

國家能源政策評析報告：英國

邱虹儒

工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

英國能源政策主要建立在 2008 年能源法案(Energy Act 2008)之上[1]，包含減少溫室氣體排放，以減輕氣候變遷的危害，以及確保能源安全、低碳及價格穩定兩項長期目標。

2013 年底通過新能源法案(Energy Act 2013)[2]主要針對電力市場改革，祭出包含新制電力收購制度、備用容量市場、新電廠碳排放標準及碳交易價格下限等措施，讓低碳電力成為英國未來的能源供應主軸。

2016 年英國的煤炭消費量是工業革命以來的最低點，且連續四年負成長，2016 年僅有 2015 年的一半，煤炭消費量下降趨勢預計將會是常態。2016 年溫室氣體排放總量 471.7 百萬噸，較 1990 年排放水準下降 41%，幾乎提前達成第三期(2020)減碳目標。

2017 年英國發布潔淨成長策略，提出 8 大方針共 50 項既有與新增政策與計畫，以減碳為主要核心發展目標。8 大方針為加速潔淨成長，促進商業與工業效率，改善住家，加速轉型到低碳交通，提供潔淨、智慧、靈活的電力，增進自然資源的優點與價值，公部門身先士卒，以及政府帶頭促進潔淨成長。

英國是目前少數將減碳目標立法的國家之一。在未來十年大量老舊電廠除役之際，核電已被英國政府視為電力部門重要的減碳與穩定電力供應選項。於再生能源開發上，憑藉蘇格蘭地區及北海豐富的風力資源，英國以風力發電為主要推動項目，在 2018 年第三季，再生能源裝置量首度超越燃煤發電裝置量，確立英國非煤。

關鍵字：英國、能源政策、氣候變遷、潔淨成長策略

一、國土社經基本資料

根據英國國家統計局(The Office for National Statistics, ONS)估計，英國(英格蘭、蘇格蘭、威爾斯和北愛爾蘭等)總面積約 241,930 平方公里(93,410 平方英里)，面積為我國的 6.74 倍；2017 年估算人口約 6,602.2 萬人，為我國人口數的 2.8 倍；人口密度約為每平方公里 272.9 人，近十年人口數以平均成長倍數 0.74%持續成長[3]。英國近年國內生產毛額(Gross Domestic Product, GDP)仍持續成長，2017 年 GDP 總額達 20,406.5 億英鎊(約 81 兆新台幣，GDP 總量世界第五名)。

依據美國中情局資料[4]，英國產業結構以服務業為主，2017 年(預估值)銀行業、金融業、航運業、保險業以及商業服務業占 GDP 比例約為 79.2%，製造業部門為 20.2%，農業部門為 0.7%。從終端消費計算，民生消費為最大宗占 65.8%，政府支出為 18.3%，投資為 17.4%，出口貿易為 30.2%，進口貿易為赤字 31.5%。

英國商業、能源與產業策略部(Department for Business, Energy and Industrial Strategy, BEIS)是英國目前能源相關的最高行政部門。在 2016 年 7 月由能源與氣候變遷部(Department of Energy and Climate Change, DECC)與商業、創新與技術部(Department for Business, Innovation and Skills, DBIS)合併而來，時任首相為文翠珊(Theresa May)。BEIS 主要負責商業與產業政策、能源與氣候變遷科學和創新等承接原本兩個部門的業務。

二、國家能源供需歷史趨勢

(一) 能源供需歷史趨勢

英國初級能源供給於 1999 年達到高峰為 12,462 PJ，至 2017 年已降至 5,307 PJ，見圖 2 所示。2017 年英國初級能源供給中，以石油占比為最高，達 40%；其次為天然氣，占比達 32%。詳如圖 3 所示。

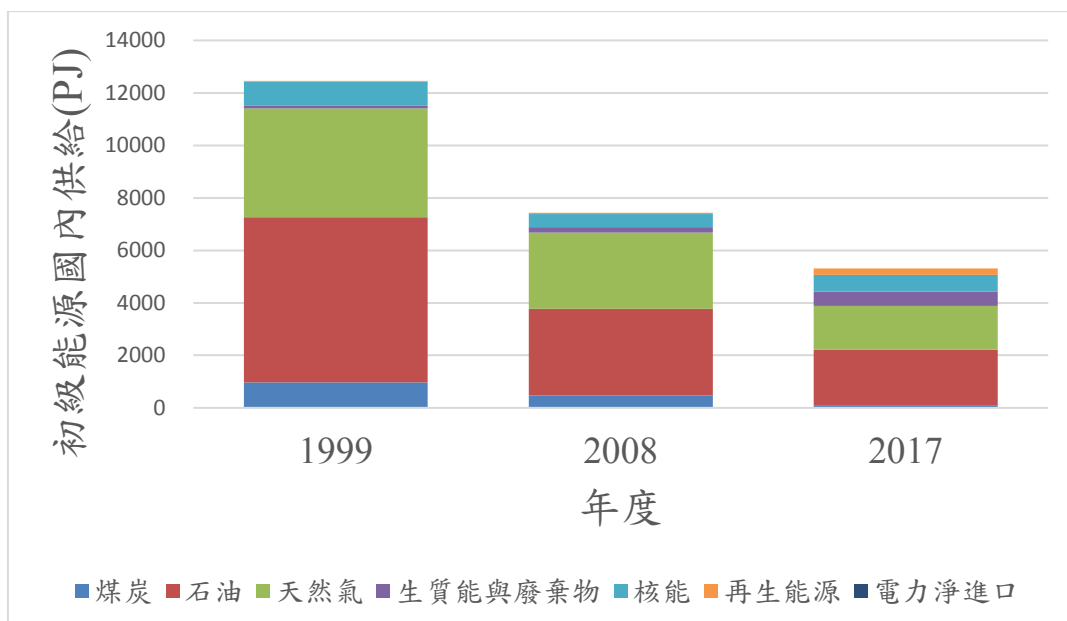


圖 2、英國跨年度初級能源供給趨勢

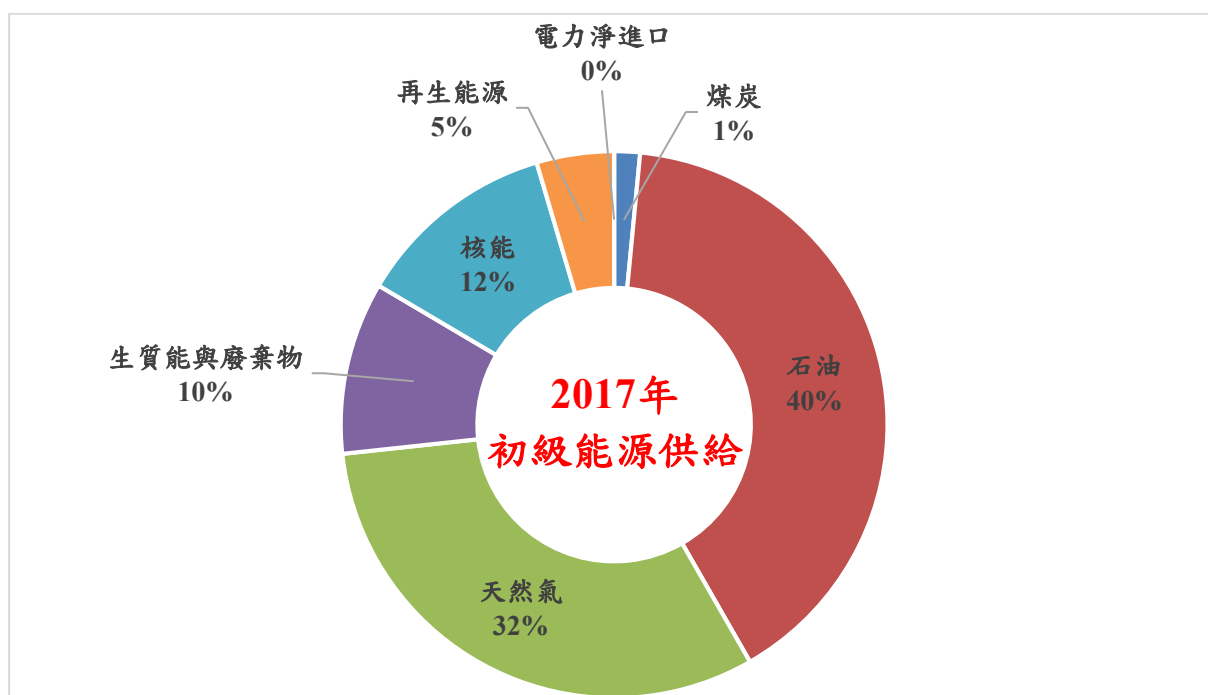


圖 3、英國 2017 年初級能源占比

英國最終能源消費於 2002 年為 6,774PJ，至 2017 年已降至 6,016PJ，見圖 4 所示。2017 年英國最終能源消費中，以運輸部門占比為最高，達 39%；其次為住宅部門，占比達 30%。詳如圖 5 所示。

