

IEA 燃料燃燒碳排放數據分析

—以全球、亞洲區域及歐美亞的主要國家為例進行探討

林韋廷

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

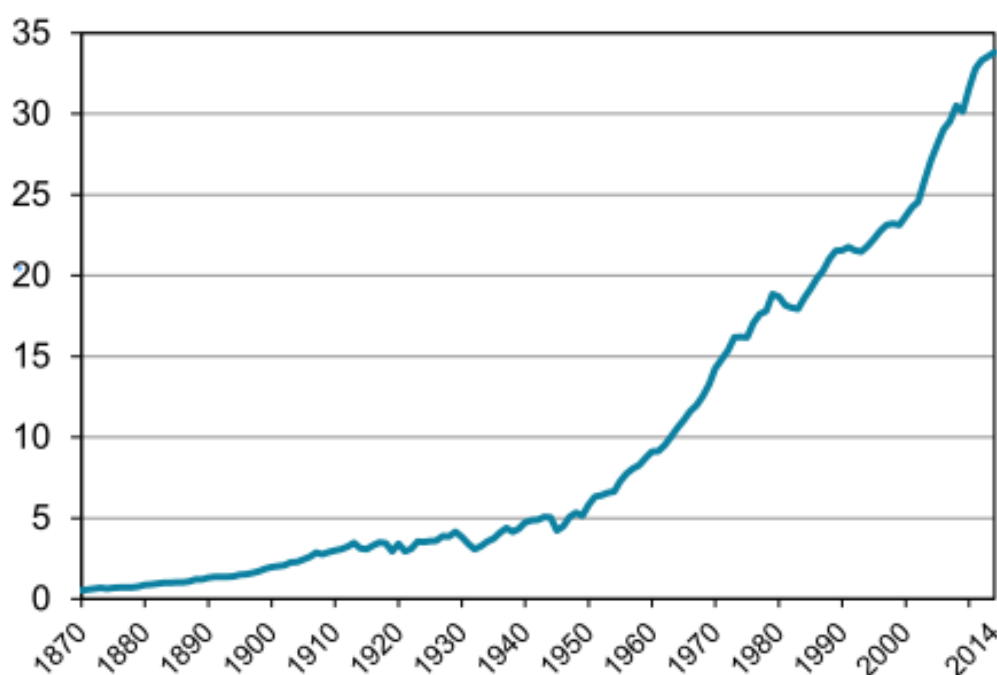
摘要

本報告就國際能源總署(IEA)出版之《2017 年燃燒燃料之二氧化碳排放》所提供 1971 年至 2015 年的二氧化碳排放統計數據與趨勢圖表資料進行分析，包括來自不同燃料燃燒、以及不同部門所產生之碳排放量。除全球範圍與亞洲區域外，亦挑選我國、中國、南韓、日本、美國、法國、英國、德國進行比較，探究不同的情境與條件下，結合對照各國的其他相關資料如發電量、不同部門電力需求等數據，探究碳排放趨勢變化之影響因素。本報告發現發電與供熱是許多國家碳排放的重要來源之一，且部分國家發電過去較仰賴燃煤，而使碳排放量較高。有部份國家透過提高天然氣發電、減少燃煤發電，能夠有效降低碳排放。全球新建燃煤電廠數量也逐步減少，然而亞洲的燃煤電廠數量仍然相當高，尤其中國過去近二十年燃煤電廠驟增，因此仍然造成亞洲甚至全球碳排放量的增長。

關鍵字：IEA、碳排放、化石燃料、發電量

一、前言

在產生溫室氣體的人類活動中，能源使用是迄今為止最大的排放源(IEA, 2018b)，能源需求的增長來自全球經濟增長和發展。以初級能源總供給(TPES)衡量全球能源需求，在 1971 年至 2015 年間就從 6 Gtoe 增加至超過 13 Gtoe，增長了近 150%；而主要仍然依賴化石燃料，占了能源使用的 82%，這也進而造成碳排放的增長，在燃燒過程所造成之二氧化碳更是溫室氣體總排放量的主因，歷年來持續增長，在 2015 年因燃料燃燒造成之排放量更是超過 330 億噸（如圖 1）。工業化前二氧化碳濃度約為 280 ppm，工業化後顯著增加，2016 年達到 403 ppm，而過去十年平均每年增長 2 ppm，反應出人類在工業化後，面對經濟成長、科技發展、生活便利性及環境永續之間的多重兩難情境。雖然聯合國氣候變化綱要公約附件一(Annex I)中的國家自 1990 年起，已從將近 140 億噸的碳排放量略為下降至 2015 年的約 124 億噸，但是非附件一的國家則仍然大幅增長，從 1990 年的 62 億噸至 2015 年的 187 億噸，增長超過三倍 (IEA, 2018c)。



(資料來源：IEA, 2018b 引述 Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., United States.)

圖 1：全球燃料燃燒產生之二氧化碳排放量(單位：十億噸)

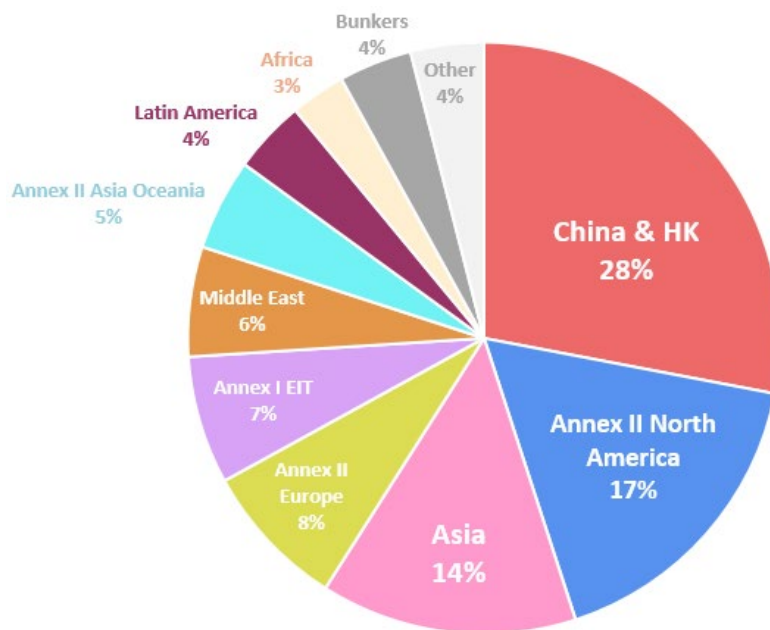
其中，發電與供熱部門之燃料燃燒也是總排放的重要因素，且其中發電的增長極其快速，自 1974 年至 2015 年間，世界總發電量從 6,287 TWh 增加到 24,345 TWh，年均增長率達 3.4% (IEA, 2018e)。發電與供熱在 1971 年時造成之二氧化碳排放占全球的 27%，增長至 2005 年達到 41% (IEA, 2007)，而至 2015 年則略為上升至 42%；雖然非化石能源(包括核能、水力發電和其他再生能源)在發電中有增長，現占全球的 34% (IEA, 2018b)，但是逾六成的化石燃料對比於發電量的增加，仍然致使碳排放增加，2015 年全球發電與供熱部門所造成之碳排放量，已較 1990 年增加 77%。

為深入瞭解過去碳排放的來源、部門差異，並研析影響碳排放趨勢的重要事件或原因，本報告基於 IEA (2018a) 所出版之《2017 年燃燒燃料之二氧化碳排放(CO₂ Emissions from Fuel Combustion)》數據資料及圖表，並結合相關數據來源進行比較對照，以解釋全球碳排放趨勢之意涵，進而提出相關建言，以供未來改善碳排放之政策參考。

二、IEA 碳排放資料分析

本報告擷取 IEA (2018a) 資料中所提供之排放量數據圖表進行分析探討。IEA 之二氧化碳排放資料主要依照原料別、部門別兩種分類方式，其中原料別分為煤炭、油、天然氣、其他四種來源，部門別則分為發電與供熱、其他電力產業、製造工業與建築業、住宅、運輸、其他。

另外，如圖 2 所示，全球最大之排放源為中國(包含香港)，次之為聯合國氣候變化綱要公約附件二(Annex II)之中的北美國家如美國、加拿大，第三大排放源為亞洲之其餘國家總和，第四大則是附件二之歐洲國家；全球前十大碳排放國家則依序是中國、美國、印度、蘇聯、日本、德國、南韓、伊朗、加拿大、沙烏地阿拉伯，而這十個國家就占了超過 67% 全球碳排放總量。而本報告選擇之分析對象除全球之外，亦針對亞洲全區、我國、及鄰近重點亞洲國家，包括中國、南韓、日本，並選擇美國、法國、英國、德國作為比較對照。在本節各小節中，將分別依據不同之區域、國家，列出 IEA 統計之歷年二氧化碳排放量統計圖(IEA, 2018a)。



(資料來源：IEA (2008a)，本報告重繪)

圖 2：2015 年全球二氧化碳排放量百分比

(一) 全球與亞洲

在 2015 年全球二氧化碳總排放量共約 32,294.2 百萬噸，其中以來自燃煤的碳排放最高，為 14,512.7 百萬噸，占 44.9%；燃油則占 34.6%，造成 11,169.1 百萬噸二氧化碳；天然氣占 19.9%，共排放 6,437 百萬噸。全球之碳排放趨勢大致上呈現上升趨勢，且在 2000 年中後期開始有較快速的上升趨勢，且主要以燃煤為主，此一趨勢同樣呈現在亞洲歷年排放量之趨勢，如圖 4 所示；而全球與亞洲在近 2015 年之增幅趨緩，根據圖 3 和圖 4 之趨勢，燃煤下降之影響較高。由此可推測全球受到亞洲之影響甚高，亦如 Boom and Bust 2018 Tracking The Global Coal Plant Pipeline 報告所述，2017 年全球碳排放量增長之主要原因即是亞洲國家造成 (Shearer, Mathew-Shah, Myllyvirta, Yu & Nace, 2018)。

就 IEA (2018a) 所公布之不同部門趨勢分析，如圖 5 和圖 6 所示，發電與供熱部門具極高影響，在 2015 年即占全球碳排放總量的 41.9%，二氧化碳排放量 13,540.6 百萬噸；其中又以燃煤發電供熱最高 (71.8%)，二氧化碳

排放量為 9,728.6 百萬噸，佔全球總排放量 30.1%。亞洲在發電與供熱部門造成之碳排放量則為 8,149.1 百萬噸，占亞洲全區總排放的 47.2%、全球總排放的 25.2%，而與全球的發電供熱部門比較則占高達 60.2%。而發電供熱部門在亞洲成長率達 319%，是所有部門中增加最多。中國在此部門成長率更是高達 588%；南韓增加 434%，台灣增加 258%，日本則增加 41%。美國小幅成長 4%；英國與法國則皆減少，分別減少 44%與 31%。

在圖 3 中另可發現 1980 年的碳排放下降，且主要是燃油碳排放下降為主因，推測主要原因在於 1978 年底開始之第二次石油危機、與 1980 年兩伊戰爭所造成原油產量下降、需求也減低之結果；而在 2008 及 2009 年亦有短期驟降趨勢，如就圖 5 以發電及製造工業皆下降之趨勢推測應是全球金融危機所造成產業之產量及電力需求銳減所導致。然而，亞洲雖然略有受到影響，但並未有非常明顯的下降趨勢，可推測亞洲部份國家所受到金融危機影響可能較不嚴重。

