

2015 年美國潔淨電力計畫最終版

—目標 2030 年電力部門排放較 2005 年減量 32%

徐昕煒

工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

電力部門占美國溫室氣體排放的 31%，而二氧化碳為全球與美國最主要的溫室氣體排放來源。有鑑於此，2015 年 8 月 4 日美國環保署依據潔淨空氣法提出潔淨電力計畫最終版本，至 2030 年電力部門排放需較 2005 年水準削減 32%。美國環保署給每個州獨立的電力部門減碳目標，各州可依各自狀況決定如何達成該目標，計畫強調「達成路徑」而非僅為作法，並於 2022 年開始實施。同時，美國環保署提出最佳減量系統，透過(1)提升電廠熱效率；(2)由較高排碳的發電機組轉移至較低排碳的天然氣機組；(3)增加低碳與零碳能源的發電量，來計算各州減量目標。若按照潔淨電力計畫順利推行，美國電力部門至 2030 年將可較 2013 年降低溫室氣體排放 6%。我國在今(2015)年 6 月已通過「溫室氣體減量與管理法」，目標為 2050 年排碳量減至 2005 年的一半以下。為達成該艱鉅的法定目標，美國潔淨電力計畫之作法與成效值得我國觀察與借鏡。

關鍵字： 美國、電力部門、潔淨電力、減碳

一、美國潔淨電力計畫簡介

2009 年美國環保署(Environmental Protection Agency, EPA)指出，溫室氣體排放會對美國人民的健康與環境造成負面影響。其中，二氧化碳排放又為最主要的溫室氣體來源，約占四分之三的全球溫室氣體排放與 82% 的美國溫室氣體排放量。此外，化石燃料發電廠又為美國最大的二氧化碳與溫室氣體排放來源，2013 年約占美國溫室氣體排

放量的 31%，如圖 1。有鑑於此，美國決定由電廠端採取減少二氧化碳的措施。

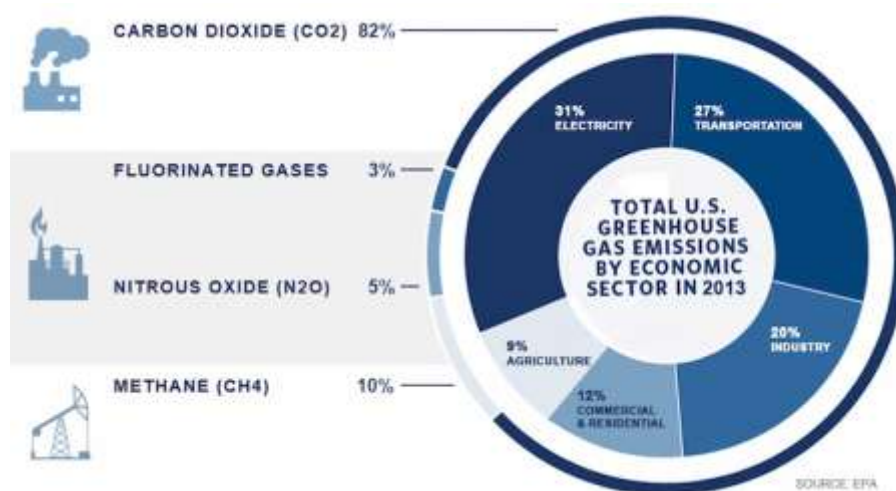


圖 1、2013 年美國溫室氣體排放來源[1]