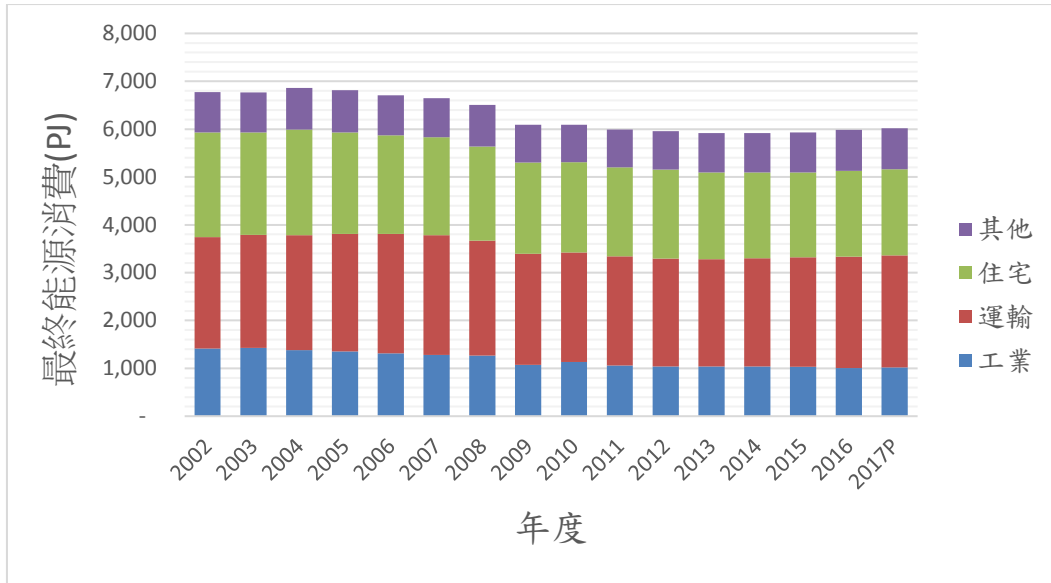


圖 4、2002 至 2017 年英國最終能源消費部門別結構

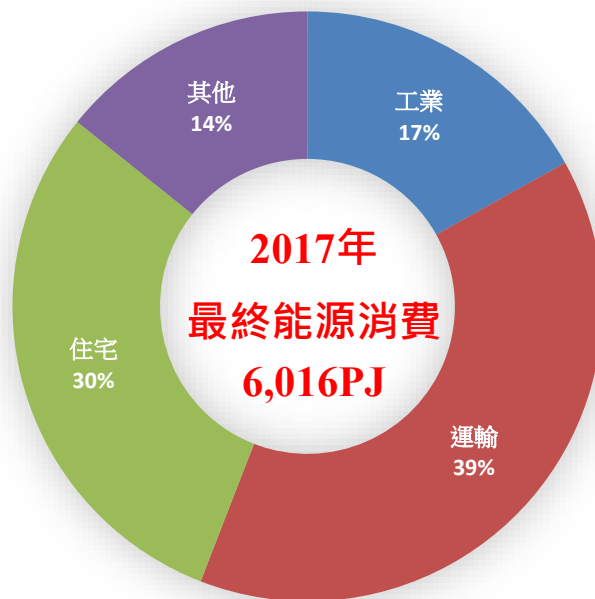


圖 5、2017 年英國最終能源消費部門占比

*其他包含農業、公共與商業部門

(二) 電力供需歷史趨勢

英國於 2017 年 9 月 18 日宣布 2025 年將關閉所有燃煤電廠。此項決定自 2015 年開始討論，並經過一連串公眾諮詢程序[5]。2017 年 4 月英國迎來 1880 年代以來第一個 24 小時無燃煤發電日，2018 年 4 月更破紀錄連續 76 小時沒有啟動燃煤發電[6]。

英國擔憂燃煤及核能電廠老舊機組陸續除役，未來備轉容量可能不足，且跨境電網容量受限，故於 2014 年導入電力市場容量機制刺激新建電廠投資，容量機制廣泛定義為基於能源安全供應目標，舉凡給予電力供應者(或在某些情況下為電力消費者)額外報酬，以維持電廠新建或持續運轉(或使電力負載曲線改變)之措施，在容量機制(Capacity Market)的運作中，電力如同保險商品，係為了確保未來特定期間的供電安全而存在，一旦買賣成交後，電力供應方不論實際是否需發電並交付電力，皆可獲得報償。英國運作容量機制類型為容量拍賣(Capacity Auctions)，未來的儲備容量由獨立的權力機關集中籌備，預先設定來年的儲備容量需求，並透過公開招標採購，結標價格是經由正向拍賣(forward auction)程序決定，所有得標者皆獲得同樣標價，容量拍賣的費用支出係向電力供應商依據其市占率收取。

英國於 2016 年 6 月 24 日公投決定退出歐盟，並將於 2019 年 3 月 30 日起正式生效，不再受歐盟法規限制，歐盟也因英國之退出，下修未來預測，初級能源消費下修幅度 11.4%、最終能源消費下修幅度 11.5%[7]。此舉不但使其未來經濟成長前景蒙上陰影，也為能源發展帶來不確定性，影響能源發展與投資活動，威脅能源供給安全。在過去英國與歐盟的電網合作裡，英國為淨電力進口國，來自歐盟的電力占 8%英國電力供給。如何面對這項潛在電力供給缺口與配合經濟成長逐步攀升的用電需求是為英國脫歐之後的挑戰。

除此之外，英國國家電網(National Grid)研究指出若英國離開歐盟內部

能源市場(Internal Energy Market)，英國在未能最佳化應用電網平衡供需的情況下，將增加每年 5 億英鎊的能源成本，終將轉嫁至消費者，帶來電力價格上升的壓力。

2017 年英國總電力裝置容量達到 81.3 GW(各類電力裝置容量占比，詳見圖 6)。最新資料顯示英國 2017 年總電力供給 3,534 億度(含淨進口 147.6 億度)，而最終消費 3,006.7 億度，英國節能成果略見成效，近兩年，除運輸部門耗電略為增加以外，重工業、工業、住宅與其他部門用電量均有下降，詳見下圖 7。2012 年後燃煤發電持續減少，由再生能源、生質能與燃氣發電補上，詳見下圖 8。2017 年國內發電量中有 40.4%來自於燃氣，29.4%來自於再生能源，而核能占 20.8%，詳見下圖 9。而在 2018 年第三季，英國發電裝置容量結構中，再生能源首度超越燃煤，詳下圖 10。