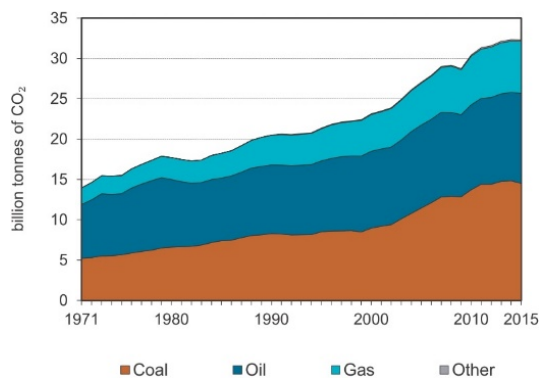


圖 3：全球歷年碳排放(依原料別)

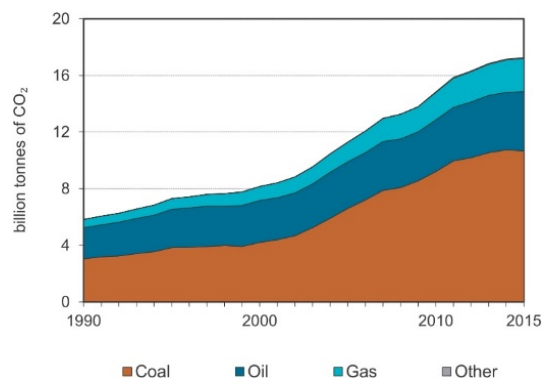


圖 4：亞洲歷年碳排放(依原料別)

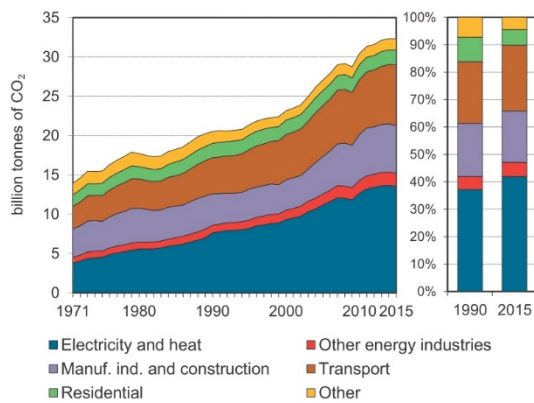


圖 5：全球歷年碳排放(依部門別)

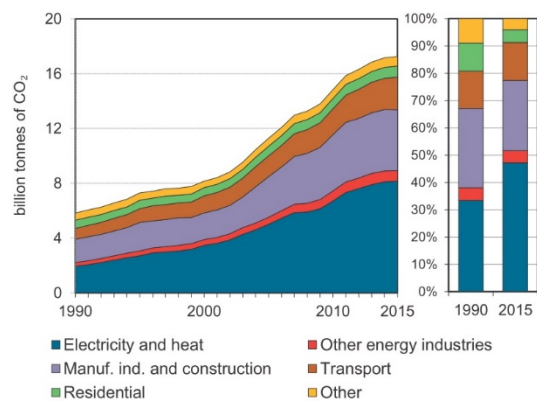
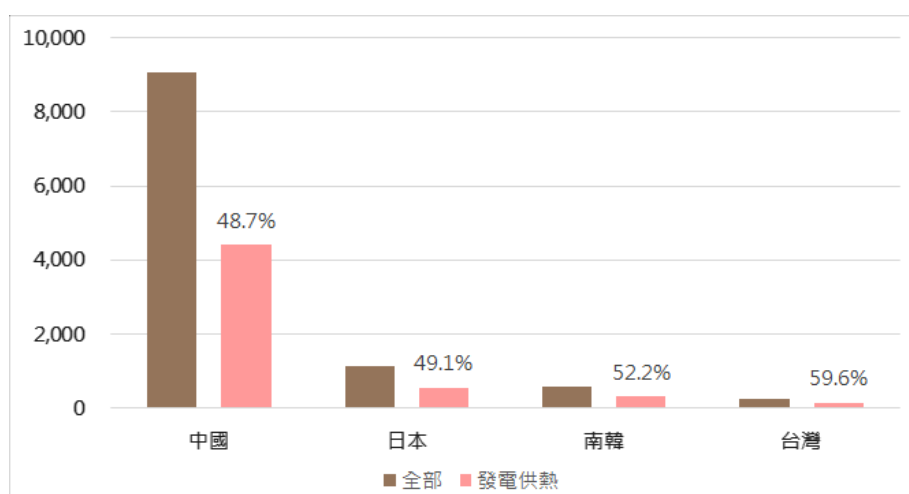


圖 6：亞洲歷年碳排放(依部門別)

另外，就我國與中日韓之碳排放量比較，發電供熱造成之碳排放皆占約一半各國總排放量，如圖 7 所示(直條圖上之數值為發電供熱所占該國碳排放總量之百分比)。中國無論碳排放總量或發電供熱造成之碳排放，皆遠高於台日韓，其中中國的發電供熱占亞洲區該部門的 54.3%。台灣發電供熱產生的碳排放占比較其他三個國家高，占了近 60%之碳排放量，然而就總量而言，台灣的碳排放總量仍較另外這三國家還低。為深入瞭解亞洲情況，本報告再針對我國與中日韓分別進行細部分析探討。



(數據來源：IEA (2008a)，本報告繪圖)

圖 7：2015 年碳排放總量、及發電供熱之碳排放量比較(單位：百萬噸)

(二) 台灣

我國 2015 年燃料燃燒造成之碳排放共 249.4 百萬噸，其中最大的來源仍然是發電與供熱部門，達 59.6%；且自 1990 年至 2015 年，發電供熱產生之二氧化碳成長了 258%，在圖 9 中顯示在 80 年代時期即開始有較高增加幅度，此一情況即反應出過去我國用電成長的情況，可對照台電公司所提供歷年發電量(圖 10)，顯示過去電力需求的快速增加。由於我國目前發電主要仰賴燃煤，發電與供熱之碳排放中，就有 107.9 百萬噸來自燃煤，占了其中的 72.6%。就整體而言，無論是發電供熱、交通運輸、製造業、工業與營建，都較 1990 年增長。

在 2008 年則可能由於金融危機的影響相當高，因此明顯反應在發電及製造工業碳排放的趨勢，亦反應在燃煤之碳排放量，如圖 8 和圖 9 所示。為印證此推測，同樣可對照台電歷年發電趨勢，在 2008 至 2009 年期間，燃煤與燃油之發電量顯著減少，也呈現類似全球碳排放量在該期間山谷型的趨勢。

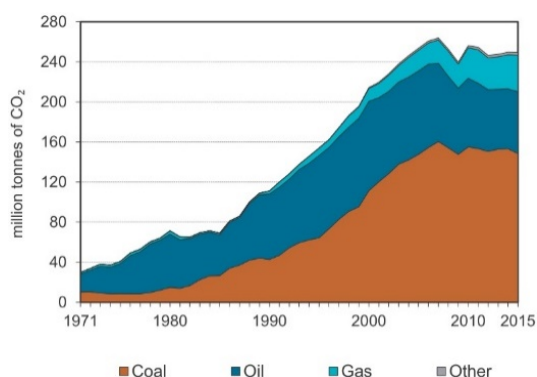


圖 8：台灣歷年碳排放(依原料別)

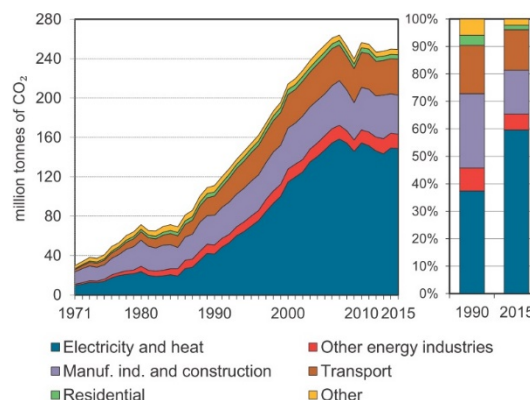


圖 9：台灣歷年碳排放(依部門別)

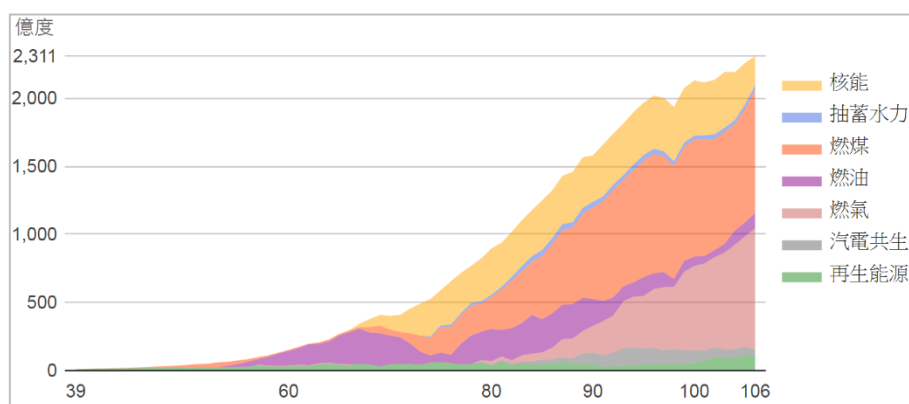


圖 10：台電歷年發電量(依來源別，民國年)(台灣電力公司，2018)

而我國近年因燃氣發電之推動，發電量與占比也提升，因此天然氣造成之碳排放量亦上升，但趨勢較緩，已遠低於燃煤所造成之碳排放，故整體的排放趨勢已經呈現平緩的情況。鑑於此，以燃氣取代燃煤以減少碳排放，是我國近年減碳政策的重要成果之一。另外，如就圖 10 發電量在歷年之配比，亦可發現我國化石能源較易受國際趨勢影響，進而影響到二氧化碳排放，例

如第二次能源危機開始，我國燃油發電即在後續幾年期間銳減，也反應在圖 8 碳排放之趨勢中，然而由於石化產業仍然會有燃油產生之碳排放，因此仍維持一定之排放量；而後續因燃煤與燃氣為主要發電，燃油之碳排放趨勢也未有明顯上升，甚至近年亦略為下降。

(三) 中國

中國在 2005 年時為世界第二大二氧化碳排放國家，而在 2007 年則已經成為世界最大排放源(IEA, 2009)，至今仍然是最大、且占全球排放量高達 28%。其碳排放量的高度成長也影響亞洲、乃至於全球整體碳排放量的增加，其中發電與供熱之碳排放量達 4,423.3 百萬噸，約為亞洲全區發電供熱的碳排放量 54.28%。然而由於中國仍屬開發中國家，根據《京都議定書》之內容，中國尚未有降低排放的義務(大紀元，2006)，因此仍多仰賴較便宜、高效的火力發電為主，以促進中國之經濟發展，直至近年中央政府提出相關政策，例如中國國家能源局於 2013 年制定計畫欲減少空污(McGrath, 2018)。

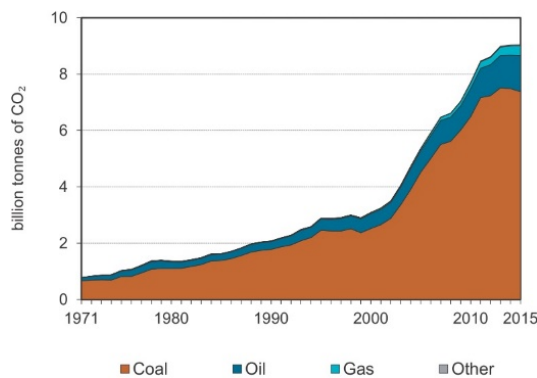


圖 11：中國歷年碳排放(依原料別)