美國環保署於 2014 年 6 月 2 日依據潔淨空氣法的授權，提出「潔淨電力計畫」(Clean Power Plan, CPP)，2015 年 8 月 4 日美國總統歐巴馬正式發布潔淨電力計畫的最終版本，此為美國環保署依據潔淨空氣法(Clean Air Act)所提出，要求發電廠削減二氧化碳的排放，亦為美國史上第一次針對電廠碳排所做的國家級計畫。最終版本之強度較去(2014)年夏天公布之草案要強，至 2030 年電力部門排放需較 2005 年水準削減 32%(草案僅 30%)。在根本哈哥協議中，美國已承諾至 2020 年前溫室氣體排放較 2005 年減量 17%，而歐巴馬政府亦於今(2015)年 3 月提出「國家自定預期貢獻」(Intended Nationally Determined Contribution, INDC)，承諾 2025 年美國溫室氣體排放將較 2005 年減少 26%-28%，如圖 2，潔淨電力計畫預期可為美國帶來四分之一的減量貢獻。

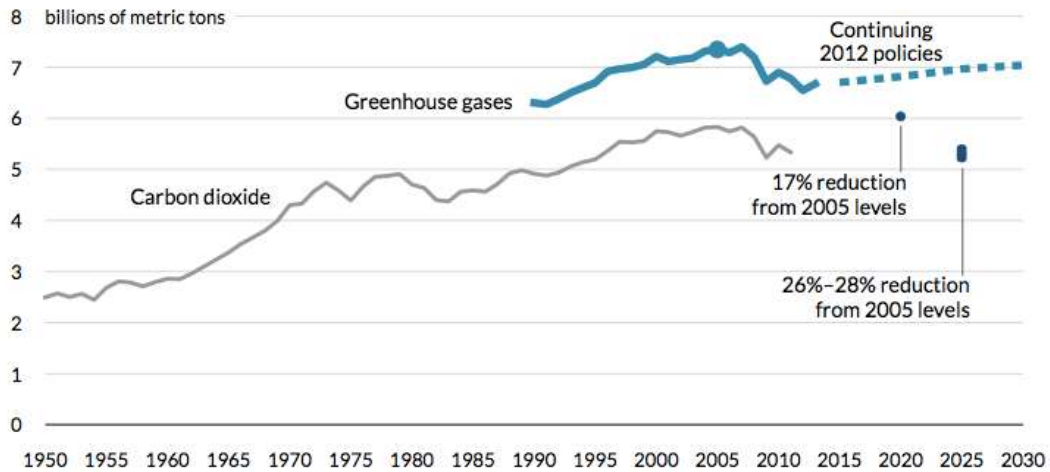


圖 2、美國二氧化碳與溫室氣體排放和減碳承諾[2]

透過潔淨電力計畫，零排碳之再生能源(含水力、太陽能、風力發電)預計可由 2012 年的 12% 發電占比提升至 2030 年的 21%，估計需花費約 84 億美元，可為美國帶來 200 億美元的氣候效益、140-340 億美元的健康效益、淨效益高達 260-450 億美元。同時，評估可避免每年 3,600 人的提早死亡、減少 1,700 人的心臟疾病和 9 萬人的哮喘發作，並且每年使 30 萬人免於錯失工作與上學的時間。

二、美國潔淨電力計畫主要內容

潔淨電力計畫的基礎相當簡單，美國環保署透過其所建議之最佳減量系統(best system of emission reduction, BSER)的基礎措施(Building Blocks, BB)推估每個州獨立的電力部門減碳目標(state goal)，如圖 3。於潔淨電力計畫中，主要提出的內容為「各州特定減碳目標」與「各州減碳計畫的研擬與施行指引」，各州可依各自狀況決定如何達成該目標，如由煤轉向天然氣、提高再生能源、提升家庭能源使用效率等等。目標設定依據各州特性，以蒙大拿州、北達科他州、威斯康辛州、堪薩斯州和愛荷華州等減量較多。各州需於 2016 年 9 月之前提出計畫初版，在 2018 年 9 月前提交達成計畫的最終版，最遲於 2022 年開始實施相關減碳計畫並持續至 2030 年。若各州不提