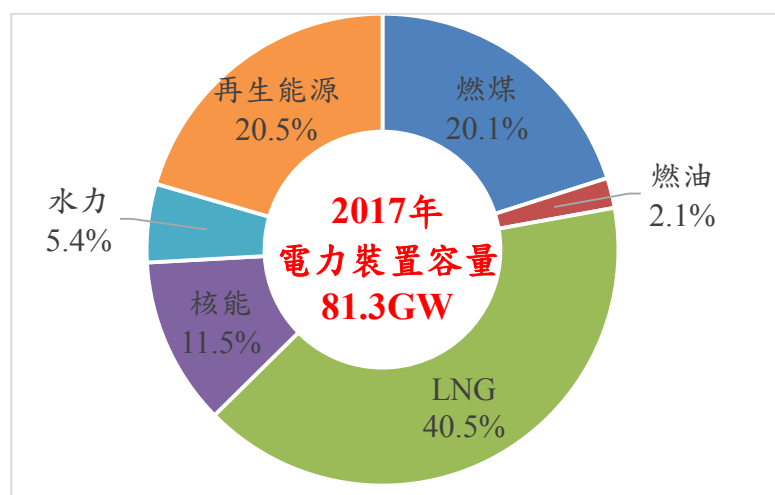


圖 6、英國 2017 年電力裝置容量

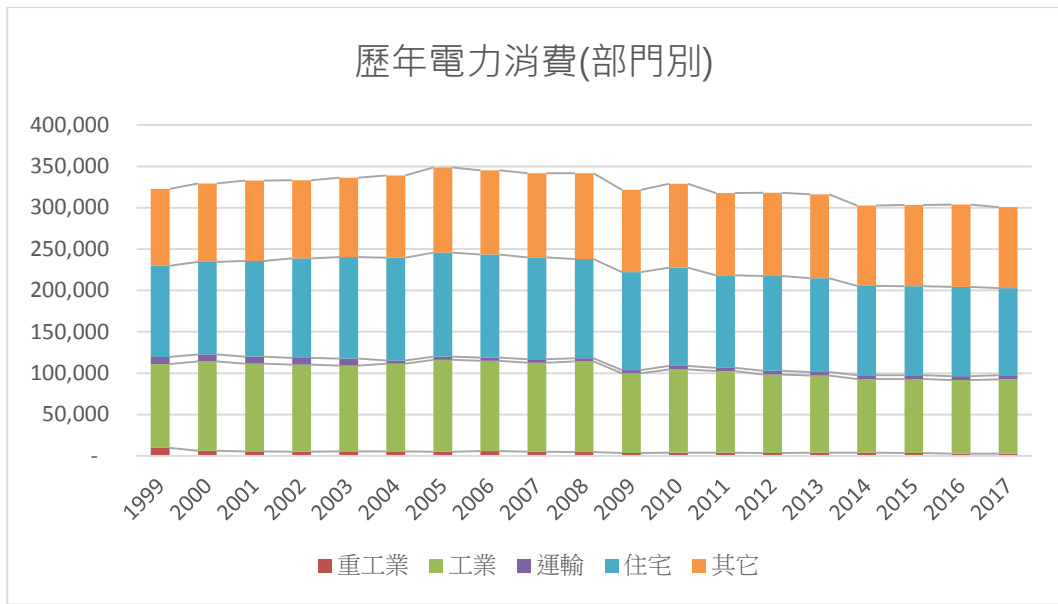


圖 7、英國歷年度用電量趨勢(依部門別)

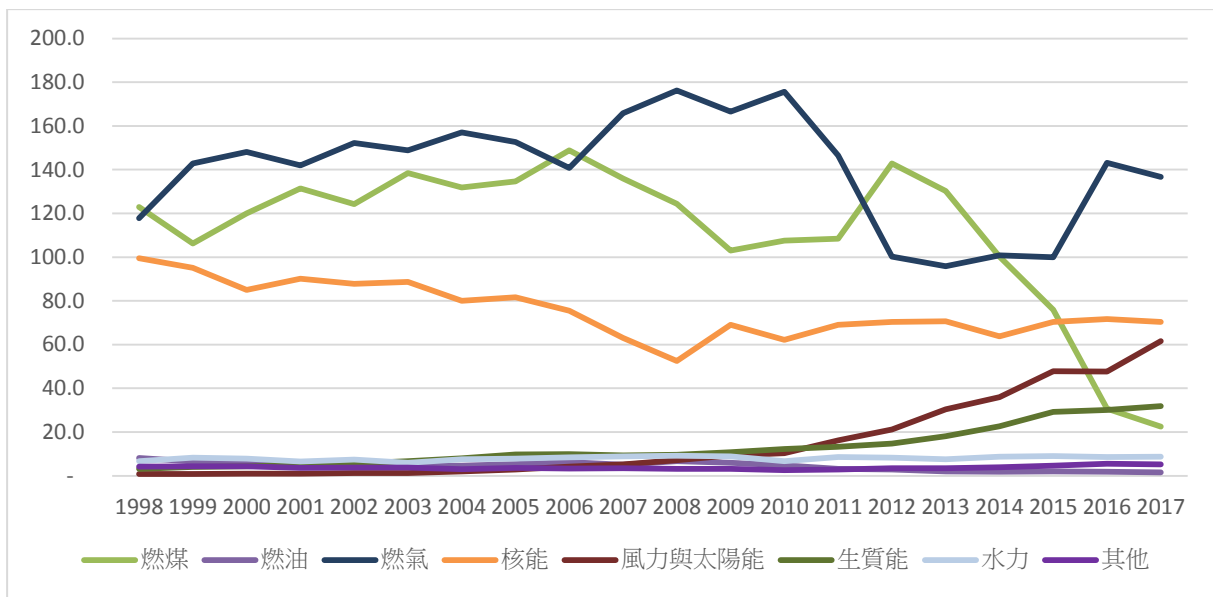


圖 8、英國國內 1998 年至 2017 年發電量趨勢(依來源)

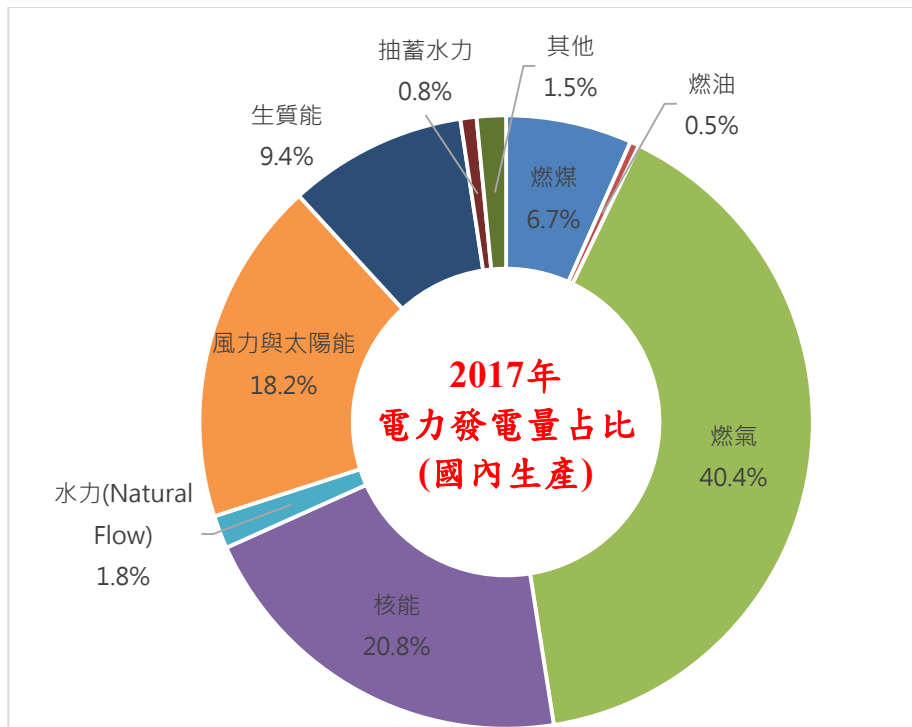
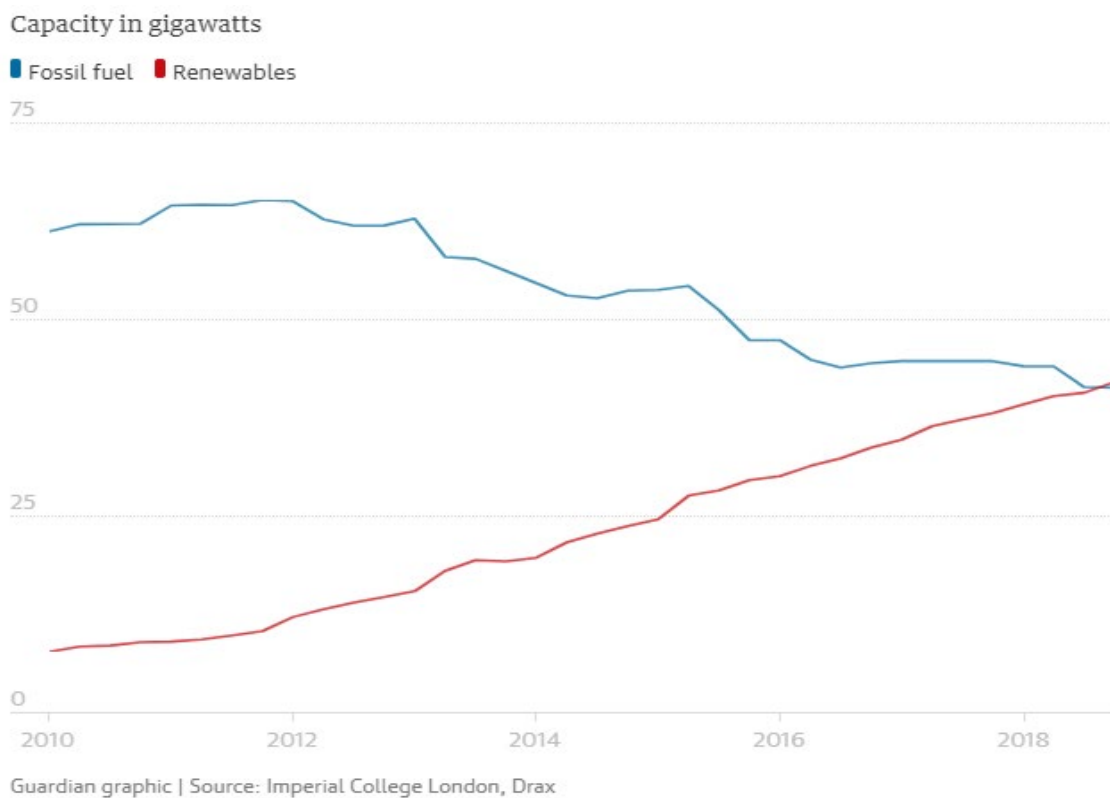