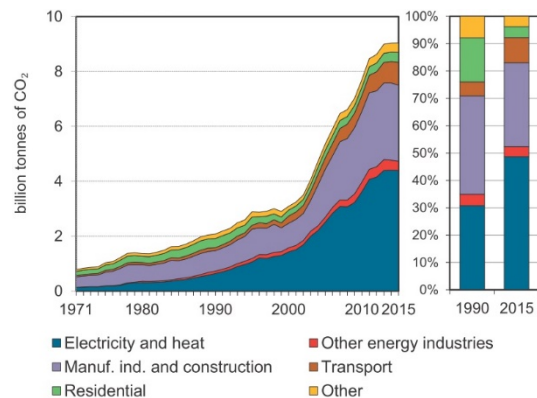
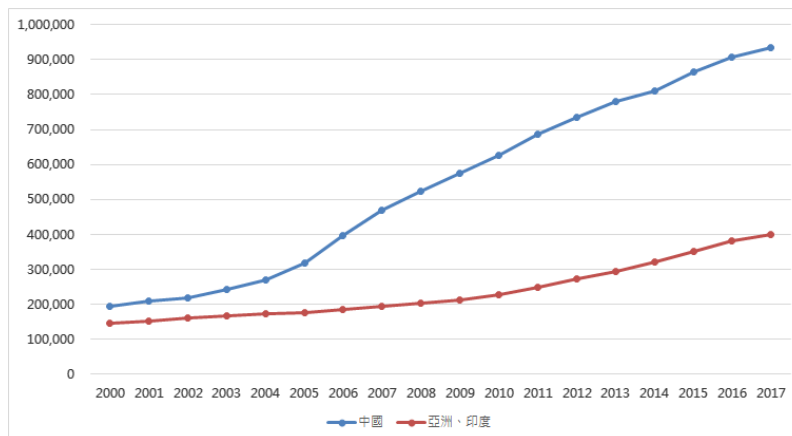


圖 12：中國歷年碳排放(依部門別)

就燃煤發電廠數量之成長趨勢觀察，Carbon Brief(2018)擷取 CoalSwarm 之數據所製作的全球歷年燃煤發電廠裝置容量圖表中，可以發現中國自 2005 年後燃煤電廠裝置容量逐年大幅提升，遠高於亞洲其他國家之成長幅度。本報告根據 Carbon Brief (2018)將中國與其他亞洲國家(含印度)之歷年燃煤電廠裝置容量整理，如圖 13 所示，中國在 2004 年開始有較高的增加

趨勢，在 2005 年即有 117 座燃煤火力發電廠被核准興建(大紀元，2006)；而在 2014 年至 2016 年期間在中國省級新批准的燃煤計畫也增加，肇因於中國將權力下放、燃煤電廠建設之審核批准權力轉移給地方當局(McGrath, 2018)。



(數據來源：Carbon Brief，本報告繪圖)

圖 13：中國與亞洲其他國家歷年燃煤電廠裝置容量比較(單位：MW)

圖 14 至圖 17 為截取自 Carbon Brief(2018)網站之地圖，分別列出 2000 年、2010 年、2017 年亞洲地區燃煤電廠分佈及裝置容量，以及未來將興建完成、或是計畫中的燃煤電廠。中國之燃煤電廠增加如前述，在近 20 年之間有非常高的增加量；另外如圖 17 所示，仍有許多正在興建(棗紅色)或計畫中的燃煤電廠(紫色)，亞洲地區包含中國、印度等國家興建中的燃煤電廠與機組共 188,200MW、計畫中的裝置量則高達 331,775MW。

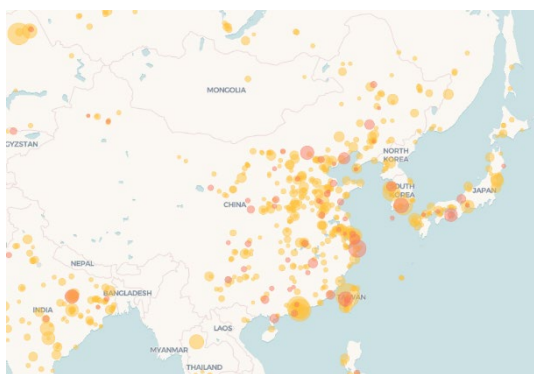


圖 14：2000 年亞洲區燃煤電廠裝置量

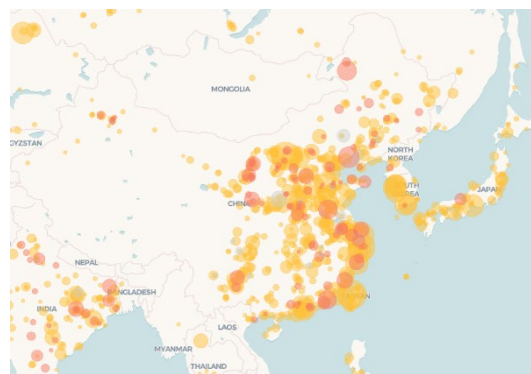


圖 15：2010 年亞洲區燃煤電廠裝置量

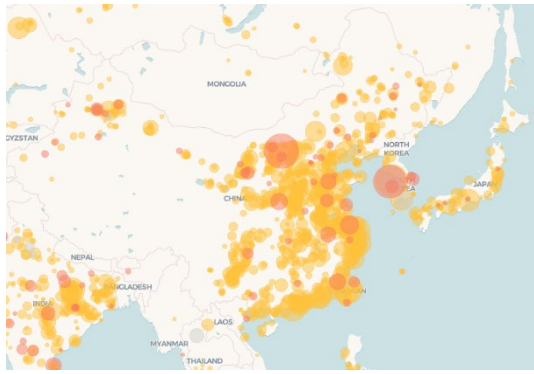


圖 16：2017 年亞洲區燃煤電廠裝置量

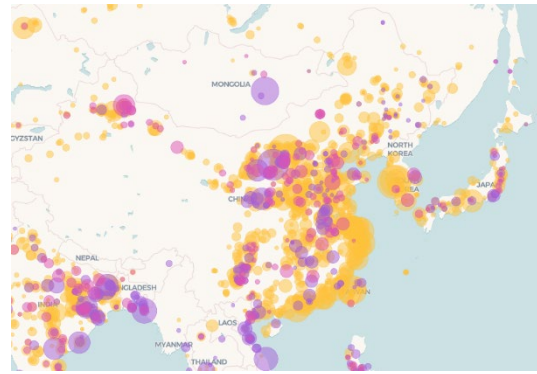


圖 17：未來預估亞洲區燃煤電廠裝置量

作為全球最大的碳排放國，中國需解決煤炭產能過剩及空污的問題。中國的燃煤電廠多數是老舊、高污染的電廠(大紀元，2006)，因此舊電廠與機組的汰換將會是重要的策略，在 Carbon Brief (2018)網站中也顯示中國歷年已淘汰許多燃煤電廠；而對於一般工廠，中國政府則在 2017 年啟動檢查計畫，勒令要求數千家違反污染規定的工廠停工或停產，包括陶瓷、化學、水泥等工業(Huang, 2018)。

中央政府也在 2017 年停止或延遲大約 150 個燃煤發電廠的相關建設計畫與工程(Shearer et al, 2018)，然而即便中央政府要求這些電廠暫緩建設、甚至欲禁止這些一共 57GW 的電廠併網，衛星影像中呈現有半數之廠址仍持續進行建設(McGrath, 2018)，顯示中央政府之命令似乎難以約束地方電廠建設的需求，尤其涉及推動地方經濟發展，部份地方政府往往將環境影響視為次要考量。

另外，中國在供熱層面之用煤量亦相當高，每年約需燃燒 3 億噸取暖用煤，占中國煤炭消費量 7%，因此中國也在 2017 年限制 30 個城市煤炭使用，以促使上百萬戶的家庭改用天然氣(Huang & Lahiri, 2018)；自 2017 年秋天，中國政府即持續推動與指導北方城市使用天然氣，替代煤炭來供熱(Shearer et al, 2018)。

(四) 南韓與日本

南韓 2015 年二氧化碳總排放量達 586 百萬噸，較 1990 年之排放量增

加 153%，而有近 52.2% 是來自發電供熱，而其中超過 80% 皆是燃煤所產生；自 1990 年至 2015 年，發電供熱即增長了 434% 的排放量。交通運輸產生了 97.1 百萬噸，也因此造成燃油總排放量的近 58.1%。然而其他如住宅與服務業部門，碳排放都已較 1990 年減少。

日本 2015 年總碳排放量 1,141.6 百萬噸，其中 40.1% 來自燃煤、37.3% 來自燃油，21.6% 來自燃氣；其中燃煤產生之二氧化碳有 68.8% 是發電與供熱、24.5% 來自製造業、工業與營造。雖然來自製造、工業與營造的碳排放自 1990 年至 2015 年已降低 24%，但由於發電供熱部門之碳排放量仍增長 41%，所以日本的整體碳排放仍然增加了 10%，發電供熱則造成將近一半的排放量。燃油產生之二氧化碳則幾乎都來自於交通運輸，達 207.6 百萬噸。住宅部門碳排放量則較 1990 年微幅減少 8%。

日韓兩國歷年碳排放之趨勢與成長幅度與亞洲全區、台灣、中國都有相當大的差異——南韓自 1971 年起有相當高的成長幅度，而日本整體的成長幅度較緩，然而兩者也都有在特定時期顯示較大的波動。

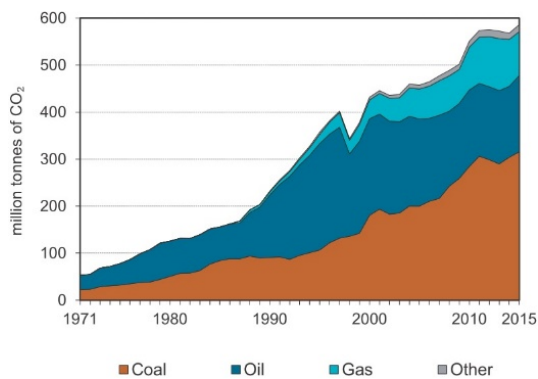


圖 18：南韓歷年碳排放(依原料別)

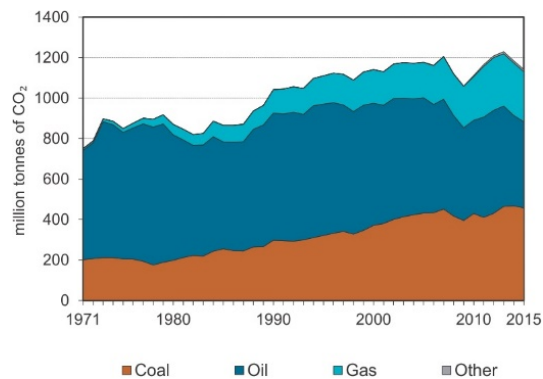


圖 19：日本歷年碳排放(依原料別)

