為(1)電力部門主要使用天然氣、太陽能 and 風能進行發電，從而減少與電力相關的 CO₂ 排放；(2)工業部門的逐漸成長，導致更多的能源消費和 CO₂ 排放；(3)住宅和商業建築部門的 CO₂ 直接排放，主要來自於取暖、水加熱和烹飪設備，這些部門使用電力相關的 CO₂ 排放量，超過了部門的直接排放量；(4) 2016 年運輸部門能源相關的 CO₂ 排放超過電力部門的排放量(交通部門的消費和運輸燃料碳強度相對恆定，2030 年後的 CO₂ 排放保持相對平穩) [1]。目前美國仍在等待司法審查的潔淨電力計畫(CPP)，即要求各州制定計畫，結合較低價格的天然氣，以及再生能源稅收抵免的擴展，來加速轉變為低碳發電，並可減少目前化石燃料發電機組的 CO₂ 排放。

Reference case energy-related carbon dioxide emissions fall—

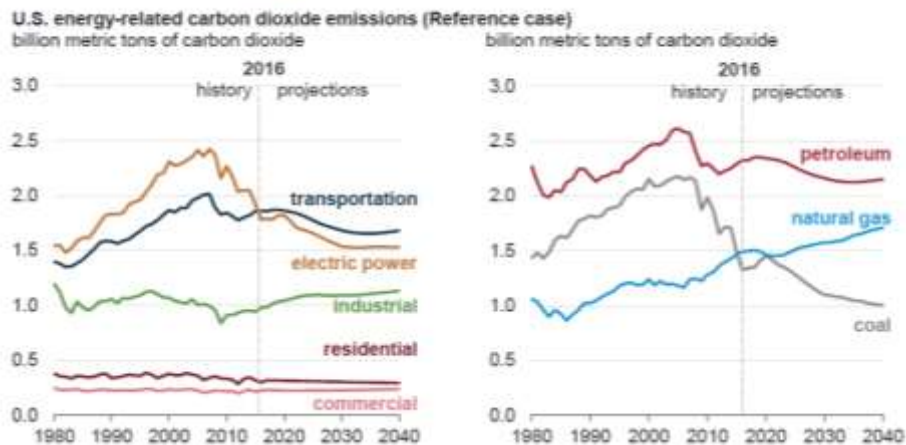


圖 10、AEO2017 參考情境推估 2040 年前美國各部門 CO₂ 排放[1]

四、討論

(一)石油

AEO2017 所有的模擬情境推估到 2040 年，美國的石油消費量均低於 2005 年最高水平(圖 11 左圖)。在低油價情境將推升石油消費量增加，同時帶動其他部門消費更多的石油產品，導致石油進口量普遍提高(圖 12)；低油氣資源與技術情境則因原油產量在 2020 年以後，提前進入生產效率較低的地區，產量增速大為減緩，所以原油進口量恢復上升趨勢。在參考情境中，2016 年下半年雖然上游生產商開始增加原油產量，但同時有更多的煉油廠投入，而原油增產無法跟上煉油廠投入的速度，也是促使美國在 2016-2017 年初的淨原油進口無法明顯減少原因。另外近期原油價格從低點上升，且因石油開發成本降低等綜合影響，激起了近期美國原油產量恢復上升；而在低油價情境下原油產量減少，會維持石油進口量增加；低油氣資源與技術情境推估 2020 年後亦會增加石油進口量；但在高油價、高油氣資源與技術兩種情境下，均會刺激美國境內的原油大量增產，推估分別在 2019 年及 2023 年會轉變為石油淨出口國(圖 12)。

U.S. petroleum product consumption remains below 2005 levels through 2040 in most AEO2017 cases—

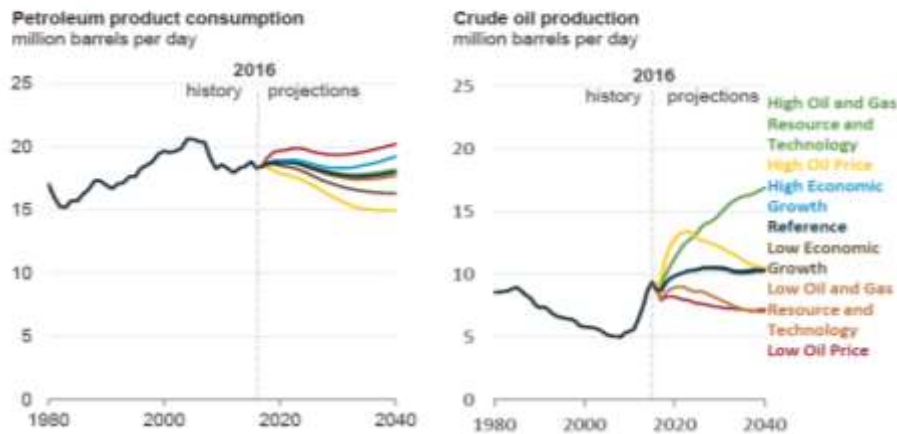


圖 11、AEO2017 各種情境推估到 2040 年美國石油產品消費[1]