圖 9、英國 2017 年國內發電量占比



圖片來源：衛報(2018/11/6)，資料來自 Imperial College London, Drax

圖 10、英國化石燃料與再生能源裝置量歷年趨勢

住宅部門方面，電力消費自 1998 年至 2005 年呈現持續成長，到 2005 年達高峰 1,257 億度。2006 年至 2009 年由於能源效率提升以及電價提升 (2006 年至 2009 年漲幅為 27%)，電力消費量下滑。2009 年因全球經濟不景氣，電力消費加速下滑。2010 年除了景氣些微復甦，冬天平均也較低，電力消費有所成長。但 2011-2013 年電力消費回到下降趨勢，回到 1999 年水準，直至 2017 年持續減少。在工業部門方面，電力消費自 1998 年至 2000 年穩定成長，2001-2003 年出現些微下滑，2005 年則成長到歷史高點 1,110 億度，而後因為能源使用效率提升與電價提升，電力消費自 2005 年開始明顯下降，2010 年因為經濟復甦出現反彈。2011 年七月英國提出 20 年以來最大規模的電力改革政策 (Electricity Market Reform, EMR)，目的為創造低碳電力投資環境，以刺激達到 2050 年減碳目標，並同時解決未來迫切的供應安全問題，以及降低能源貧窮問題，整體電力消費持續下降，圖 11 為 1999 年至 2017 年英國電力消費依部門別變化。

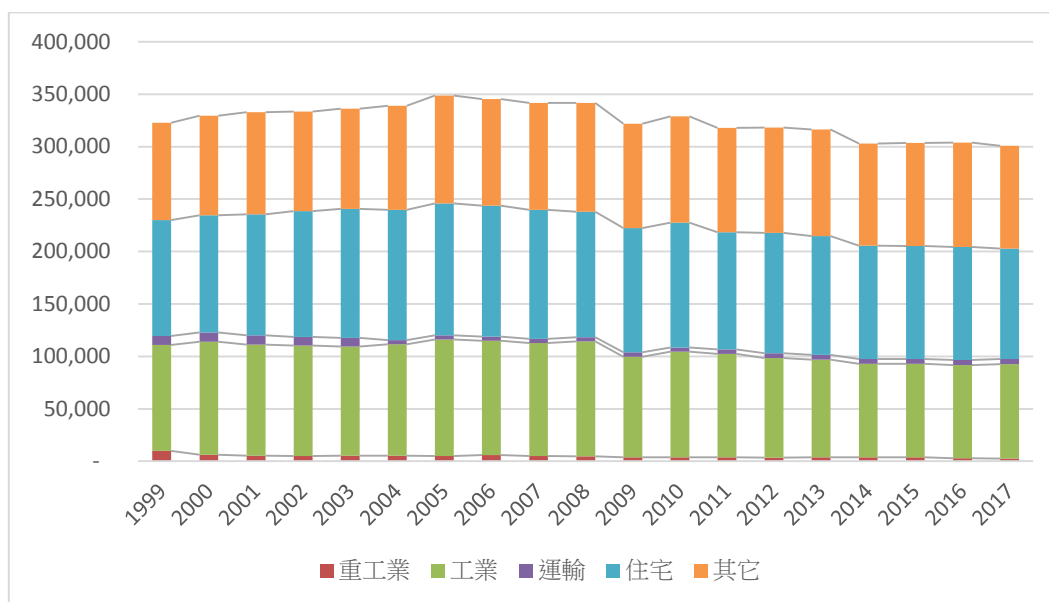


圖 11、英國歷年電力消費變化(依部門別)

(三) 溫室氣體排放歷史趨勢

過去 30 年，英國的能源消費成長幅度微小，GDP 成長了將近一倍，而碳排放減少了將近 20%。能源密集度減少了 47.1%，而碳密集度更大幅的減少 58.1%。這兩項指標的提升主要是因為燃煤退場、能源效率改善、能源密集高的產業佔比減少、以及減碳技術的提升。

各項的溫室氣體排放於過去 20 年不斷地減少，詳圖 12，2017 年(預估值)溫室氣體排放量 366.89 百萬噸，已是 1990 年以來最低水準，相較於 1990 年 594.08 百萬噸，減少 38%，幾乎提前達成第三期(2020)減碳目標。2016 年後，運輸部門已經超越能源部門，成為最大排放源，能源部門占比從 2015 年的 34%，2016 年的 30%，降到 2017 年的 29%；反之，運輸部門占比從 2015 年的 30%升到 2017 年的 34%。能源部門減排主因歸功於燃煤電廠退場，來自電廠的排放，從近年高點 2013 年占能源部門排放 81%，降到 2017 年僅 68%，歷史新低。

1990 年到 2017 年間，2010 年排放量出現罕見的上升，主要因為住宅用的天然氣增加，且部分的核能發電被燃煤和燃氣所取代。

英國溫室氣體排放居第三位為服務部門，約占總體 18%；其次依序為住宅部門約占 17%；農業部門占 2%。2017 年英國的煤炭消費量(10Mtoe)是工業革命以來的最低點，且連續四年負成長，約僅有 2015 年(25Mtoe)的一半。煤炭消費量下降的原因：(1)英國國家政策導致燃煤機組陸續關閉(2016 預計關閉 3GW)；(2)部分燃煤機組轉為生質能；(3)燃煤的獲利受到壓縮；(4)中國鋼鐵的庫存。

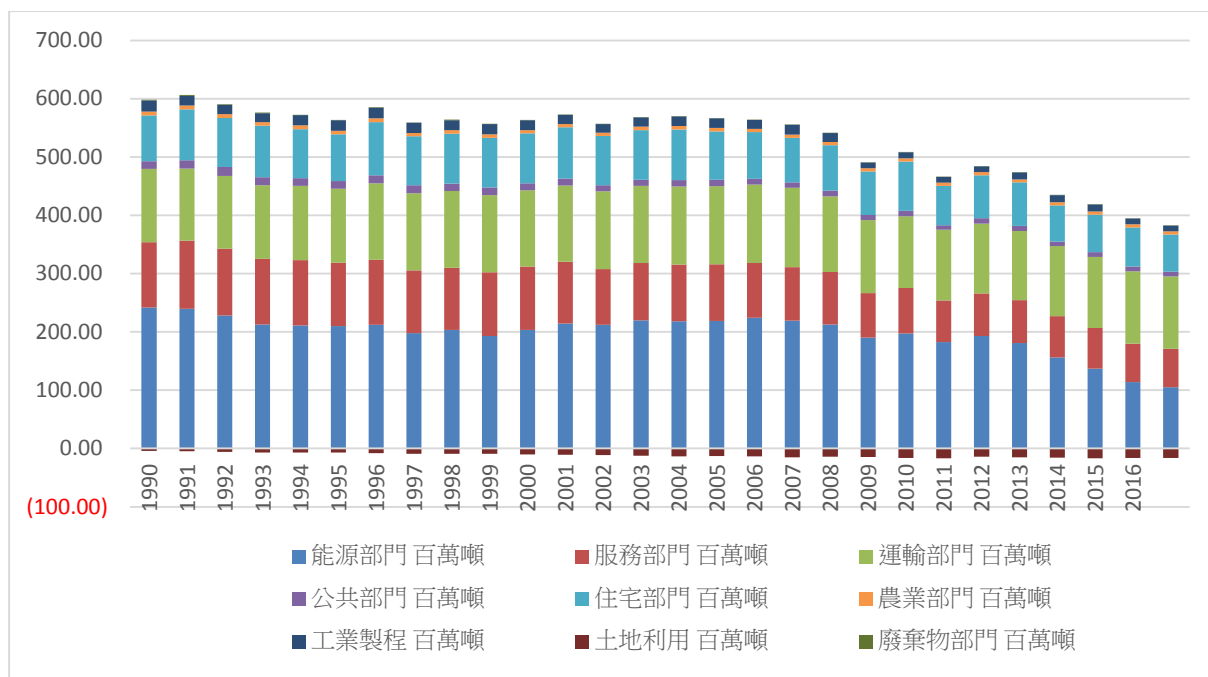


圖 12、英國歷年溫室氣體減量變化(單位：百萬噸)

三、國家能源政策目標

英國能源政策主要建立在 2008 年能源法案(Energy Act 2008)之上，包含減少溫室氣體排放，以減輕氣候變遷的危害，以及確保能源安全、低碳及價格穩定兩項長期目標。2013 年底通過新能源法案(Energy Act 2013)主要針對電力市場改革，祭出包含新制電力收購制度、備用容量市場、新電廠碳排放標準及碳交易價格下限等措施，讓低碳電力成為英國未來的能源供應主軸，目標以經濟可負擔、能源供應安全和環境友善為方向，透過有系統的推動再生能源與提升能源效率的方式的電力供給系統邁進。2017 年發布「潔淨成長策略-邁向低碳的未來」(The Clean Growth Strategy-leading the way to a low carbon future)，盤點既有政策與計畫，並以減碳為主要核心發展目標。