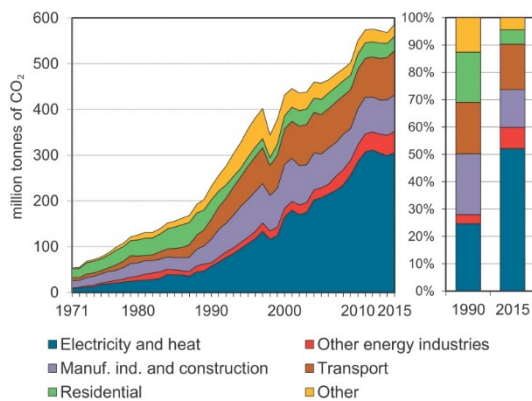


圖 20：南韓歷年碳排放(依部門別)

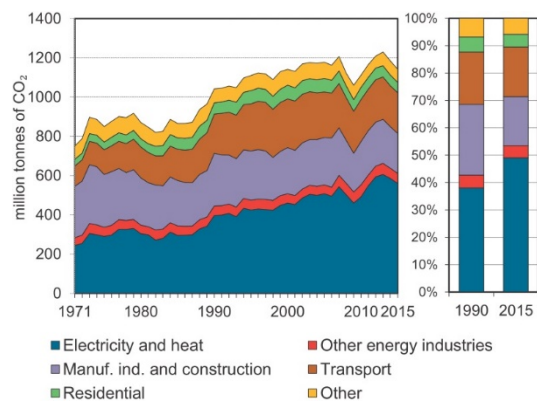
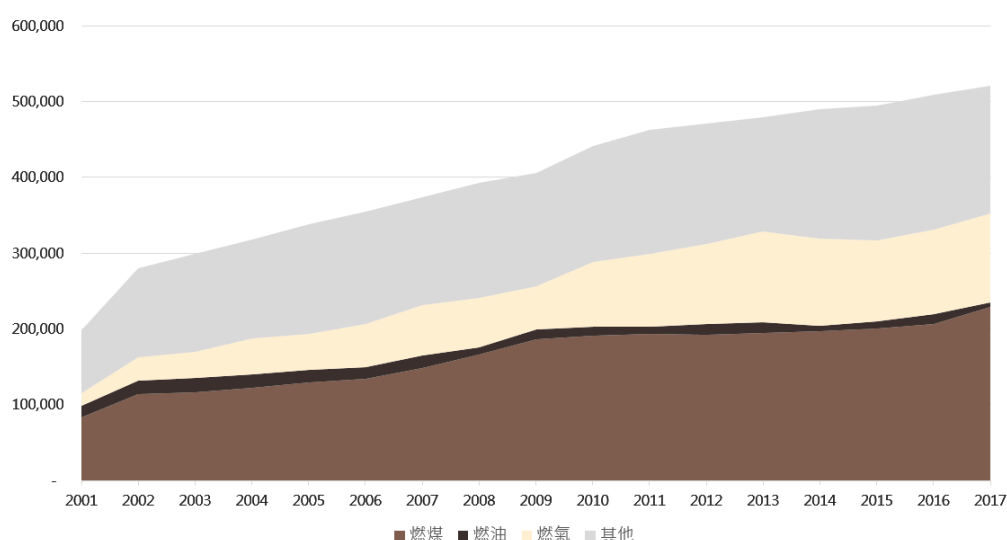


圖 21：日本歷年碳排放(依部門別)

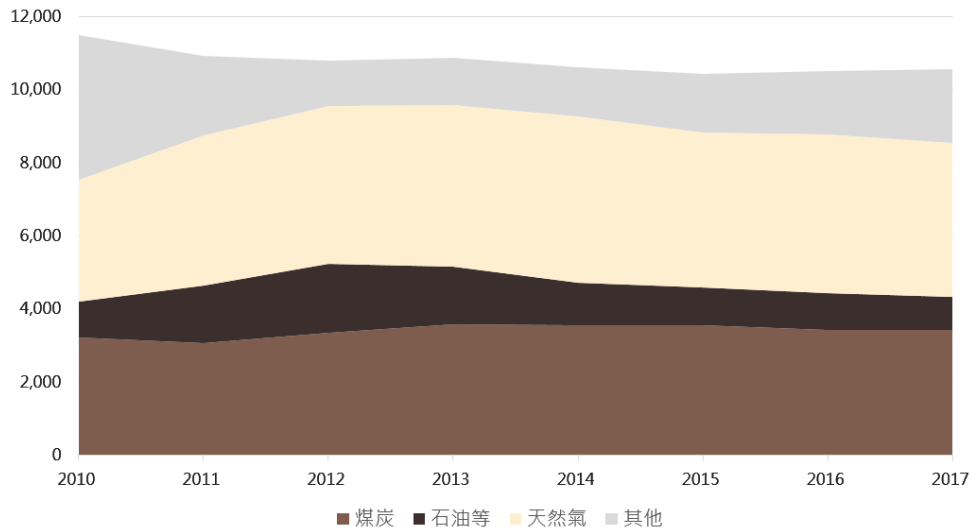
南韓與日本過去碳排放趨勢整體是上升，對照此二個國家的歷年發電量，如圖 22 與圖 23。南韓燃煤發電在 2001 年之後主要呈增加趨勢、而燃油發電則較具波動，整體僅微幅降低，燃氣則是有相當高的成長，而這些也部份反應在不同原料的碳排放趨勢中。



(數據來源：Korea Power Exchange, 2018；本報告繪圖)

圖 22：南韓歷年發電量(百萬度)

日本則是在 2010 年之後整體發電量下降，然而主要減少的是核能發電，肇因於 2011 年福島核災發生後對於核電的不信任，甚至在 2014 年核能發電量降為 0%(經濟產業省資源エネルギー庁, 2018b); 在核能發電量降低時，燃油、燃氣皆增高，而燃煤則在 2012 年也提高，尤其在 2011 年至 2013 年提高燃油發電量，所造成之碳排放量即明顯反應在趨勢上。而後則再降低燃油占比、以燃煤與燃氣為主要電力來源，使燃油造成的高碳排放能夠再逐年降低；天然氣發電量同樣呈增加趨勢至 2014 年，之後則微幅減少。因此，日本整體燃料燃燒造成之碳排放也在後面幾年呈現較大起伏，圖 21 亦可發現發電供熱造成之碳排放量的明顯起伏趨勢。

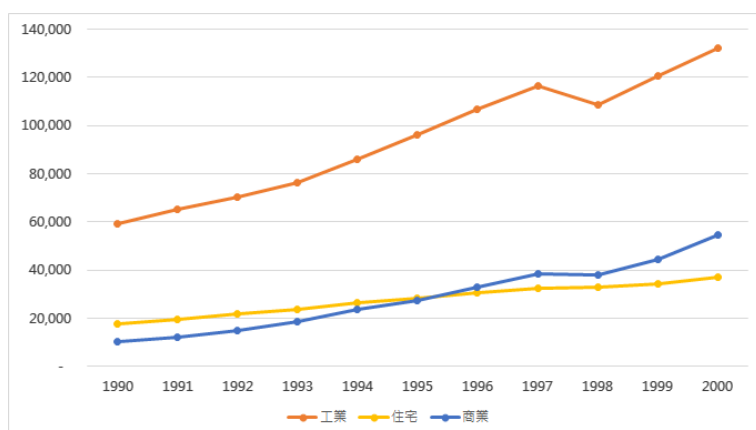


(數據來源：經濟產業省資源エネルギー庁, 2018b；本報告繪圖)

圖 23：日本歷年發電量(億度)

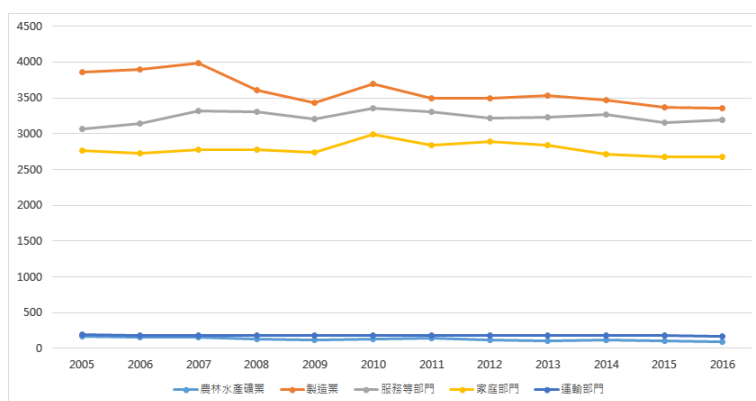
參考圖 18 至圖 21 之趨勢，亦可發現南韓主要在 1998 年有明顯的降幅、而日本則與台灣趨勢相似，在 2008 年碳排放量呈現明顯減少的山谷形。本報告推估南韓在 1998 年碳排放量之所以大幅下降，同樣是受產業與經濟影響，由於 1997 年適逢東南亞金融風暴，在年底延伸至東北亞，南韓深受影響，也因此造成 1998 年電力需求與供給皆下跌的情況。本報告也擷取 KEEI 之數據資料(Korea Energy Economics Institute, 2017)，整理如圖 24 所示，1998 年工業、商業的電力消費皆減少，尤其工業較 1997 年減少 6.5%，也反應出金融危機當年對南韓之影響。此情況亦可由圖 20 觀察，發電與供熱的碳排放量有明顯的下滑。

相較之下，日本雖然在 1998 年時也受金融風暴影響，然而更嚴重的則是在 2008 年全球金融危機造成的產業衰退，進而間接影響連續兩年溫室氣體排放量下降(環境省，2010)，本報告亦參考經產省公開之數據(經濟產業省資源エネルギー庁，2018a)繪製圖 25，亦可發現日本製造業的電力需求在 2008 與 2009 年大幅下滑，也與圖 21 在 2008 年電力與供熱、製造碳排降低的現象相應。韓國則由於 1998 年金融危機洗禮之後，已具能夠較快從金融危機中恢復的能力，因此並未如日本深受國際情勢影響。



(數據來源：Korea Energy Economics Institute, 2017；本報告繪圖)

圖 24：南韓自 1990 年至 2000 年電力消費比較(百萬度)



(數據來源：經濟産業省資源エネルギー庁，2018a；本報告繪圖)

圖 25：日本自 2005 年至 2017 年電力消費比較(億度)

(五) 美國

在 2006 年時，美國還是全球最高碳排放國家；即便後來中國成為最高碳排放國，美國直至 2015 年亦仍高居第二名，當年一共排放 4,997.5 百萬噸二氧化碳。其排放來源有 39.7% 來自發電與供熱、35.1% 來自運輸。若以原料別區分，造成碳排放量最高的是燃油，高達 41.3%，排放 2,062 百萬噸的二氧化碳，而其中有大部份都是來自交通運輸，達 1,713 百萬噸。燃煤的排放則絕大部份來自發電及供熱；燃氣之碳排放同樣有一大部份來自於發電供熱，但製造工業與營建部門也占了燃氣 19.1%、共 276.9 百萬噸的碳排放量。

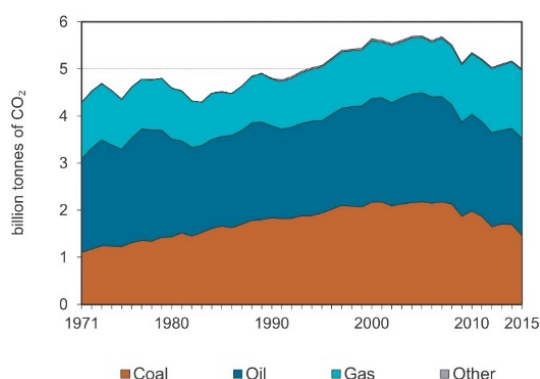


圖 26：美國歷年碳排放(依原料別)