交相關計畫，環保署有權利強制實施聯邦規劃。相較於去(2014)年夏天美國環保署公布的草案，最終版本的部分細節有所調整[4][5]：

- (1) 2030 年電力部門排放需較 2005 年水準削減 32%(草案僅 30%)；
- (2) 調整用來制訂各州目標之公式；
- (3) 各州最遲開始實施減碳計畫之時間由 2020 年調整為 2022 年；
- (4) 至 2030 年，最終版本預期再生能源裝置容量占比可達 28%(草案僅預期達 22%)；
- (5) 部分州(如南卡羅萊納州與喬治亞州)建造核電廠可獲得更多稅賦抵減(State credits)。

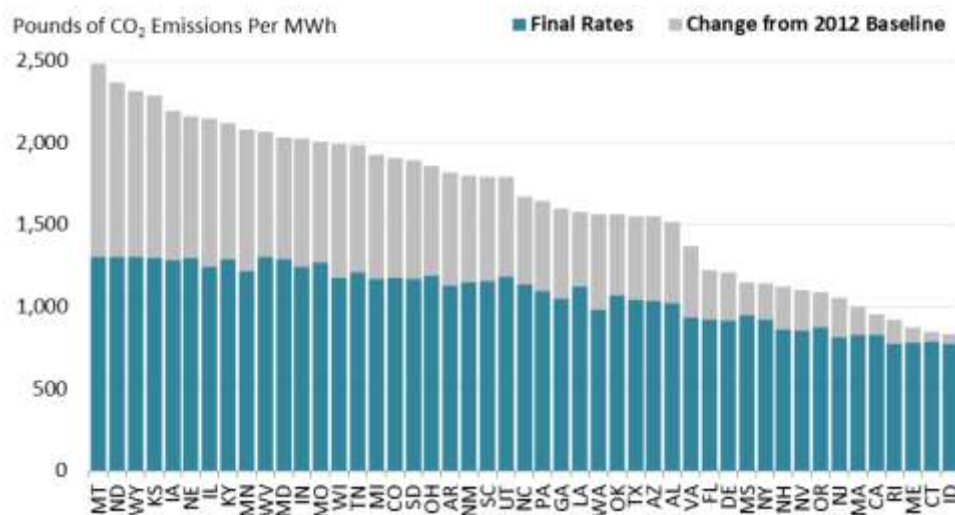


圖 3、美國潔淨電力計畫各州減量目標¹[3]

美國最終版潔淨電力計畫的強制性減量實施時間自 2022 年(草案為 2020 年)開始，主要考量需提供足夠的時間做規劃以確保電力系統穩定及適當的資產投資，並提供電力相關事業有更多的時間發展潔淨電力基礎設施。同時，每個州提出之最終達成計畫中，需證明將「系統可靠性」納入考量。此外，除各州提出的相關措施，美國環保署、能源部和美國聯邦能源監管委員會(Federal Energy Regulatory

¹灰色表示各州 2030 年較 2012 年每 MWh 排碳減少量(潔淨電力計畫目標之訂定以 2012 年為基準年)；藍色表示 2030 年各州每 MWh 排碳目標值。

Commission, FERC)亦合作共同監督實施成果，以確保穩定的電力與傳輸。

最終版本強調「達成路徑」而非僅為作法，將計畫實施的2022-2029年分為三階段(2022-2024年、2025-2027年、2028-2029年)，除各階段需規劃達成目標外，亦指出8年期間內平均需達成的目標。雖然，潔淨電力計畫實施時間為2022年，然EPA鼓勵提早投入減碳，提供潔淨能源激勵計畫(Clean Energy Incentive Program, CEIP)，以獎勵在2020-2021年間投資再生能源與需求端能源效率。此外，潔淨電力計畫亦允許各州間的相互合作與整合，包括排放權交易等。透過「總量管制與交易」(cap-and-trade)，創造碳交易市場；透過電網連結使各州間達成減量的目標。其中，阿拉斯加、夏威夷、波多黎各和關島不包含在本次潔淨電力計畫當中。