(一) 潔淨成長策略

英國 BEIS 大臣 Claire Perry 於 2017 年 10 月 12 日發布「潔淨成長策略-邁向低碳的未來」報告書，擘劃政府能源與低碳政策承諾與具體方向，

並允諾持續投資低碳行動[8]。

潔淨成長策略盤點英國現有政策與計畫，並將減碳工作視為英國工業策略(Industry Strategy)的中心，希望於增進經濟發展同時，能一併減少溫室氣體排放。將恢復常態性的潔淨成長跨部會工作小組(Clean Growth Inter-Ministerial Group)，負責監督潔淨成長策略的執行情況，同時推動各項相關政策。

策略中強調英國應著重於低碳技術創新研發，預期在 2021 年前投入 1.62 億英鎊於能源效率、燃料轉換，以及製程與原物料效率。另外，將持續推動碳定價，並提出一套架構來支持能源密集產業製程的長期低碳發展，如電氣化、碳捕獲、利用與封存(CCUS)。

策略透過投資離岸風電、電動車及技術創新基金，以建構繁榮的低碳產業。英國政府預估此低碳策略從 2015 到 2030 年間將促成 43 萬人的就業，並預估低碳經濟市場每年能以 11% 的成長速度擴大。顯示英國在促進經濟成長的同時，仍在氣候變化方面居全球的領導地位。

然而，根據該報告指出，這些政策無法符合 2020 年中期以後的排放限制。根據英國 2008 年氣候變化法案(CCA)，政府必須採取一系列積極措施以緊縮由氣候變化委員會(CCC)設定的「碳預算」。目前政府設定的排放將超過第四期碳預算(2023-27)6%及第五期碳預算(2028-32)9.7%，但政府建議可以透過早期碳預算的超額績效或購買國際配額抵換等方式來彌補之間的差距。

英國本次提出的產業策略第一次將政府基金投入標的明確標示。其中最大贏家應是離岸風電及電動車業。根據之前宣布的要在 2040 年淘汰傳統汽車銷售，政府此次宣布投入 8,000 萬英鎊(1.05 億美元)在電動車充電基礎建設及 10 億英鎊做為電動車買者的補貼。另外，將有 5.57 億英鎊用於再生能源開發業者競價。由於受到最近離岸風電成本大幅降低，此舉將使未來 10

年會有額外的 10 GW 風電投入。

清潔生產研發的經費投入將為 9,400 萬英鎊。碳捕集與封存(CCS)則為 1 億英鎊，這是前政府承諾要蓋但後來取消的一座商業化規模試驗廠金額的 1/10。

潔淨成長策略盤點出 8 大方針，包括：加速潔淨成長、促進商業與工業效率(占全英 25%排碳量)、改善住家(占全英 13%排碳量)、加速轉型到低碳交通(占全英 24%排碳量)、提供潔淨、智慧、靈活的電力(占全英 21%排碳量)、增進自然資源的優點與價值(占全英 15%排碳量)、公部門身先士卒(占全英 2%排碳量)，以及政府帶頭促進潔淨成長，內容共有 50 項既有與新增的重點政策與計畫。

(二) 溫室氣體排放與減碳策略

歐盟於 2015 年 3 月提交「預期國家決定貢獻」(Intended Nationally Determined Contribution; INDCs)，承諾 2030 年溫室氣體排放量相較 1990 年排放水準減少 40%，其範圍涵蓋整個歐盟經濟體(28 個國家)。然英國於 2008 年頒布的氣候變遷法案，制定了全世界首個具約束力之法定國家減量目標，承諾在 2020 年前達成 15%能源消費來自再生能源，目標於 2050 年前溫室氣體減量到 1990 年排放量的 20%(155 百萬噸二氧化碳)，為顧及能源價格、穩定供應及能源安全這些目標，電力部門必須有更積極的減碳動作，確立再生能源、核能及 CCS 是未來電力供應的三項主軸平衡發展，是目前能替代或降低化石燃料電廠碳排放的主要方式。

依英國未來電力結構的模型預估，目前傳統化石燃料的電力逐漸會被核能、再生能源與 CCS 技術取代，到 2030 年時再生能源將占總裝置容量 43.2%(59GW)，核能占 10.0%(13.6GW)，整合 CCS 技術之化石燃料電廠占 3.9%(5.3GW)。其顯示這三項低碳能源將是未來電力的主要來源。在 2013 年底通過之新能源法案中，藉由電力市場改革大力推動各項措施降低再生能

源、核能及 CCS 三項低碳能源的市場風險，以刺激投資。

DECC 2011 年提出該部門的碳管理計畫。與 2009/10 相比，DECC 的目標是在 2014/2015 年從自身的辦公室和旅行減少碳足跡至少 25%，此項碳管理計畫當時預期可節省超過 76 萬英鎊，扣除成本後可獲得超過 33 萬英鎊的利潤。到 2050 年，DECC 將充分利用低碳技術，同時智慧和靈活的工作方法，將幫助 DECC 最大限度地減少從辦公室和旅行的總碳排放量。DECC 將在 2050 年起，朝著英國建築環境零碳排放的目標邁進。圖 13 為排放量與 BAU(Business As Usual)的增加和減少目標-財政比較。

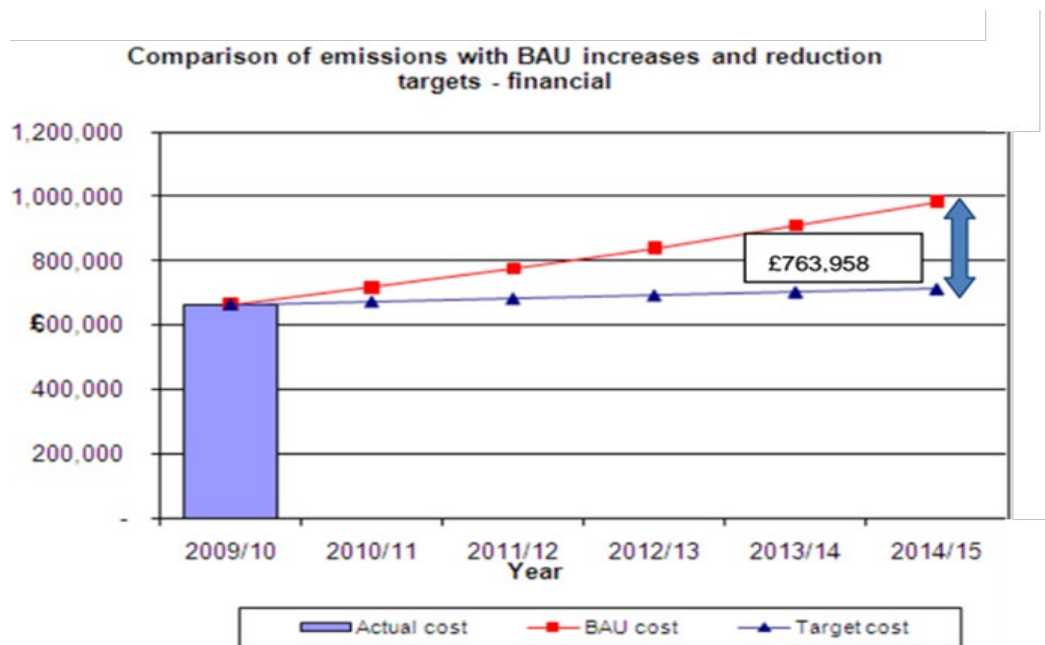


圖 13、排放量與 BAU 的增加和減少目標-財政比較

(三) 再生能源與綠色產業推動

2013 年英國政府公布「英國再生能源發展路徑圖」[9]，明確設定八項具發展潛力之再生能源領域，包含陸域風能、離岸風能、海洋能、生質能、生質熱能、地源熱泵、空氣源熱泵及再生能運輸，2020 年前之總裝置容量可達 29 GW，總體再生能源目標必須達到 15%之能源需求占比，且比例必須逐年增加，此路徑圖確立未來英國再生能源發展及應用之行動計畫，目前

英國的總發電量中，有 15%須來自綠色能源，已於 2013 年滿足此一目標。

英國綠色產業發展重點不再著重於過去常用之租稅減免、優利貸款等金融支援工具，而是將重點放在市場建立、市場機制的運用等等。為達到 2020 年環境保護的承諾，主要利用大量投資的方式來推動綠色產業的發展，同時於 2013 年 1 月成立全球第一家專為環境保護所設立的投資銀行，以下簡單介紹該「綠色投資銀行(Green Investment Bank, GIB)」。