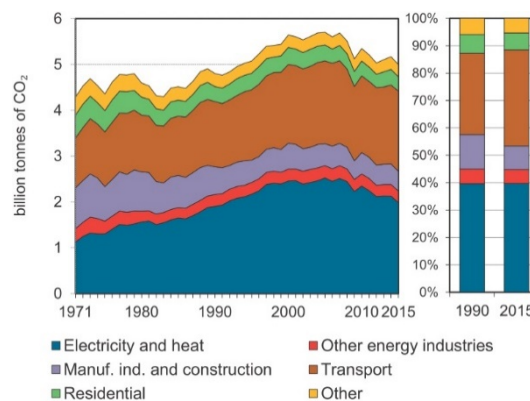
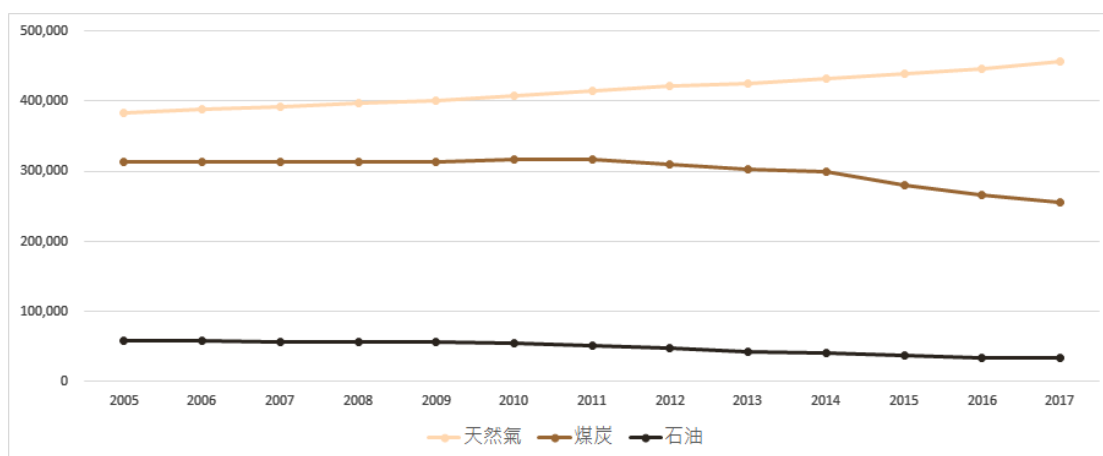


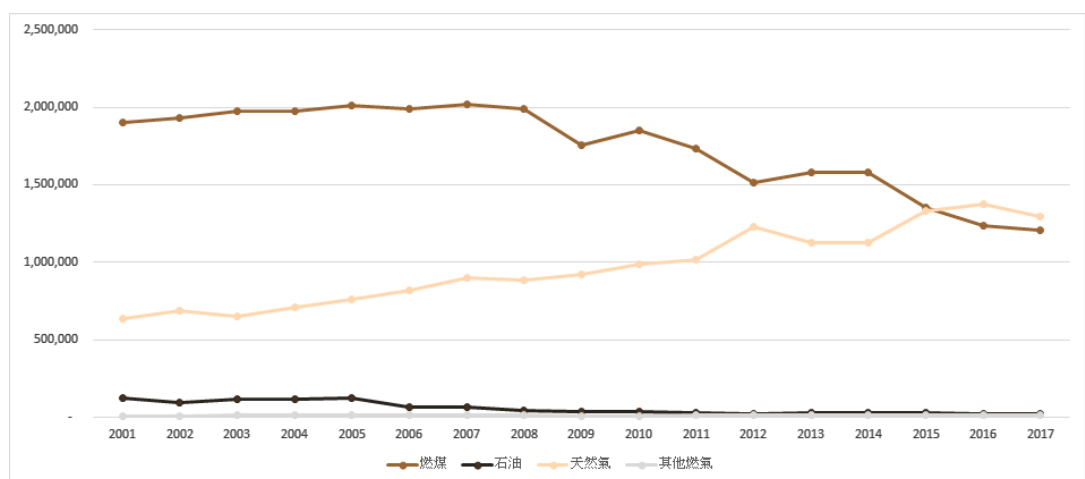
圖 27：美國歷年碳排放(依部門別)

如就發電供熱部門而言，主要碳排放仍以燃煤為主要來源，占約 69%，因此欲改善碳排放，燃煤發電是一個重要的標的；2009 年美國眾議院通過潔淨能源與安全法案，其中也訂定新型燃煤電廠效率標準、推動碳捕集與封存之先期示範計畫、與規劃建立產業能源效率標準等(柯亮群，2009)。此外，由於燃煤基載電廠的資本成本在 21 世紀初有較高漲幅，與燃氣複循環發電廠相比下成本優勢已減少(Chupka & Basheda, 2007)。因此，如圖 28 與圖 29 所示，無論是裝置容量與發電量，燃煤在近 10 年大略呈快速下降的趨勢，而天然氣則相對提升，甚至 2016 年燃氣發電量已超越燃煤，因此發電供熱造成之碳排放也明顯呈現下降趨勢，顯見以氣代煤對於減碳的確產生實際成效。



(數據來源：Energy Information Administration, 2018a；本報告繪圖)

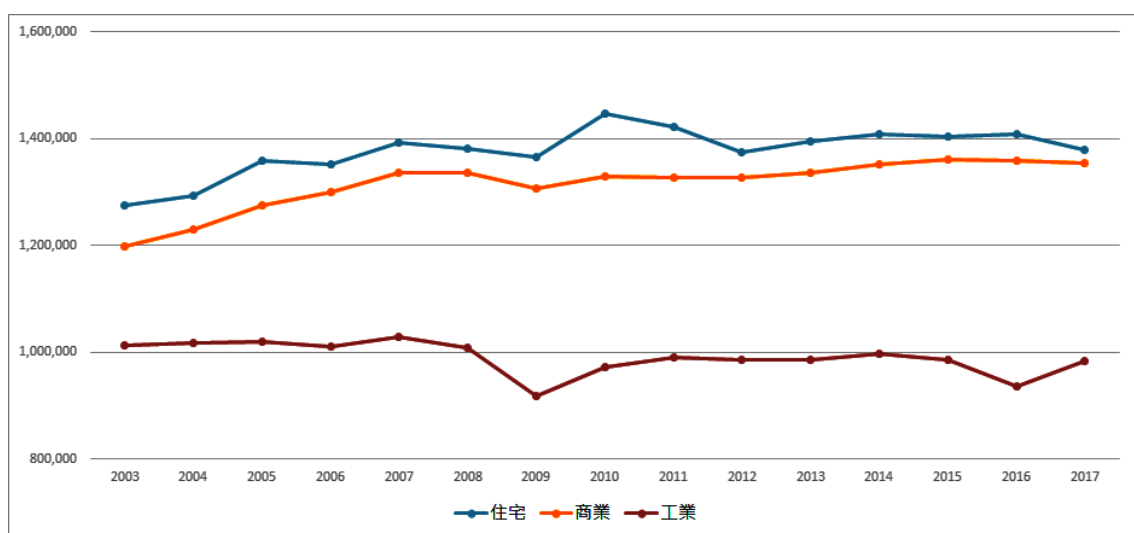
圖 28：美國歷年化石燃料發電裝置容量(MW)



(數據來源：Energy Information Administration, 2018a；本報告繪圖)

圖 29：美國歷年化石燃料發電量(百萬度)

觀察碳排放趨勢亦可發現在 2009 年有明顯的起伏。2008 年美國遭遇次貸金融危機，如圖 30 所示，尤其工業受到之衝擊明顯反應在 2009 年的電力需求(EIA, 2018a)，也可能間接反應在 2008、2009 年發電造成之碳排放量下降，如圖 27 之趨勢顯示 2009 年呈現山谷型；且主要影響的是燃煤發電，在圖 29 中顯見燃煤發電量在 2009 年有較明顯的降低，也因此煤炭造成之碳排放也相應減少。



(數據來源：Energy Information Administration, 2018a；本報告繪圖)

圖 30：美國歷年用電需求(依部門別)(百萬度)

(六) 法國、英國與德國

以下則分別分析說明法國、英國與德國的碳排放情形。這三個國家整體的碳排放皆有相當高的降幅，且煤炭產生之二氧化碳也是下降趨勢，而就不同原料或部門的趨勢而言，也可推估不同的當年時事、影響原因。

首先法國的歷年碳排放如圖 31 及圖 32，在 2015 年總整體碳排放為 290.5 百萬噸，與 1990 比較已減少 16%。其中交通運輸為所有部門碳排放量最高，占 42.1%；原料之中同樣是以燃油最高，占 60.4%，其中 69.6%即是來自於交通運輸。與本報告所分析之其他國家相比，法國來自發電供熱的碳排放量相對低了许多，在 2015 年僅占 11.2%。

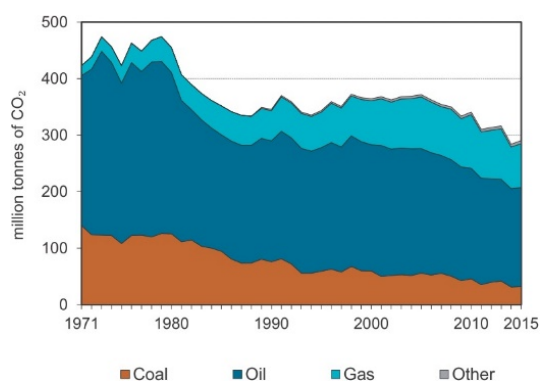


圖 31：法國歷年碳排放(依原料別)

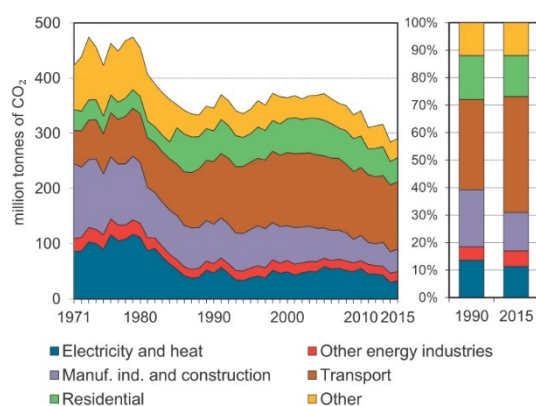
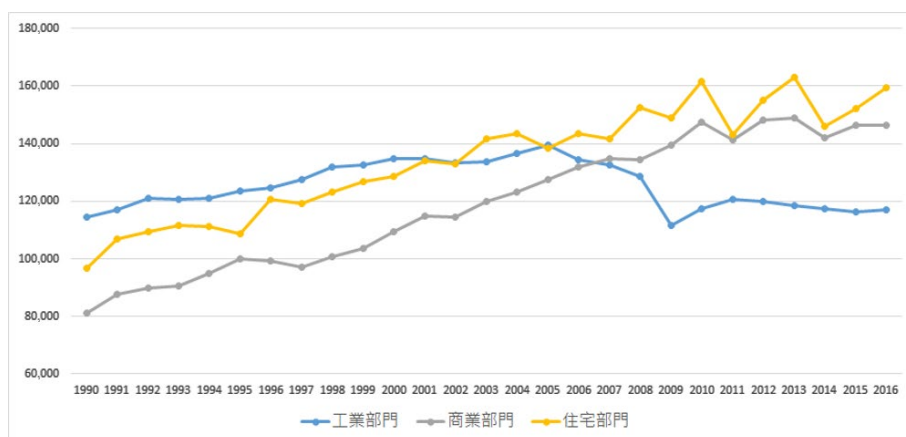