(一)核能

在徵詢眾多意見後，EPA決定「興建中」核電廠不納入潔淨電力計畫目標，然而新建與既存電廠的產能擴充則包含在計畫當中。換言之，目前正在建造中的核電廠，其未來發電量將無法計入州目標的計算。然EPA仍認為核能扮演系統穩定與零碳基載發電的重要角色。

(二)再生能源

潔淨電力計畫的計算基礎建立在目前對再生能源技術的估計，包含近期潔淨電力技術的成本下降與未來成本下降的趨勢預測。最終版本的目標計算以新建大型再生能源為基礎，屋頂型太陽能雖未納入各州目標計算，然其可認列各州減量目標的達成。同時，既存的再生能源設施並未納入目標計算。此外，於各州境外新增的再生能源，其用於滿足州內電力需求者，亦可計入目標認列計算。EPA亦同意美國境外的國家其2012年後安裝之再生能源，透過與電網連接出口至美國境內使用且有購電協議(power purchase agreement, PPA)者，其發電量得以計入。

(三)能源效率

需求端的能源效率提升仍相當重要，同時已被各州廣泛實施與驗證其為具經濟效益之電力部門減量策略。然部分人士認為 EPA 的管轄權不應涵蓋能源效率，因此最終版的潔淨電力計畫並未將「能源效率」放入最佳減量系統(BSER)的建議基礎措施(BB)中。儘管能源效率未納入目標值設定之計算，其仍可為減量目標達成的執行方式之一。

三、最佳減量系統架構

相較於去(2014)年之草案，美國環保署提出之最佳減量系統(BSER)建議基礎措施(BB)亦產生調整，由四大基礎措施改為三大基礎措施，基礎措施將不仰賴「需求端之能效提升」。最終版本之最佳減量架構如下，建議措施之 2030 年減碳潛力如表 1。

- (1) **提升電廠熱效率(BB1)**：依據不同地區提出熱效率，藉由設備改善提升 2.1%-4.3%。(原草案規劃將現有燃煤火力與燃油發電機組的熱效率提升 6%)
- (2) **由較高排碳的發電機組轉移至較低排碳的天然氣機組(BB2)**：原先草案規劃由電力調度原則的改變，將燃氣複循環機組的容量因數提升至 70%。然最終版本將「容量因數」改為「夏季淨容量因數」(net summer capacity factor)，並提出燃氣複循環機組的夏季淨容量因數提升至 75%。
- (3) **增加低碳與零碳能源的發電量(BB3)**：最終版本指出既存與興建中的核電廠與既存大型再生能源設施將不納入各州減碳目標推估，並認為最新數據顯示潔淨電力發電的成本與可行性都顯著提升，應較草案時使用更多的新設再生能源。然 EPA 允許南部各州(如南卡羅萊納州、喬治亞州和田納西州)於目標規劃中，納入 5.5 MW 的興建中核電廠，同時對於核電廠的更新亦納入計算。

表 1、美國 2030 年最佳減量系統潛力[6]

	BB1 熱效率提升	BB2 燃氣發電量(TWh) (相較基線增加量)	BB3 增加低碳能源發電量 (TWh)
東部互聯網	4.3%	988 (253)	438
西部互聯網	2.1%	306 (108)	161
德州互聯網	2.3%	204 (66)	107

最終版的潔淨電力計畫採用 2012 年資料當基準年計算各州目標，而基礎措施(BB)是各州減碳目標制訂公式的來源，所以最終版公式相較於草案已沒有能源效率提升的節電量。最終版公式的原則是以三個基礎措施(BB)來計算，主要就是計算燃煤、燃氣複循環與再生能源的發電，依據東、西和德州電網區域的潛力，參考該州本身發電量做計算。然需求端能效提升，可減少發電量，依然可以對達成潔淨電力計畫具有貢獻。