英國 GIB 雖名稱中有「銀行」，但其實際上在初期所扮演的角色，比較是偏向「國營綠色公司」之性質，政府透過國庫出資吸引民間資本投入，其綠色投資銀行為一「基礎建設銀行(Infrastructure bank)」，資本額 38 億英鎊，折合台幣約新台幣 1,900 億，預估資金將於 2016 年全部到位，完全政府出資。綠色投資銀行總部設於愛丁堡，於倫敦設有辦公室。綠色投資銀行營運近兩年後，最新數據顯示，綠色投資銀行將參與的投資金額已達 16 億英鎊，相對應的民間投資達 56 億英鎊，相當於英國政府每 1 英鎊的投資可實際帶動 3.5 英鎊的民間投資。未來五年內(2015-2019)，綠色投資銀行將在綠色能源產業投入 400 億英鎊的資金[10]。綠色投資銀行目前的投資重點領域有四：離岸風力發電(Offshore wind)、廢棄物回收(Waste recycling)、能源利用效率加強(Energy efficiency)與廢棄物能源生產(Energy from waste)；其他投資包含應用於交通的生物能源、生物廢棄物能源、再生熱能、二氧化碳捕捉與儲存與潮汐能源開發等。由英國設立 GIB 之經驗，可以發現到要吸引投資者對於綠色科技之關注，光單純仰賴市場機制是不足的，即便設有 FIT、再生能源強制義務等市場補貼或誘因機制，仍需要國家介入之必要以促進前端投資之誘因。

在推動綠色能源產業層面，英國政府分兩部份進行，一為小型發電機組，主要適用對象為家庭用戶，小型發電機組裝設採躉購機制(Feed-in Tariffs, FITs)，也就是政府購電，目前已有太陽能發電與風力發電可以申請 FIT，英

國電力市場改革(Electricity Market Reform, EMR)依據 Energy Act 2013 導入差價合同(Contracts for Difference, CfD)與容量市場機制(Capacity Market)需透過競標制度以取得差價合同補助，競標價格若高於特定技術之行政履約價格則以行政履約價格簽約，英國於 2015 年 2 月辦理第一次競標，差價合同價格共 3.15 億英鎊/年，最終支出仍需視不同技術與當年度各時間的電力批發價格之高低決定，但系統業者必須先行取得電廠併網工程規劃許可證。而大型發電機組鼓勵機制(商業用電適用)則使用再生能源義務憑證(Renewables Obligation Certificates, ROCs) 與交易，「瓦斯與電力市場辦公室(Office of Gas and Electricity Markets, Ofgem)」在「再生能源義務(Renewables Obligation, RO)」架構下，透過發行「再生能源義務憑證(Renewables Obligation Certificates, ROCs)」與 ROCs 交易，達到推動再生能源使用的目的，此憑證交易已於 2002 年開始實施。發電廠商每年必須生產一定比例的綠色能源，該比例即為發電廠商之綠色發電「義務(Obligation)」份額，且該比例每年都會增加。此「再生能源義務」主要適用對象為 50kW 以上發電機組設備。

目前低碳科技跨境銷售多指低碳發電的跨境銷售，即再生能源的跨境銷售，英國政府積極促成低碳發電國際市場的開發，目前英國正積極與愛爾蘭協商，希望可以促成兩地低碳電力市場的整合，可望降低綠色科技成本、出口包含風力發電、潮汐發電、海浪發電等天然能源、降低對化石能源的依賴與降低消費者的能源消費負擔等好處。

具自然獨占特性產業採用價格管制與 RIIO model，RIIO model 指的是「營收=動機+投資+產出(Revenue = Incentives + Investment + Outputs, RIIO)」，自 2013 年開始實施，將持續 8 年。部分產業具有自然獨占的特性，例如瓦斯與電力的輸送系統等，表示最有效率的市場型態即為獨占，因此，英國政府為維持市場的效率，並不強行引入競爭，但為了照顧消費者權益，英國政

府採用價格管制的方式控制價格，唯管制的價格仍足以支應廠商的營運成本與利潤，同時提供能源傳送網絡營運商以降低成本為目標的創新誘因。

(四) 能源效率、建築與運輸

為因應氣候變遷及確保能源供應，英國政府自 2003 年首度公佈「能源白皮書」以來，揭櫫未來英國能源發展之三大挑戰、四目標及兩支柱，其中提高能源效率及發展再生能源即為最重要之兩支柱。2007 年修訂「能源白皮書」，明確納入節約能源作為，對外支持歐盟於 2020 年減少境內 20% 能源消費之提案，並積極與其他 G8 會員國合作，建立對抗氣候變遷之國際架構及共同制訂商品之節能標準；對內則推動制訂具法律效力之減碳排放目標，並祭出節能誘因輔導用戶節約能源。其中住宅部門已於 2016 年起推動相關具體措施，包含無碳建築之立法、推動住宅建築能源效率證明制度，運輸部門則配合歐盟提升汽車燃料能耗標準，商業部門參與歐盟碳排放交易系統、規劃對年用電量高於 600 萬度機構實施之總量管制，大型公共機構強制加入二氧化碳減量計畫等。2013 年修訂「能源法」，於 2020 年前提供 76 億英鎊低碳能源獎金，獎勵通過提高效率，並節省能源用量之企業。

(五) 核能政策

英國是目前少數將減碳目標立法的國家之一。在面臨未來十年有大量電廠除役之際，核電已被英國政府視為電力部門重要的減碳與穩定電力供應選項，2008 年發布「以核能解決能源挑戰」白皮書(A White Paper on Nuclear Power Meeting the Energy Challenge)[11]。英國於 2011 年成立核能管制中心 (Office for Nuclear Regulation, ONR)，其權責包含了核電廠申設審核、核電廠除役、核能安全、核廢料運送、核廢料管理與處置及核電廠環安等。在 311 福島核災後，在政府體制外的獨立核能管制單位更顯得重要，此中心於 2013 年能源法案中建立了正當性運作目的與功能法源，並在 2014 年 4 月開始法人化，此後將可藉由核能管制中心整合、監督並管理未來核能的發展。

白皮書包含政府對核電公民諮議活動，以及相關的策略選址評估程序(Justification and Strategic Siting Assessment processes)之技術諮議活動的正式回應。對諮議活動中，回覆所有公民意見的完整報告，陳述於政府的「公民諮議回覆分析書(Government's analysis of consultation responses)」中，並和白皮書同時發表，關鍵性的議題包括：對抗氣候變遷及確保能源供應安全的必要性，以及放射性物質的排放、環境、安全和保防作為的正確性為目前英國持續發展核電之政策主要依據。

英國自 1995 年 Sizewell 核電廠商轉後，已近 20 年無新增新核電廠。1990 年代核能發電約提供全英國 25% 電力，核電發電量 1998 年達到高峰，隨後開始有老舊核電廠關閉，核能發電量占比逐漸下滑至 2016 年的 12%。英國目前共有 15 座反應爐運轉中如表 1，其中多數為 1980 年代設置的第二代先進氣冷型反應爐(AGR)，最新建置的為 1995 年在 Sizewell 設置的壓水式反應爐(PWR)，但大部分電廠都將於 2024 年以前陸續退役，其中在 Hinkley 及 Hanterton 核電廠 4 座反應爐已延役 7 年至 2023 年，並且同時需要淘汰許多老舊火力電廠，致 2017 年已出現嚴重電力供應缺口，該國政府以電力進口作為因應。因此必須要新建穩定的基載電力機組以填補供應缺口，表 2 為英國目前規劃興建中之核能電廠，新增總裝置容量將達到 15.7GW [12]。

DECC 於 2012 年底制定之新能源法案內容包含電力收購差價合約制度(Contracts for Difference)、備用容量市場(Capacity Market)、新電廠碳排放標準(Emission Performance Standard)及碳交易價格下限(Carbon Price Floor)等措施，讓低碳電力成為英國未來的能源供應主軸，並於 2013 年 12 月立法通過正式生效。新能源法案對核電發展之影響有顯著的支援，透過導入碳交易價格下限機制，針對化石燃料的發電業者，2013 年訂為每噸二氧化碳約新台幣 800 元，並逐年提升到 2030 年每噸約新台幣 3500 元，並訂定更嚴

格之新電廠碳排放標準，將標準訂在每度電 450 克二氧化碳以下，以取代未整合碳捕捉與封存之傳統燃煤電廠。此外，新的電力收購差價合約制度也將核電納入，未來政府將保證以一定價格長期合約收購，提供核電一個穩定並可預期的投資環境，售電價格不會隨著市場供需變動，有利於刺激投資。