圖 32：法國歷年碳排放(依部門別)

根據法國生態與團結轉型部之資料(Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2017)，法國工業電力需求在 90 年代逐步上升至 2005 年，而 2009 年應同樣受到全球金融危機影響而驟降。圖 34 為美國能源情報署(Energy Information Administration, EIA)提供之全球發電資料(EIA, 2018b)，本報告查詢法國核能與化石燃料發電之歷年趨勢，可發現自 1980 年代起，法國就積極發展核能發電，而火力發電量也逐步降低乃至趨緩，自 1990 至 2015 年也達到發電供熱之碳排放減少 31%之成效。此外，2008 年亦受到全球金融危機影響，然而其發電量減少主要仍反應在核能發電，火力發電較未受到金融危機影響產生大幅度變動，因此也較未反應在碳排放之趨勢上。法國在 2017 年僅剩下 4 座燃煤電廠，裝置容量為 3,162MW，如圖 35 所示(Carbon Brief, 2018)，因此法國因發電產生之碳排放比例也較低。



(數據來源：Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2017；本報告繪圖)

圖 33：法國歷年電力需求(依部門別)(百萬度)

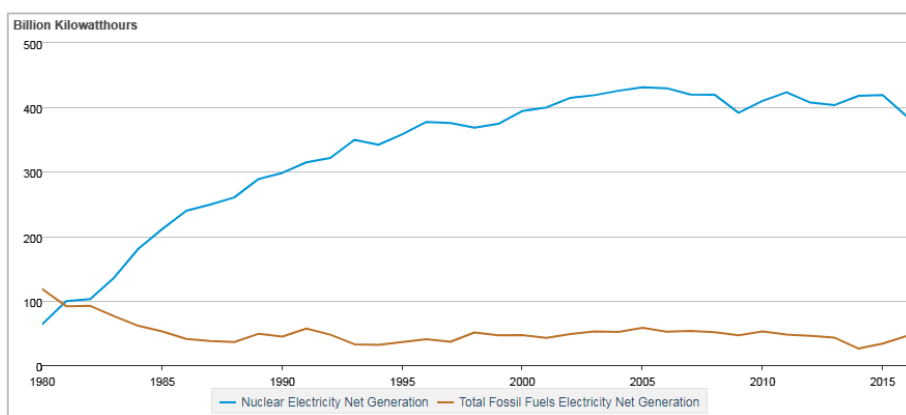


圖 34：法國歷年核能與化石燃料發電量比較(U.S. EIA, 2018b)

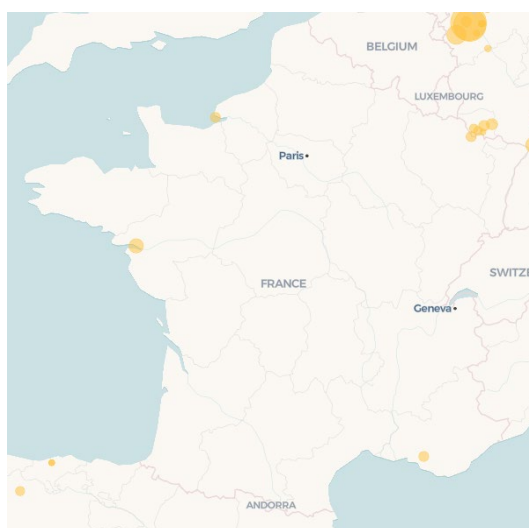


圖 35：法國燃煤電廠 2017 年分布(Carbon Brief, 2018)

英國 2015 年碳排放總量為 389.8 百萬噸，相較於 1990 年減少 29%。其中仍以發電供熱及交通運輸最高，分別排放 122.9 百萬噸(31.5%)、118.1 百萬噸(30.3%)，然而發電供熱已較 1990 年減少 44%，且主要是因為燃煤減少；反之交通運輸微幅增加 3%排放量，且其碳排放即占了燃油總排放量 154.1 百萬噸中的 76.6%，足見交通運輸對於英國碳排放之影響。

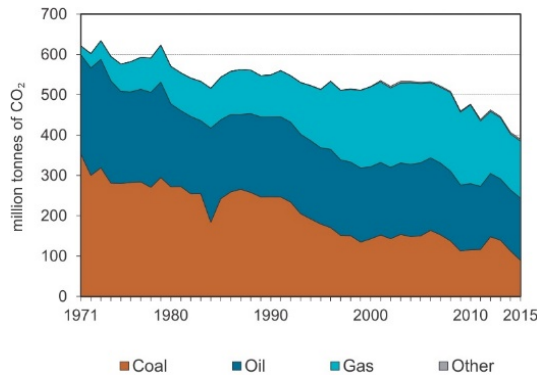


圖 36：英國歷年碳排放(依原料別)

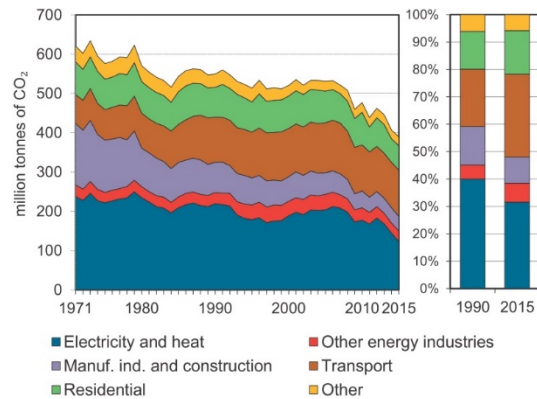


圖 37：英國歷年碳排放(依部門別)

就圖 36 之歷年趨勢觀察，1984 年因煤炭造成的碳排放趨勢呈現明顯的谷型，該情形也與圖 38 之歷年煤礦產量趨勢符合，可發現 1984 年的產量驟降；主要之原因可能是由於當年開始的礦工大罷工，而影響 1984、1985 年的產量，因此煤炭造成的碳排放量也隨之降低。而後來在 90 年代煤礦產量又呈下降趨勢，根據 BBC 之報導，1992 年英國貿易部(Board of Trade)宣布將關閉 31 座深煤礦場，且電業私有化之後，當地煤炭也逐漸被進口煤、以及天然氣所取代。此外，英國在政策上也訂定減煤的目標，例如 2011 年的《碳計畫(Carbon Plan)》(HM Government, 2011)中即規劃要關閉燃煤電廠，並主要由天然氣及再生能源取代，而燃氣及燃煤電廠也需具備碳捕集之技術，因此歷經初期轉型的過渡期之後，燃煤發電量也持續下降(圖 39)、並減少煤炭造成的碳排放，這樣的成果也顯示在圖 37 近年發電與供熱產生的碳排放快速下降。

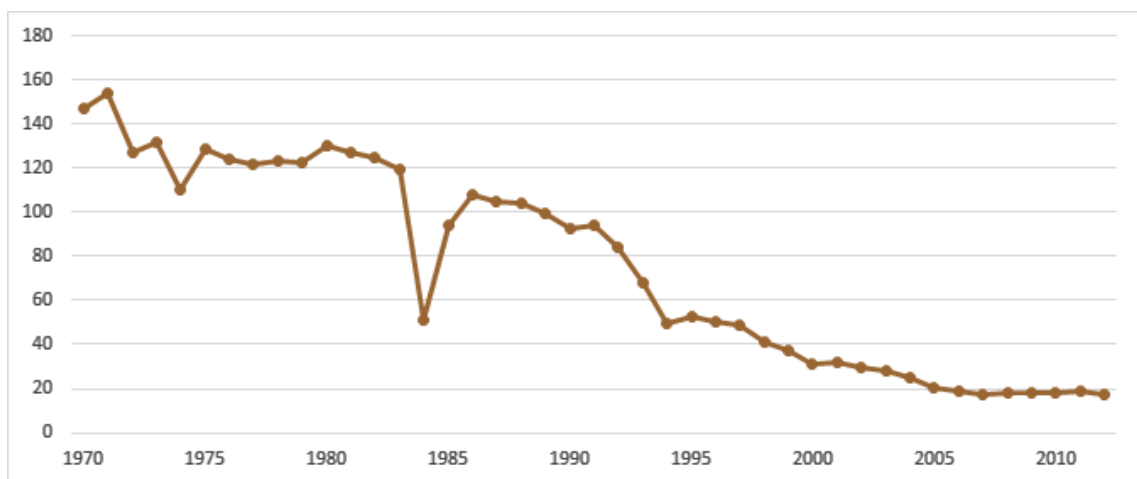


圖 38：英國歷年煤礦產量 (GOV.UK, 2013) (百萬噸)

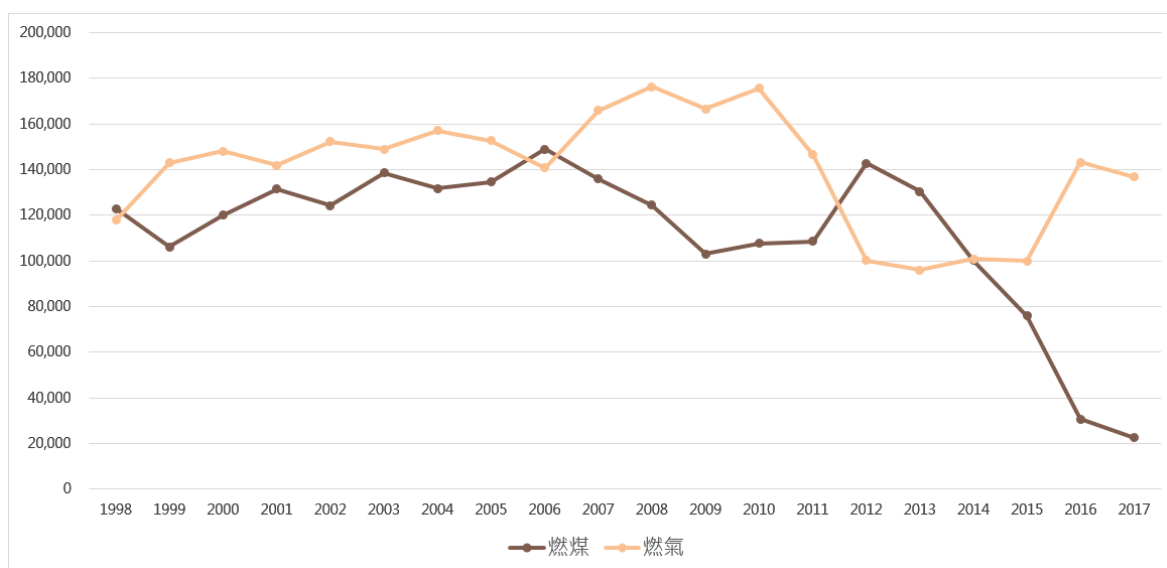


圖 39：英國歷年燃煤、燃氣發電量(GOV.UK, 2018) (百萬度)

德國在 2015 年碳排放總量為 729.8 百萬噸，已較 1990 年之排放量減少 22%，其中製造工業與營造減碳幅度達 40%；住宅部門與服務業部門則分別減少 34%、31%；發電與供熱亦已減少了 15%。依原料別區分，2015 年碳排放來源最高的仍是燃煤，達 316.2 百萬噸，占總排放量的 43.3%，其中有 84.2%是用於發電及供熱；燃油之碳排放則高達 242.4 百萬噸，占總排放的 33.2%，其中有 64.6%用於交通運輸。