In most cases, the United States remains a net petroleum importer—

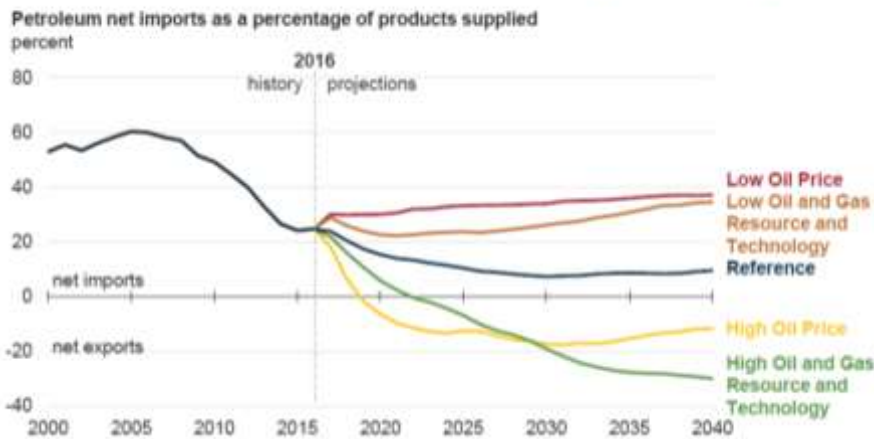


圖 12、AEO2017 各種情境推估到 2040 年美國石油進出口[1]

(二)天然氣

參考案例中推估 2016-2020 年的天然氣產量成長率與 2005 年以來相同，以近 4%的年均成長率快速成長，主要為頁岩(shale)及緻密岩層(tight formations)等含氣地層開採技術的提升與開採成本下降的影響；2020 年以後的天然氣產量增速將減緩到年均約 1.0%(圖 13)，主要為天然氣的使用變得更有效率，而淨出口溫和成長及價格緩慢上升所致。另外之石油和天然氣開採量的提升，也緩解了國際間的化石能源價格快速上漲壓力。

U.S. natural gas consumption increases across most cases through most of the projection period—

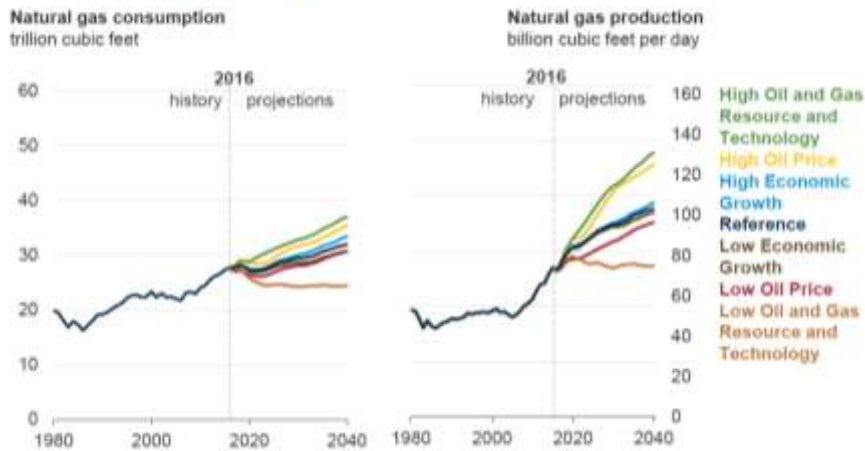


圖 13、AEO2017 各種情境推估到 2040 年美國天然氣消費與生產[1]

儘管近期內美國的天然氣消費有所下降，但除了低油氣資源和技術案例外，推估美國天然氣消費量在 2040 年以前均會增加。另外，隨著美國境內天然氣產量的增加，且因為低的天然氣價格，加上企業界的支持，除了促進石化產業的發展外，美國政府亦逐漸開放以液化天然氣(LNG)方式出口到境外的國家，推估到 2017-2018 年，美國將成為天然氣淨出口國(參考圖 8)。