目前英國至 2035 年後既有的核電機組僅剩下一座(1.2GW)，興建中的核電機組不確定性高，2013 年，英國政府與法國公司 EDF 簽訂協議，由後者在英國薩默塞特郡(Somerset)興建欣克利角 C 核電站(Hinkley Point C)，這也是英國三十年來的第一個新建的核能反應爐，總投資達 180 億英鎊，Hinkley Point C 核電廠因為法商 EDF 集團財務等因素略為延後，後獲中國廣核集團有限公司(China General Nuclear Power Corporation, CGN)參與投資，已於 2016 年 9 月 15 日獲政府批准同意興建，2017 年 3 月 28 日核能管制中心(ONR)已經同意建物結構符合規定，2018 年 1 月法國公司 EDF 表示一切依進度建造中，2019 年 6 月就會動工建造地上建物，並預計可順利於 2025 年運轉。

表 1、英國目前運轉中之核能電廠

核能電廠名稱	反應爐類型	裝置容量 (MWe net)	首運轉年	預計停轉年
Dungeness B 1&2	AGR	2 x 520	1983 & 1985	Jul-05
Hartlepool 1&2	AGR	595, 585	1983 & 1984	2024
Heysham I 1&2	AGR	580, 575	1983 & 1984	2024
Heysham II 1&2	AGR	2 x 610	1988	2030
Hinkley Point B 1&2	AGR	475, 470	1976	2023
Hunterston B 1&2	AGR	475, 485	1976 & 1977	2023
Torness 1&2	AGR	590, 595	1988 & 1989	2030
Sizewell B	PWR	1,198	1995	2035
Total: 15 units		8,883 MWe		

表 2、英國目前規劃興建中之核能電廠

核電公司	計劃名稱	廠址位置	反應爐類型	裝置容量 (MWe net)	預計運轉 年	預計啟用 年
EDF Energyn	Hinkley Point C1	Somerset	EPR	1,670	2019	2026
EDF Energyn	Hinkley Point C2	Somerset	EPR	1,670	2020	2027
EDF Energyn	Sizewell C1	Suffolk	EPR	1,670?		?
EDF Energyn	Sizewell C2	Suffolk	EPR	1,670?		?
Horizon	Wylfa Newydd 1	Wales	ABWR	1,380	2019	2025
Horizon	Wylfa Newydd 2	Wales	ABWR	1,380	2019	2025
Horizon	Oldbury B1	Gloucestershire	ABWR	1,380		late 2020s
Horizon	Oldbury B2	Gloucestershire	ABWR	1,380		late 2020s
NuGeneration	Moorside 1	Cumbria	AP1000	1,135	2019?	late 2025
NuGeneration	Moorside 2	Cumbria	AP1000	1,135		2026?
NuGeneration	Moorside 3	Cumbria	AP1000	1,135		2027?
Total planned (11)				15,605 MWe		
China General Nuclear	Bradwell B1	Essex	Hualong One	1,150		
China General Nuclear	Bradwell B2	Essex	Hualong One	1,150		
Total proposed(2)				2,300 MWe		
GE Hitachi	Sellafield	Cumbria	2 x PRISM	2 x 311		
Candu Energy	Sellafield	Cumbria	2 x Candu EC6	2 x 740		

四、國家能源供需預測推估

英國並無官方規劃之未來能源或電力供需結構，官方公布之數據都是在模擬達到未來減碳目標下之可能情境，以市場導向的相關模型工具去模擬，其結果與燃料價格及碳交易價格有所關聯，並且不代表政府未來規劃。由 BEIS 延續 DECC 的推估，未來電力供應將自 2010 年的 3,660 億度下降到 2020 年的 3,270 億度，隨後至 2030 年便回升到 3,850 億度。如下圖 14

所示為至 2035 年英國能源未來需求預測推估。至 2030 年時，再生能源發電量占總電力供應占比將達 41%，核電為 29%。而傳統燃煤電廠將近全數除役，並由其他方式取而代之，表 3 至表 5 分別表示初級能源供給、電力供給結構及電力消費結構預測推估。

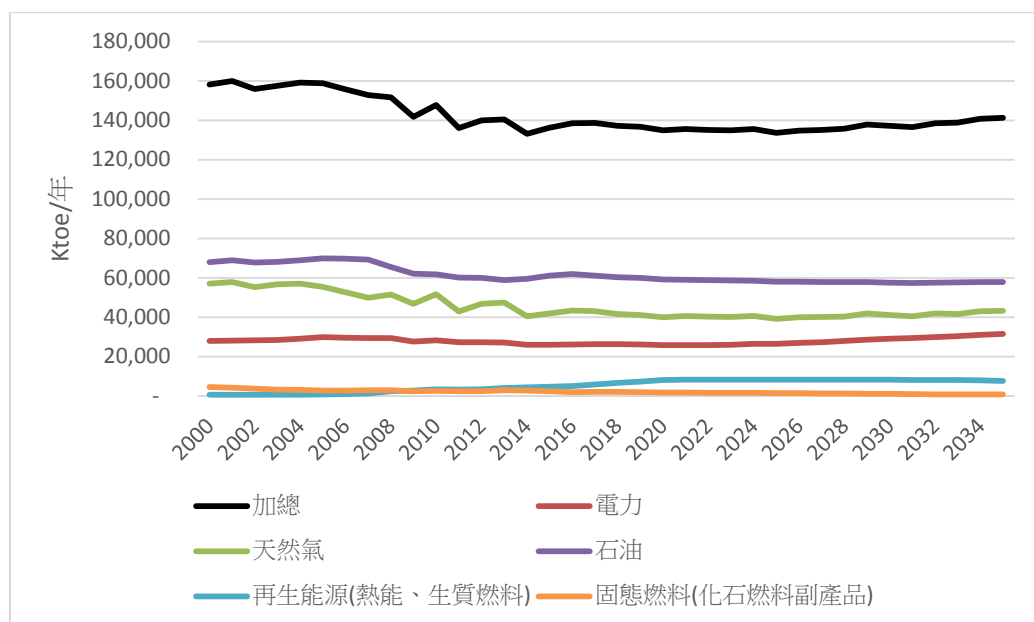


圖 14、最終能源需求預測(燃料別)

表 3、英國初級能源供給預測推估 (單位：PJ)

	2010	2015	2020	2025	2030	2035
電力淨進口	10.1	71.1	89.6	279.2	279.2	169.9
天然氣	3940.7	2867.7	2781.7	2412.4	2504.6	2457.1
核能	583.1	648.1	611.4	406.2	690.4	1170.5
石油	3271.4	3126.8	2978.2	2936.7	2916.8	2932.6
再生能源&廢棄物	376.6	743.8	1075.9	1176.5	1128.4	1196.1
固態燃料(化石燃料副產品)	1345.5	1053.2	325.4	287.6	198.4	173.2
總計	9527.3	8510.6	7862.3	7498.6	7718.0	8099.2

表 4、英國電力供給結構(裝置容量)預測推估 (GW)

年度	2017	2020	2025	2030	2035
燃煤	14	7	1	0	0
CCS	0	0	0	0	1
電網連結	5	6	19	19	20
燃氣	35	36	32	30	24
核能	9	9	6	8	14
燃油	0	1	1	2	2
再生能源	39	45	55	62	67
儲能	3	3	3	7	11
總合	105	106	118	127	139

表 5、英國最終電力消費結構預測推估 (PJ)

年度	2010	2015	2020	2025	2030	2035
農業	40	47	52	52	52	52
商業	512	525	472	463	510	552
住宅	2,067	1,674	1,689	1,743	1,870	1,973
金屬與鋼鐵	58	53	46	42	40	40
其他工業	1,038	942	899	844	807	798
公共	245	218	208	194	204	208
運輸	2,228	2,247	2,284	2,259	2,258	2,290
總計	6,189	5,706	5,650	5,596	5,742	5,913

2015 年 2 月，三大主要政黨領導人在英國非政府組織綠色聯盟(Green Alliance)協商下共同簽署承諾，認為英國應尋求一個更強的約束力來抑制全球升溫超過 2°C、各黨派應共同努力以達成氣候變遷法案規範的碳預算、加速轉型成為低碳經濟並關閉燃煤機組。然 2015 年初並沒有明確指出英國應在何時全數關閉燃煤機組，DECC 大臣 Amber Rudd 在 2015 年 11 月發表演說中強調英國未來將致力於低碳能源發展，政府的目標將是在 2025 年前關閉所有燃煤電廠或轉型成為生質燃料發電。

根據 DECC 在 2015 年 11 月預測，英國未來電力(Reference 情境)會先下滑，後微幅度成長。根據這個供電結構，估算 2030 年電力排放係數為 64gCO₂/kWh，需求成長主要是因為建物供熱部門與運輸部門的電器化所