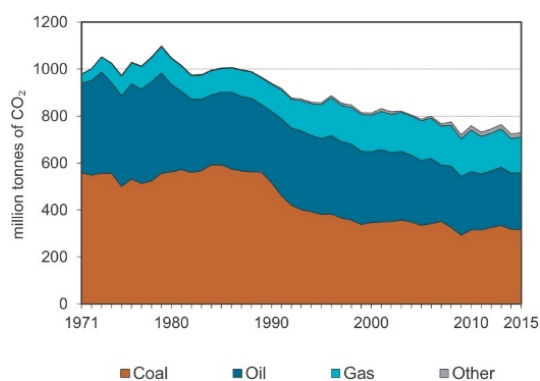


圖 40：德國歷年碳排放(依原料別)

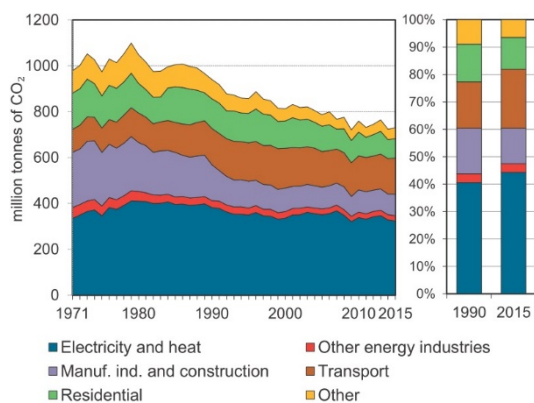
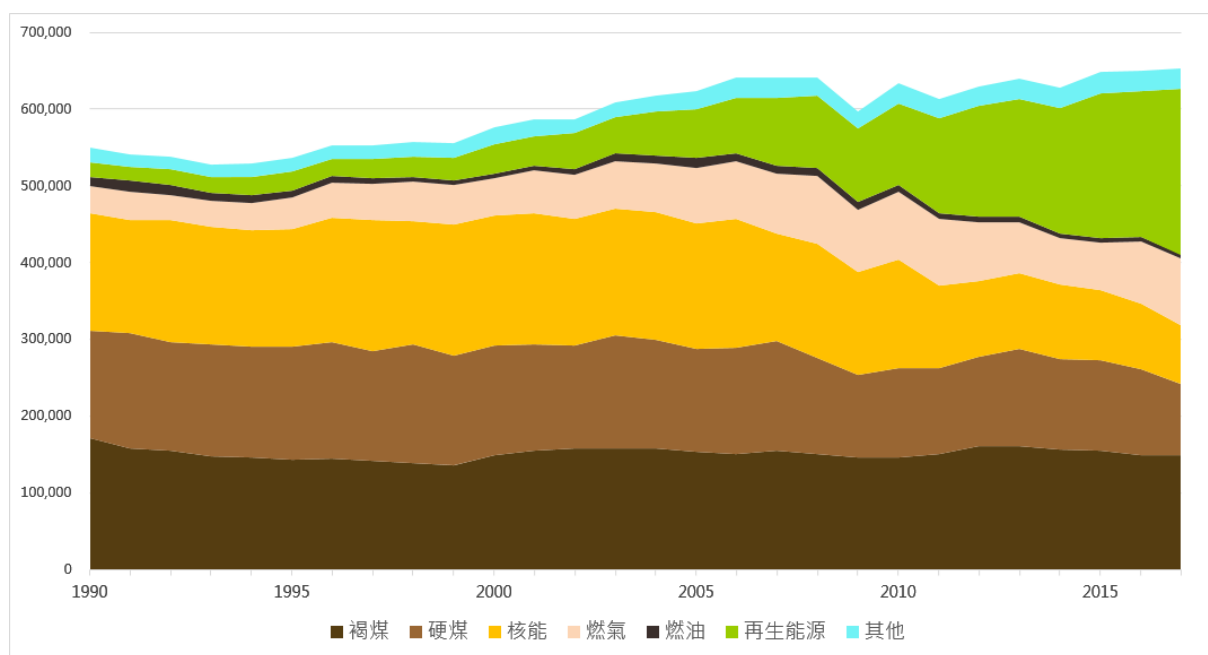


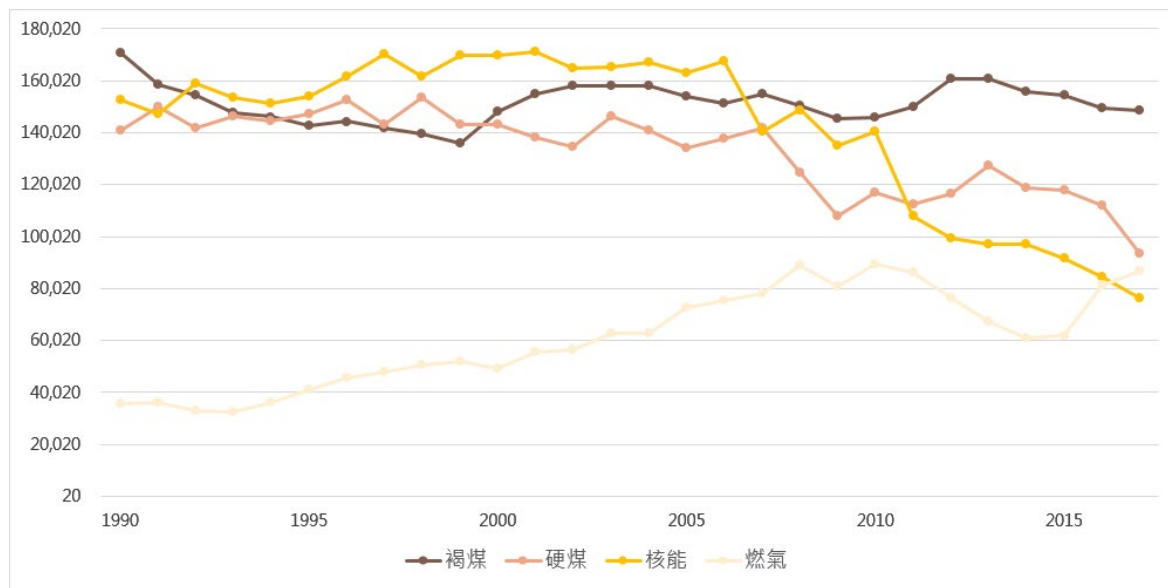
圖 41：德國歷年碳排放(依部門別)

圖 42、圖 43 為本報告擷取 AGEB (2018)之數據資料，整理、比較德國歷年不同來源發電量。歷年發電量主要呈緩上升的趨勢，其中褐煤沒有較大的波動，仍微幅上升，硬煤波動較大，整體發電量則是減少趨勢，相對的燃氣發電整體上升，因此在其減核的趨勢下，碳排放整體仍然有微幅下降。



(數據來源：AGEB, 2018；本報告繪圖)

圖 42：德國歷年累積發電量(依原料別) (百萬度)



(數據來源：AGEB, 2018；本報告繪圖)

圖 43：德國歷年發電量(依原料別)(百萬度)

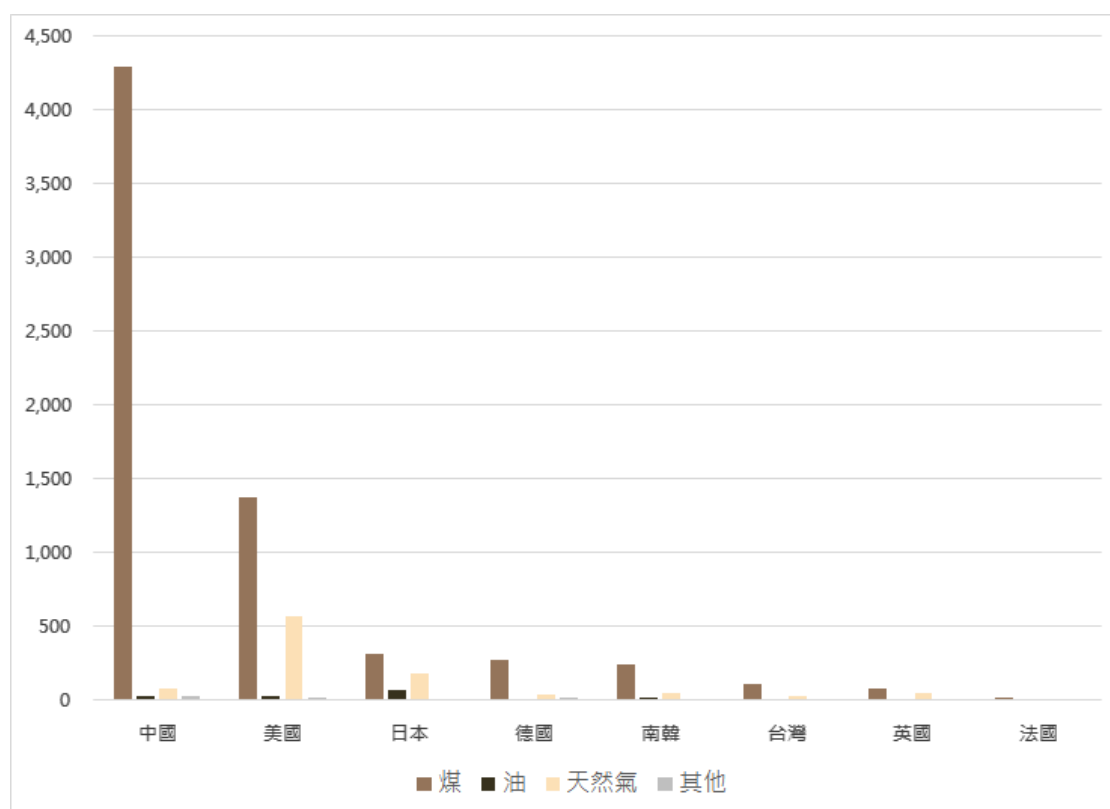
自工業褐煤開採以來，德國截至目前一直是世界上最大的褐煤生產國，其次是中國、俄羅斯和美國(Appunn, 2017)。過去德國燃煤的變動較小，尤其褐煤僅微幅降低，雖然褐煤較軟、較潮濕(因此也稱為軟煤)，燃料價值低於硬煤，且因不在地下開採、而是露天開採，也較硬煤有更高的二氧化碳密集度，只是因為成本低、在發電站附近開採、生產和使用較便宜，且在歐盟排放交易體系(European Emissions Trading System, EU ETS)之碳排放權交易金額也相當低廉。過去煤礦對東德的工業來說不可或缺，西德使用褐煤同樣行之有年，甚至也成為電力公司 RWE 崛起的原因之一。雖然東、西德在 1990 年統一後，許多礦山和電廠因無利可圖，而在幾年內關閉，但由於德西在 1990 年後已減少燃煤電廠的投資，因此德東電廠仍延長其營運期間。德國的硬煤開採則在 2018 年 12 月 21 日正式結束(Appunn, 2018)，位於北萊茵-西發利亞邦的最後兩個硬煤礦場已於 2018 年關閉，主要原因之一是缺乏經濟效益，例如魯爾的煤炭因位於地質深處和地質複雜的地區，開採成本高。然而開採結束，硬煤發電仍然還會持續，目前仍有 21GW 的硬煤燃煤電廠，也會透過進口俄羅斯、美國、澳洲、波蘭等國家的煤炭原料。

德國在後續則會朝向減煤減核的方向邁進，也將會由「經濟成長、結構變動與就業委員會 (Commission on Growth, Structural Change and