四、美國潔淨電力計畫衝擊評估

實施潔淨電力計畫後，根據美國環保署所發布的潔淨電力計畫影響評估，燃煤發電占比將由去(2014)年的 39%降低至 2030 年的 27.83%，燃氣發電占比將由 27%提升至 32.34%，非水力再生能源由 7%提升至 11.8%，水力由 6%提升至 8.27%，核能比率維持 19%左右。然值得注意的是，實施潔淨電力計畫後，2030 年與基準情境相比，總發電量減少約 350TWh，如表 2。

表 2、潔淨電力計畫對美國 2030 年電力配比影響[7]

電力來源	2014 年 占比	2030 基準情境		2030 潔淨電力計畫	
		發電量(TWh)	占比	發電量(TWh)	占比
燃煤	39%	1,466	32.82%	1,144	27.83%
燃氣複循環(既有)	27%	1,042	23.33%	1,090	26.52%
燃氣複循環(新建)		324	7.25%	207	5.04%
燃氣渦輪機		22	0.49%	32	0.78%
石油/天然氣汽輪機	1%	22	0.49%	11	0.27%
非水力再生能源	7%	450	10.07%	485	11.80%
水力	6%	340	7.61%	340	8.27%
核能	19%	783	17.53%	785	19.10%
其他	<1%	17	0.38%	17	0.41%
總發電量	100%	4,467	100.00%	4,110	100.00%

若與美國能源資訊局(U.S. Energy Information Administration, EIA)於今(2015)年發布的 2015 能源年度展望報告(Annual Energy Outlook 2015, AEO2015)基準情境比較，美國環保署推估之基準情境電力需求與燃煤發電量本身已遠低於 EIA 推估的結果。若與 EIA 發布之 AEO 2015 比較，潔淨電力計畫預期減少的燃煤發電比例將更為明顯。而燃氣發電與再生能源發電比例亦遠遠高於 AEO 2015 的基準情境，如表 3。

表 3、2030 年潔淨電力計畫與美國能源部 AEO 推估差異[7] [8]

單位：TWh	EPA 2030 基準情境	EPA CPP 2030	AEO 2015 基準情境
總發電量	4,467	4,110	4,691
燃煤	1,466 (32.82%)	1,144 (27.83%)	1,674 (35.69%)
燃氣	1,412 (31.61%)	1,340 (32.60%)	1,073 (22.87%)
再生能源	807 (18.07%)	842 (20.49%)	679 (14.47%)

燃氣複循環機組與再生能源在潔淨電力計畫中將扮演重要的角色。由預測結果可發現，對潔淨電力計畫長期來說，會大幅減少新增的燃氣複循環機組，原因在於潔淨電力計畫希望藉由提高現有燃氣機組的「夏季淨容量因數」，也就是提升其使用效率來達成減排效果。燃氣機組將可能是低碳電力發展的過渡選項，而最終仍將以再生能源發展為主，如表 4。再生能源裝置量長期相較基準情境增加 17.8~20.2

GW，此現象亦可說明潔淨電力計畫在新增裝置部分仍以再生能源為主的發展方向。

表 4、潔淨電力計畫燃氣複循環與再生能源新增裝置量比較[7]

年	2020	2025	2030	2020	2025	2030
	累計新增燃氣複循環機組(GW)			相較基準情境燃氣複循環增加量(GW)		
基準情境	4.4	14.9	44.0	--	--	--
潔淨電力計畫	7.1~9.3	7.1~13.6	13.9~27.2	2.7~4.9	-1.3~-7.8	-16.8~-30.1
	累計新增再生能源裝置量(GW)			相較基準情境再生能源裝置增加量(GW)		
基準情境	39.1	59.1	74.1	--	--	--
潔淨電力計畫	36.7~40.5	54.9~57.4	91.9~94.4	-2.4~1.4	-1.8~-4.2	17.8~20.2

EPA 亦推估相對於 2005 年潔淨電力計畫對二氧化碳減少量，如表 5。由推估結果可發現，儘管潔淨電力計畫於 2022 年後才開始實施相關措施，然由於鼓勵提早投入，2020 年相較 2005 年已可較基準情境多減少 2%-3%。在導入各州潔淨電力計畫措施後，2025 年相較於 2005 年可較基準情境減少 9%-10%，2030 年相較於 2005 年可較基準情境減少 15%。