致，而能源效率的提升無法完全抵消這兩個部門的電力需求成長幅度。英國能源產業聯盟對於 DECC 與 CCC 的預測不完全認同：(1)電力需求可能持平或下降(價格以及能效提升因素，而電器化的普及率不如預期)；(2)持續增加核能發電過於樂觀；(3)應再放寬電力排放係數目標 50-100gCO₂/kWh，或加速訂定後 2020 時代的低碳補助方針(如 Levy control framework)。

DECC 的規劃與目標，在合併為 BEIS 後，並未有變更消息，預期將延續 DECC 原定計畫和目標。

五、英國對供需預測技術的開發

英國國家電網雖然擁有將電力輸往英國各地的基礎設施，以確保任何時候有足夠電力滿足英國各地需求，但是由於風能和太陽能等可再生能源已經成為部分英國能源組成，因此面臨電力系統供需平衡的問題。

有鑑於英國發電來源種類繁多，如何使再生能源得到最有效率的排成使用，成了當下最重要的問題，因此 Google 收購的 DeepMind 認為，機器學習可以更準確地預測需求型態，有效平衡英國國家電力系統中的供需矛盾，詳細的來說是，是否可利用機器學習技術預測電力需求和供應的高峰，進而幫助英國國家電網公司最大限度利用可再生能源。[13]

DeepMind 在 2016 年 7 月已經擁有成功電力節能應用的案例，是利用機器學習將 Google 資料中心的用電量減少了 15%，詳細內容是透過 DeepMind 的智慧演算法預測 Google 資料中心的冷卻系統和控制裝置的負載，進而將冷卻電量減少 40%。其中，DeepMind 人工智慧軟體控制資料中心內大約 120 個裝置參數變量，包括風扇、空調系統、窗戶等。

值得一提的是 DeepMind 是一家英國的人工智慧公司。公司建立於 2010 年，最初名稱是 DeepMind 科技 (DeepMind Technologies Limited)，於 2014 年被 Google 收購。該公司開發出的專利 US 9679258 強調深度學習的方法，透過第一、第二神經網路的合作，強化深度學習的速度。

英國 2016 年發電量占比，包括燃氣發電 42.3%、燃煤發電 9.0%、核能 21.1%、再生能源發電 22.9%(不含水力發電 1.6%)。規劃至 2030 年，英國的再生能源發電量將達總發電量的 43.1%。

隨著英國再生能源的占比漸漸提高，如何達到最佳化的再生能源的發電排程的議題日趨重要。目前的電力系統中，雖然有自動化的功能，但是相比於傳統的自動化，人工智慧的強大之處在於可以透過機器自主學習，來完成對未來的預測，從而作出相應的調整。而傳統的自動化則缺乏自動學習和預測未來的能力，在預測未來的動態變化方面，傳統自動化會顯得無能為力。英國的電網現在就面臨一個這樣的問題。

六、結論與建議

英國設有長期的減碳目標，為了達成 2050 減碳目標，設定電力排放係數在 2020 年須達 250gCO₂/度，2030 年達 100gCO₂/度。而 2050 年電力部門需要達到幾乎完全零碳排放。

基於再生能源未來均化成本下降，且碳價格逐年上升的假設下。英國未來轉型為低碳電力系統，且在 2025 年淘汰燃煤發電，使 2030 年電力排放係數降至 100gCO₂/度電是可行的，但近期的政策措施(包含調降 FIT、刪減 CCS 補助等)及核電機組延誤興建等對能否達成中期減碳目標將產生疑慮。

許多國家在福島核災事件後紛紛改變擴大使用核能的政策，全球新建核電廠數急速下降。要持續使用核能，嚴格的安全及風險管理、透明的管理決策機制及公眾參與是不可或缺的。但隨著公眾反對聲浪提升，未來透過設置先進核能發設備以降低電力部門排碳量的目標更加難以達成，因此強化了再生能源在未來能源供給結構中扮演的角色。英國政府將低碳科技視為一體，以綠色產業整體做為規劃範疇，進而設計對應的政策與策略，例如「綠色投資銀行」籌設、Contracts for Difference (CfD) 的運作、電能躉購費率(Feed-in Tariffs, FITs)的推行、綠色憑證交易與再生熱能鼓勵機制的設計、低碳科技跨境銷售等。

英國於 2016 年 6 月 24 日公投決定退出歐盟，不但使其未來經濟成長前景蒙上陰影，也為能源發展帶來不確定性，影響能源發展與投資活動，威脅能源供給安全。在過去英國與歐盟的電網合作裡，英國為淨電力進口國，來自歐盟的電力占 8%英國電力供給。如何面對這項潛在電力供給缺口與配合經濟成長逐步攀升的用電需求是為英國脫歐之後的挑戰。

除此之外，英國國家電網(National Grid)研究指出若英國離開歐盟內部能源市場(Internal Energy Market)，英國在未能最佳化應用電網平衡供需的情況下，將導致每年 5 億英鎊的能源成本增幅，終將移轉至消費者，英國電力價格潛在上升的壓力。英國未來的課題是妥善規劃電力組合，以維持可負擔的電價目標。

因此，如何使再生能源得到最有效率的排程使用，成了當下最重要的問題，故 Google 收購的 DeepMind 認為，機器學習可以更準確地預測需求型態，有效平衡英國國家電力系統中的供需矛盾。

英國於 8 年期間內，再生能源裝置量從 2010 年的 6.9% 快速升至 2017 年 29.3%，而同時發電量 25,244GWh 升至 99,330GWh，成長近三倍，亦在未有缺電危機下，讓燃煤電廠快速退場。

對照我國再生能源發展目標為 2025 年再生能源達到 27,423MW，主要是擴大太陽光電及離岸風力，在此目標下，電力系統的穩定性將面臨考驗，建議觀察英國 AI 技術應用在電力系統上的供需平衡的結果，預先為我國電力系統穩定進行策略性布局。

為能使我國邁向永續能源之低碳經濟時代，新能源的發展與多元推廣將扮演極具關鍵的角色，加上我國本身天然資源匱乏，導致能源進口依存度一直居高不下，能源安全之問題一直無法獲得完善之解決方案，希望透過再生能源積極發展，尋求適度解決我國能源安全之問題。但是，我國長久以來缺乏足夠優惠之再生能源政策性融資，對於大型再生能源發電設施發展所產生之困境，顯然必須要有所改變，總結來說，英國之整體再生能源推動政策與我國雖有相當之差異，然而，其能源政策成型過程與內容思維可做為我國未來再生能源政策推動策略擬定參考。

參考資料

[1]. Climate Change Act 2008

<http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/27/contents>

[2]. DECC, 2013. The Energy Act received Royal Assent on 2013/12/18.

<https://www.gov.uk/government/collections/energy-act>

- [3]. The World Bank. United Kingdom.
<https://data.worldbank.org/country/united-kingdom?view=chart>
- [4]. 美國中央情報局《世界概況》，
https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/print_uk.html
- [5]. IMPLEMENTING THE END OF UNABATED COAL BY 2025. 2018/1.
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/672137/Government_Response_to_unabated_coal_consultation_and_statement_of_policy.pdf
- [6]. The Guardian, 2018/4/24. UK runs without coal power for three days in a row.
<https://www.theguardian.com/business/2018/apr/24/uk-power-generation-coal-free-gas-renewables-nuclear>
- [7]. European Commission - Press release, 2018/11/13. Brexit preparedness: European Commission proposes to make technical amendment to EU energy efficiency legislation to take account of UK's withdrawal.
http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-6406_en.htm?fbclid=IwAR1ciJNejXF5QpVJSItSsX7W23uts-odCo6Uma7eaGDEFqEjEnR18cJNrIQ
- [8]. 英國潔淨成長策略，能源知識庫，2018/2/21。
https://km.twenergy.org.tw/DocumentFree/reference_more?id=181
- [9]. UK renewable energy roadmap
<https://www.gov.uk/government/collections/uk-renewable-energy-roadmap>
- [10]. UK Green Investment Bank
<http://www.greeninvestmentbank.com/news-and-insight/2014/international-green-bank-summit-brings-together-global-clean-energy-financing-institutions/>
- [11]. Towards a Nuclear National Policy Statement: Consultation on the

Strategic Siting Assessment Process and Siting Criteria for New Nuclear Power Stations in the UK, Department for Business, Enterprise & Regulatory Reform (July 2008); Meeting the energy challenge: a white paper on nuclear power. UK GOV. 2018/1/10.

[12]. World Nuclear Association.

<http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-T-Z/United-Kingdom/>

[10] DeepMind and National Grid in AI talks to balance energy supply , Financial Times , 2017/03/14

<https://www.ft.com/content/27c8aea0-06a9-11e7-97d1-5e720a26771b>

DeepMind 幫助 Google 節省大量電費之後，現計劃利用 AI 平衡英國電力供應國家再生能源未來展望，2017/3/14

<http://technews.tw/2017/03/14/deepmind-ai-help-national-grid-balance-electric-net/>