高油氣資源和技術情境中，未來美國的原油和天然氣產量將繼續成長(圖 14)；例如天然氣產量可藉由全球天然氣消費/出口的變化，以及石油地層伴隨天然氣生產的增加來影響天然氣產量。依據 AEO2017 的參考情境與高油氣資源及技術情境(圖 15)，已確定未來美國的天然氣因為頁岩氣(shale gas)與緻密油(tight oil)開採伴隨的天然氣生產，產量將會持續增加。

美國的緻密油和頁岩氣生產具有較高的不確定性，因為大部分已知的生產地層具有相對較少、或沒有生產史可供做精確的推估分析。加上未來頁岩油氣生產技術和方法繼續改進，而持續提升的鑽井技術除了加快鑽井速度，也可提高單位井的生產率，從而降低鑽井、完井(completion)和能源生產成本。

United States crude oil and natural gas production depends on oil prices—

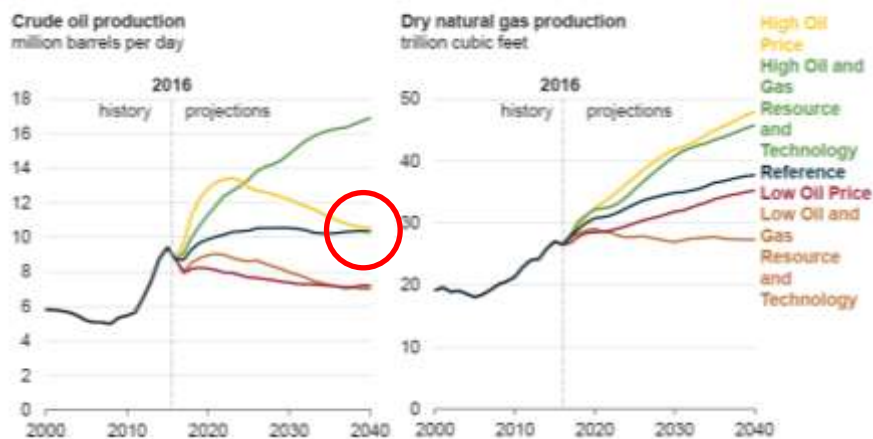


圖 14、AEO2017 各種情境推估美國原油和天然氣生產取決於油價[1]

U.S. natural gas production growth is the result of continued development of shale gas and tight oil plays—

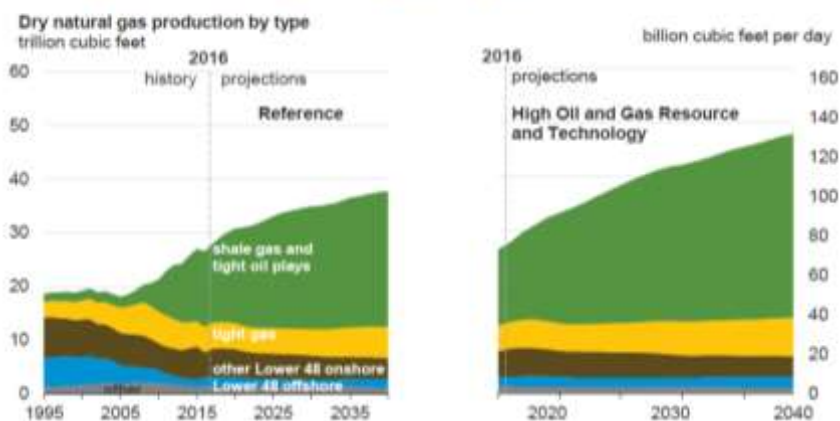


圖 15、美國天然氣生產的成長取決於頁岩油與緻密油的開採[1]

原油和天然氣生產與油價息息相關，在高油價情況下，原油和天然氣價格之間的差異，導致能源密集型產業及交通部門會激勵誘因使用天然氣，並促使天然氣產量增加(圖 14 右圖)，且可以將多餘的天然氣轉化為 LNG 出口到海外。若未來沒有新的高油氣資源與技術提升，則會逐漸轉為高油價情境，在此情境下推估美國的原油產量在 2023 年會達到巔峰，之後產量開始下降，到 2040 年時的產量與參考情境幾乎相等(圖 14 左圖)。

(三)電力

目前的能源價格和美國現行的法律規範，已驅動加強再生能源和燃氣發電的組合，而燃煤發電占比呈現下降趨勢。但是天然氣價格在 2016 年從低點反彈，加上美國聯邦推動再生能源發電稅收抵免，短期內亦部份取代了燃氣發電的成長，導致推估燃煤發電約在 2019 年會重新超過燃氣發電量，並預測約 2024 年再發生反轉情形(圖 16)。