表 5、相對於 2005 年之二氧化碳減少量推估[7]

年	二氧化碳排放 (百萬噸)	二氧化碳排放： 與 2005 相比變化量 (百萬噸)			二氧化碳減排量： 與 2005 相比變化百分比		
		2020	2025	2030	2020	2025	2030
基準情境	2,683	-528	-518	-456	-20%	-19%	-17%
潔淨電力計畫	--	-598~ -610	-750~ -782	-869~ -871	-22%~ -23%	-28%~ -29%	-32%

在平均帳單電價影響方面，潔淨電力計畫在 2030 年可降低平均帳單電力價格 7%~7.7%，如表 6，主要原因在於為達成目標各州所採取的方式將可降低電力零售價格(自由市場下，邊際成本較低的再生能源將可降低電力市場價格)，同時預期透過需求端的能源效率提升將可擁有較低的電力需求。

表 6、潔淨電力計畫平均帳單電力價格變化量推估[7]

年	平均帳單電力價格變化量
2020	2.4%~2.7%
2025	-2.7%~-3.8%
2030	-7.0%~-7.7%

五、結論與建議

在潔淨電力計畫最終版本中，美國環保署雖調高電力部門減碳目標至 32%，然報告指出目標提升僅為預測的修正。美國環保署認為按照既定規劃與目標，可達成 2030 年相較於 2005 年減量 32% 之目標。其中，2005-2013 年間，美國電力部門的排放已削減 15%，主要歸功於嚴重的經濟衰退、廉價天然氣的推動與燃煤發電的降低、風電的興起與提高能源效率。因此，該潔淨電力計畫希望至 2030 年較 2013 年再減少排放 20%。2013 年美國電力部門占整體溫室氣體排放的 31%，為最大的單一來源。若按照潔淨電力計畫順利推行，美國電力部門至 2030 年將可降低美國溫室氣體排放 6%(與 2013 年相比)。

潔淨電力計畫展現了美國在節能減碳上的決心，並對今(2015)年底於巴黎舉行的全球氣候會議做出顯著的貢獻。美國潔淨電力計畫的實施，很有可能改變國際節能減碳政策，使各國仿效，豎立美國於全球減碳上的領導地位。然而，潔淨電力計畫亦遭受國內反對人士質疑已超越法定權限，且對重要的產煤州產生衝擊。因此，潔淨電力計畫雖立意良好，然未來仍需面對許多挑戰。

我國在今年 6 月已通過「溫室氣體減量與管理法」，目標為 2050 年排碳量減至 2005 年的一半以下，為一個極具挑戰的前瞻目標。透過美國潔淨電力計畫可發現，在電力部門減排上，抑低燃煤發電量提高再生能源仍是基本的作法。同時，透過改善發電效率與需求端能效提升，將可進一步達成減排之目標。我國目前亦正研擬 INDC，期望透過國際目標的宣示，達成對全球減碳的責任與承諾。

參考資料

- [1] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2014.05,
<http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-05/ghg-chart.png>
- [2] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2014. Inventory of US Greenhouse Gas Emissions Sinks.
- [3] Congressional Research Service (CSR), 2015. EPA's Clean Power Plan: Highlights of the Final Rule.
- [4] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2015. The Clean Power Plan- Key Topics and Issues.
- [5] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2015. Overview of the Clean Power Plan- Cutting Carbon Pollution from Power Plants.
- [6] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2015. CO2 Emission Performance Rate and Goal Computation Technical Support Document for CPP Final Rule.
- [7] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2015. Regulatory Impact Analysis for the Clean Power Plan Final Rule.
- [8] U.S. Energy Information Administration (EIA), 2015. Annual Energy Outlook 2015 (AEO2015).