Employment)」來規劃未來燃煤發電逐步歸零；另一方面，再生能源則持續發展與增加發電占比，因此雖然用電與供熱的碳排放量減少之趨勢較緩，但後續應仍會逐步下降。而德國碳排放減少的另一原因，則仍然是經濟與產業之影響，包括全球化趨勢衝擊而使市場受到瓜分，生產線也因歐盟東擴而外移(李秋錦，2007)，所以可能也間接成為製造業、工業等碳排放降低的影響因素，在 1990 年後也呈現下降趨勢，如圖 41 所示；然而這並不意味二氧化碳排放的實際減少，僅是轉移至其他國家。

三、結論

本報告由 IEA(2018a)出版之《2017 年燃燒燃料之二氧化碳排放》中的數據與圖表進行分析，並選擇台灣、中國、南韓、日本、美國、法國、英國、德國碳排放趨勢進行深入分析。根據原料別與部門別碳排放數據，台灣、南韓發電供熱造成碳排放超過總排放量的 50%，中國、日本也幾乎達 50%，而這些國家發電供熱中仰賴燃煤所產生之碳排放除日本為 56.3%之外，皆超過 70%，甚至中國高達 97%，總量也遠超出其他國家，如圖 44 所示。美國、德國發電供熱之碳排放則占其總排放量約四成，其中同樣多數來自燃煤。而台灣、中國、南韓、美國在近年提高天然氣，並減少燃煤發電量，對於改善碳排放亦展現顯著成果；日本由於福島核災事件減核，初期因燃油造成高排放，後來同樣也提高天然氣以改善發電之碳排放。英國發電配比也在過去減少燃煤發電占比、德國則是受成本影響，維持褐煤、減少硬煤燃燒，但同時還降低核電，提升天然氣擔負減碳與供電的角色。



(資料來源：CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017 (IEA, 2018a)，本報告整理)

圖 44：2015 年供電與供熱之碳排放(依原料別)(單位：百萬噸二氧化碳)

為了改善發電供熱部門中燃煤所產生的高碳排放量，部份國家如本報告之分析對象中，有採用提高天然氣、減少燃煤的作法，顯示其減碳的成效；而全球新建的燃煤電廠數量目前也已在近年下降，2018 年新建成的燃煤電廠較 2017 年少 28%、較 2016 年少 41%；而開始興建的燃煤電廠數量則較 2017 年少 29%、更較 2016 年減少 73%(Shearer et al, 2018)。歐美同樣也將許多舊燃煤電廠除役，整體數量也較 2000 年減少，然而亞洲仍然是增加趨勢，尤其中國與印度，如圖 45 所示(Carbon Brief, 2018)。因此，未來如要改善燃煤發電所造成之碳排放，甚至對於空污的防治，亞洲將會是重點改善區塊；而我國即便整體碳排放未及中、日、韓，除了本身能源效率提升、並以燃氣取代燃煤減少碳排放與空污之外，也仍勢必要面對與處理境外飄入的大量空污、懸浮粒子，以確保國民的安全與健康。

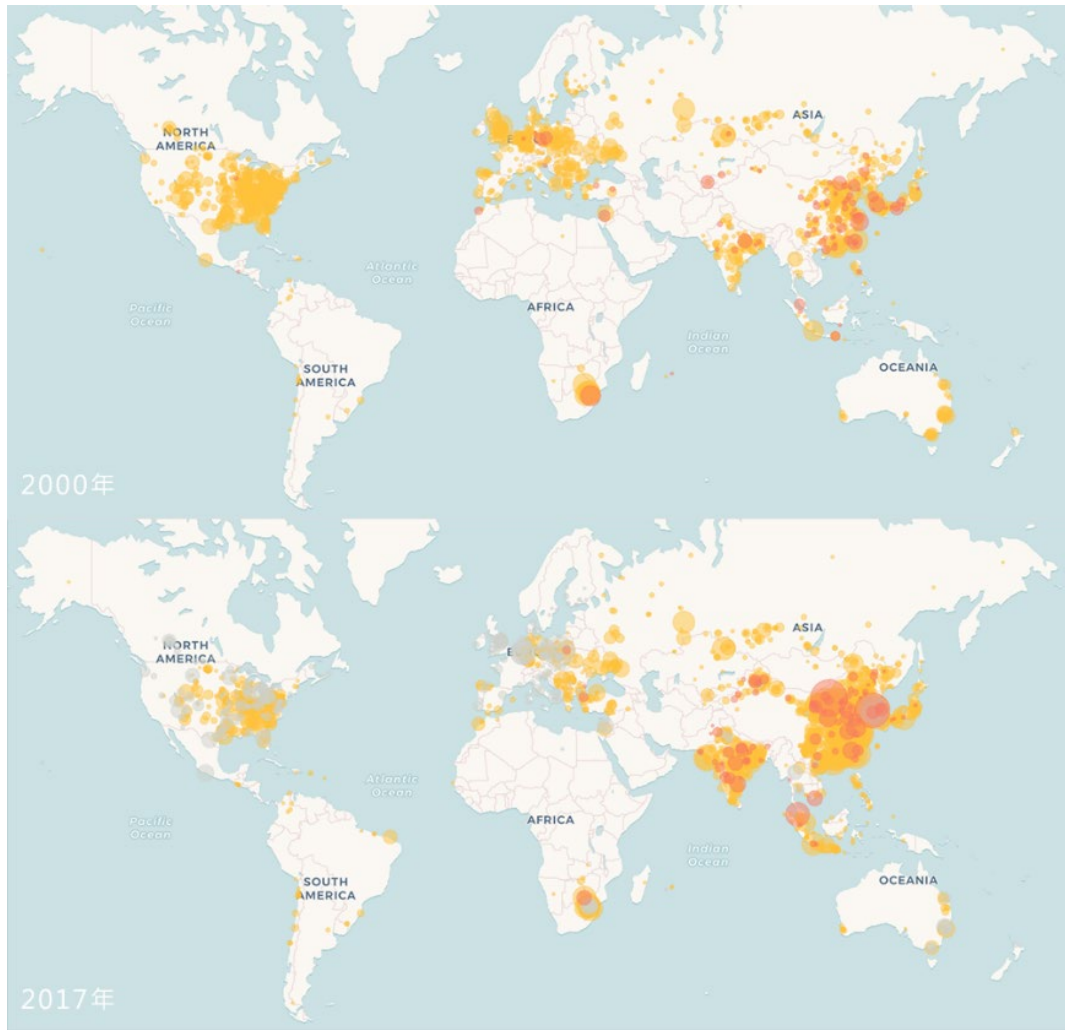


圖 45：2000 年與 2017 年全球燃煤電廠裝置量變化(Carbon Brief, 2018)

本報告也另外就碳排放逐年趨勢中較明顯之升降幅度進行探究，對照相關數據如歷年發電量、部門電力需求、燃煤電廠數量等，也發現國際情勢、經濟狀況對於電力供需、燃料產量之影響，進而也會反應於二氧化碳排放趨勢。此結果也印證改善碳排放需要考量多重因素，包括經濟、政治、電力供需、產業結構、原料與相關資源供需等，各國的情境仍有諸多不同，必須要作全盤之考量，而非只針對單一問題點提出解決方法。

參考資料

- [1] AGEB (2018). Stromerzeugung nach Energieträgern 1990 - 2017.
<http://www.ag-energiebilanzen.de/4-1-Home.html>
- [2] Appunn, K. (2017). Coal in Germany.
<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/coal-germany>
- [3] Appunn, K. (2018). Germany bids farewell to domestic hard coal mining.
<https://www.cleanenergywire.org/news/germany-bids-farewell-domestic-hard-coal-mining>
- [4] BBC. 1992: Thousands of miners to lose their jobs.
http://news.bbc.co.uk/onthisday/hi/dates/stories/october/13/newsid_2532000/2532765.stm
- [5] Carbon Brief (2018). Mapped: The world's coal power plants.
<https://www.carbonbrief.org/mapped-worlds-coal-power-plants>
- [6] Chupka, M. & Basheda, G. (2007). Rising Utility Construction Costs: Sources and Impacts. Prepared for: The Edison Foundation.
- [7] Energy Information Administration (2018a). Electric Power Annual 2017.
<https://www.eia.gov/electricity/annual/>
- [8] Energy Information Administration (2018b). International Energy Statistics.
https://www.eia.gov/beta/international/data/browser/#/?pa=00000000000000000000000000000007vu&c=000000000000000004&ct=0&tl_id=2-A&vs=INTL.27-12-FRA-BKWH.A~INTL.28-12-FRA-BKWH.A&vo=0&v=T&end=2016
- [9] GOV.UK (2013). Historical coal data: coal production, availability and consumption.
<https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/historical-coal-data-coal-production-availability-and-consumption>
- [10] HM Government (2011). The Carbon Plan: Delivering Our Low Carbon Future.
<https://www.gov.uk/government/publications/the-carbon-plan-reducing->

greenhouse-gas-emissions--2

- [11]Huang, E. (2018). Pollution data from 2017 show China wavering between GDP growth and clean air.
<https://qz.com/1177395/pollution-data-by-greenpeace-from-2017-show-china-wavering-between-gdp-growth-and-clean-air>
- [12]Huang, E. & Lahiri, L. (2018). As China greens its economy, these people, businesses, and nations will feel the pinch.
<https://qz.com/1152575/as-china-greens-its-economy-these-people-businesses-and-nations-will-feel-the-pinch/>
- [13]IEA (2007). CO2 Emissions from Fuel Combustion 2007
- [14]IEA (2009). CO2 Emissions from Fuel Combustion 2009
- [15]IEA (2018a). CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017
- [16]IEA (2018b). CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017 Overview
- [17]IEA (2018c). CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017 Highlights
- [18]IEA (2018d). Electricity Information 2017
- [19]IEA (2018e). Electricity Information 2017: Overview
- [20]Korea Energy Economics Institute (2017). Yearbook of Energy Statistics.
- [21]Korea Power Exchange (2018). 2017 년 연간 전력시장운영실적.
<https://www.kpx.or.kr/www/selectBbsNttList.do?bbsNo=8&key=100>
- [22]McGrath, M. (2018). China coal power building boom sparks climate warning.
<https://www.bbc.com/news/science-environment-45640706>
- [23]Ministère de la Transition écologique et solidaire (2017). Bilan énergétique de la France en 2016 - Données définitives.
<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publications/p/2668/969/bilan-energetique-france-2016-donnees-definitives.html>
- [24]Shearer, C., Mathew-Shah, N., Myllyvirta, L., Yu, A., & Nace, T. (2018). Boom and Bust 2018 Tracking The Global Coal Plant Pipeline.

- [25]大紀元(2006)，中國大量燃煤排放溫室效應氣體愈加惡化。
<http://www.epochtimes.com/b5/6/11/6/n1511352.htm>
- [26]李秋錦(2007)，1990 年代後德國經濟表現與改革，經濟研究，7 期，頁 199-234。
- [27]柯亮群(2009)，2009 年美國潔淨能源與安全法案介紹與對我國之啟示。
www.tri.org.tw/research/impdf/1125.pdf
- [28]環境省(2010)，2008 年度（平成 20 年度）の温室効果ガス排出量（確定値）について（お知らせ）。
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=12390>
- [29]經濟産業省資源エネルギー庁(2018a)，平成 28 年度（2016 年度）におけるエネルギー需給実績（確報）。
http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/stte_024.pdf
- [30]經濟産業省資源エネルギー庁(2018b)，時系列表（参考表）。
http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html#headline2