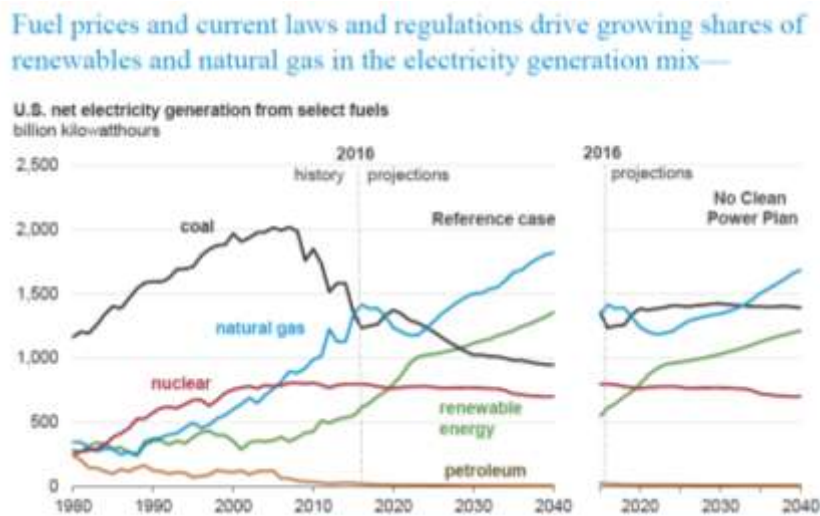


圖 16、AEO2017 參考情境推估 2040 年前各類別能源發電情形[1]

(四)CO₂ 排放

AEO2017 針對美國的化石能源探討了影響使用因素，以及未來幾十年與能源相關 CO₂ 的排放進行模擬預測。例如探討美國的石油和其他液體燃料的使用，主要是交通運輸部門的消費，在現有法律和政策保持不變的情況下，石油價格是影響使用量及碳排放的重要因素。例如 2016 年與石油相關產品的 CO₂ 排放為 23.3 億噸，推估 2040 年在低油價情境因大量消費石油產品，CO₂ 排放會達到 24.5 億噸；高油價情境則因減少石油消費，CO₂ 排放降到 19.0 億噸(圖 17)[3]。

美國的天然氣消費與碳排放多寡，主要受到天然氣資源開發、價格、相關法規和環保激勵政策等因素之影響；雖然天然氣能源的使用效率、建築技術、再生能源投入等都是影響因子，但在推估天然氣消費引發的碳排放時，對於油氣資源與技術情境特別敏感；例如高油氣

資源與技術情境，具有較高的天然氣產量與相對較低的氣價，導致天然氣消費量增加(特別是電力部門增加燃氣發電)；AEO2017 推估在此情境下，美國境內與天然氣消費相關的 CO₂ 排放，會從 2016 年的 14.9 億噸上升到 2040 年的 19.9 億噸；反之，在低油氣資源與技術情境中，2040 年的 CO₂ 排放會降到 13.0 億噸。

Projected carbon dioxide emissions are sensitive to factors driving fossil fuel use

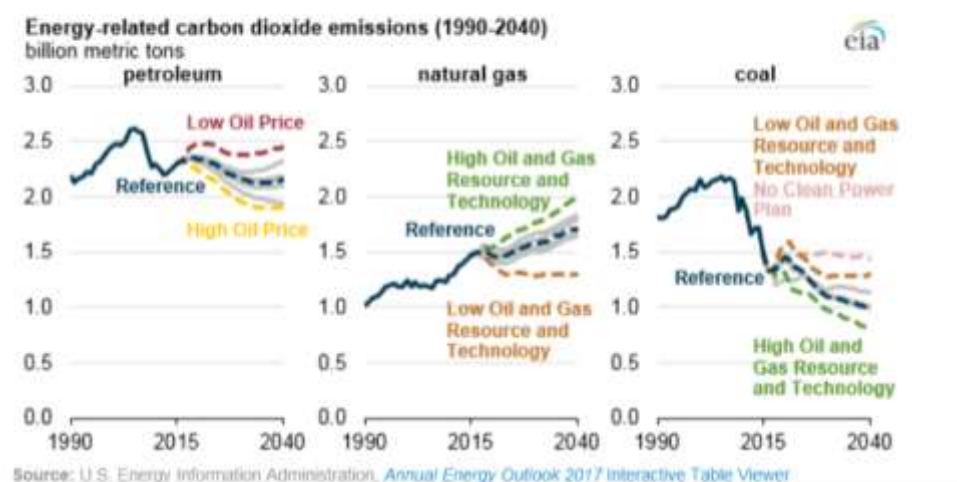


圖 17、AEO2017 推估美國使用化石能源之 CO₂ 排放[3]

美國的煤炭使用與潔淨電力計畫是否施行息息相關，AEO2017 推估 2022 年以後若無推行潔淨電力計畫，則到 2040 年時與煤炭消費相關的 CO₂ 排放將達 14.5 億噸。而在高油氣資源和技術情境具有低的天然氣價格，會導致增加燃氣發電和減少煤炭使用，所以與煤炭消費相關的 CO₂ 排放，會從 2016 年的 14.8 億噸降至 2040 年的 8.0 億噸。

AEO2017 參考情境若未施行潔淨電力計畫，到 2025 年與煤炭消費相關的碳排推估比 2005 年低 12%；若參考情境有推行潔淨電力計畫，則碳排將低於 2005 年 15%。另參考案例中推估到 2030 年時，無潔淨電力計畫碳排放較 2005 年減少 13%，但具潔淨電力計畫情境的碳排放將比 2005 年少 19%。

美國推動潔淨電力計畫中，力推再生能源稅收抵免等誘因；並在全球環保意識條件下，導致參考情境中美國的煤炭產量下降，並使天然氣和再生能源的使用量增加。依據 2016 能源世界展望(IEO2016) 參考情境，推估美國施行潔淨電力計畫，每年將可減少 CO₂ 排放約 5 億噸[2]。

五、結語

AEO2017 參考情境推估未來的國際油價會逐漸上升，2016-2020 年 Brent 原油價格會從 50 美元/桶上升到約 78 美元/桶，但 2021-2040 年間推估僅再增加約 30 美元/桶。另 2016 年天然氣價格約為 2.8 美元/MMBtu，預測短期內仍會緩慢增加，推估 2030-2040 年約為 5 美元/MMBtu。

AEO2017 各種情境推估 2016-2040 年間，美國的總能源消費差異均在-2%~11%之間(參考情境與高經濟成長情境約增加 5%及 11%)，並以天然氣及再生能源的消費增速最大。另美國聯邦政策及各州政府鼓勵再生能源的發展使用，加上再生能源投資成本隨著滲透率的增加而下降，致使電力部門在各類別產業中成為最大的能源消費部門。

AEO2017 各種模擬情境推估美國總能源生產均呈現增加情形，其中之高油氣資源和技術情境、高油價情境推估美國能源總生產增量達 30%以上、參考情境則增加 20%以上；另參考情境之個別能源生產，推估 2040 年美國天然氣產量占能源生產總量 40%，原油產量持續上升，但在 2025 年後會些微下降，煤炭生產因環境監管發揮效力，產量持續下降。非水電再生能源因有聯邦政策支持及未來平均成本降低優勢，所以會有較明顯的成長。

AEO2017 參考情境預計 2026 年美國將成為淨能源出口國；其中石油及其他液體因為頁岩油的增產，未來的產量會再增加，石油進口量隨之減少。另參考情境推估美國的天然氣產量，在 2016-2020 年間年均成長 4%。隨著天然氣產量的增加，加上低的天然氣價格、美國

企業界支持及美國政府逐漸開放天然氣出口等因素，推估 2017 年將成為天然氣淨出口國，2019 年前出口量會急遽增加，2020 年以後的天然氣產量增幅將下降到年平均約 1.0%，所以 2020 年起天然氣出口增加量稍微緩和；另美國的煤炭出口則呈現緩慢增加情形。

2005-2016 年美國能源相關的 CO₂ 排放年均下降 1.4%；AEO2017 推估 2016-2040 年間的 CO₂ 整體排放仍呈下降趨勢，如參考情境中與能源相關的 CO₂ 排放每年僅下降 0.2%，平均減排下降幅度預測明顯減少。

2011 年美國電力部門的碳排放達到峰值，約占能源相關 CO₂ 總排放量 40%；2011 年之後因為增加天然氣與再生能源發電，碳排占比逐漸下降。目前美國仍靜待司法審查的 CPP 計畫，各州須加速轉換為相對低碳燃氣發電與零排放之再生能源發電，以減少目前燃煤與燃油發電的高 CO₂ 排放。依據 IEO2016 參考情境，推估美國施行 CPP 計畫後，每年將可減少約 5 億噸的 CO₂ 排放。

參考文獻

- [1] *Annual Energy Outlook 2017*_with projections to 2050, EIA, Jan, 2017, <http://www.eia.gov/aeo>
- [2] *International Energy Outlook 2016*, EIA, May 11, 2016, http://www.eia.gov/forecasts/ieo/exec_summ.cfm
- [3] *Projected carbon dioxide emissions are sensitive to factors driving fossil fuel use*, EIA, March 02, 2017, <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=30172>