

美國清淨電力最終法案介紹

【環科工程顧問股份有限公司 陳子豪 工程師

thchen@estc.tw 責任編輯】

一、背景說明

美國為降低電廠的溫室氣體排放，自 2012 年起在空氣清潔法(Clean Air Act)的法規架構下，著手規劃電廠排放標準(emission performance standards, EPS)。先於 2013 年 9 月 20 日提出新設電廠排放標準草案，再於 2014 年 6 月 2 日針對既存電廠提出清淨電力計畫(Clean Power Plan, CPP)草案，經歷一年以上的意見收集，統整各州、部落及相關利益者等 430 萬條的建議並修正，終於在今(2015)年 8 月 3 日拍板定案，歐巴馬總統與美國環保署強調，這是減緩氣候變遷行動的重要一步，且最終版的清淨電力法是公平的、靈活的，並朝向更潔淨能源使用及低污染排放的目標邁進。

二、計畫目標

清淨電力計畫將針對美國最大的碳排污染源—火力發電廠，同時也是首個以發電廠為出發，解決碳排問題的國家標準，規劃在保持國家能源可靠性及經濟性的狀況下減少發電廠的碳排放，總體目標希望於 2030 年達到較 2005 年減少 32%之排放量。

本次最終法案係以去年草案為基礎，同樣是針對各州(states)直接訂定總體減量目標，並廣納公眾意見，重新修正技術性的計算模式，定義各州排放強度(rate)及排放總量(mass)為目標，各州可根據當地情形選擇適切的減量方式，另針對電廠規範碳排放標準。聯邦政府同時釋出示範規則(model rule)輔導各州提出執行計畫。

藉由本法案的推動，預估至 2030 年將帶來的總減量效益為 260 至 450 億美元，包含 200 億美元的氣候變遷效益、及 140 億至 340 億美元健康效益。每年可減少 3,600 人過早死亡、減少 1,700 人心臟病發作、及 90,000 人氣喘發作、減少 300,000 工作日與上課日的缺席。

三、管制手段

本次法案涵蓋對象至少 1,000 家電廠，3,000 部以上發電機組。全國各電廠應符合一致之排放效能標準(emission performance rate)，並依據化石燃料類型區分為燃煤及燃氣(請見表 1)。另外，特別針對新設電廠的部分，更新前版草案最佳減量系統 (best system of emission reduction，以下簡稱 BSER)的內容，新設燃氣電廠由依機組規模設訂標準值，調整為不分機組之單一標準值；而新設燃煤電廠則由僅考量部分碳捕集之新設超臨界粉煤燃燒(supercritical pulverized coal, SCPC) 發電機組，不再考量完全碳捕集及整合型煤炭氣化複循環發電機組(Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC)，且將碳捕集率由 25%調降至 20%。與前版差異表請見表 2。

表 1、電廠排放效能強度(emission performance rate)

電廠類型	過渡目標 (2022~2029 平均值)	最終目標 (2030 年)
燃煤電廠	1,534	1,305
燃汽電廠	832	771

單位：lb/MWh

資料來源：U.S. EPA, Clean Power Plan State Goal Visualizer, Available from:

<http://www.epa.gov/airquality/cpptoolbox/clean-power-plan-state-goal-visualizer.xlsm>

表 2、新設電廠排放標準草案與最終版本之差異

對象	技術/ 標準值	草案版本	最終版本		
燃氣 電廠	BSER 技術 ^{註1}	<ul style="list-style-type: none"> 天然氣複循環發電 (natural gas combined cycle, NGCC) 	使用天然氣之新設及改建 基載 複循環機組 (newly constructed and reconstructed base load natural gas-fired combustion turbines)	使用潔淨燃料 (Clean fuels) ¹ 之新設及改建 非基載 (Non-base load)複循環機組	使用潔淨燃料 (Clean fuels) ² 之 多元燃料燃燒 (Multi fuel-fired)複循環機組
	標準值	<ul style="list-style-type: none"> 大型燃氣機組 (>850mmBtu/hr)³： 1,000 磅 CO₂/MWh(0.454 tonCO₂/MWh) 小型燃氣機組 (≤850mmBtu/hr)： 1,100 磅 CO₂/MWh(0.499tonCO₂/MWh) 	1,000 lb CO ₂ /MWh-gross (0.454tonCO ₂ /MWh，此標準適用於所有規模基載複循環機組)	120 lb CO ₂ /MMBtu (0.186 tonCO ₂ /MWh)	120~ 160 lb CO ₂ /MMBtu (0.186~0.248tonCO ₂ /MWh)
燃煤 電廠	BSER 技術	<ul style="list-style-type: none"> 配搭 CCS 完全碳捕集⁴ / 部分碳捕集⁵之新設超臨界粉煤燃燒 (supercritical pulverized coal, SCPC) 或 整合型煤炭氣化複循環發電機組 (Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC) 	<ul style="list-style-type: none"> CCS 部分碳捕集之超臨界粉煤燃燒發電機組 (supercritical pulverized coal, SCPC)。 		
	標準值	<ul style="list-style-type: none"> 給予下列二擇一達標方式： ➤ 每年平均標準： 	<ul style="list-style-type: none"> 最終新設排放標準值：1,400 lb CO₂/MWh-gross (0.63tonCO₂/MWh)。 機組可達表現：高效率超臨界粉煤燃燒發電機組及 		

¹如天然氣加少量分餾油

² 天然氣、乙烯、丙烯、石油腦、jet fuel kerosene,分餾油 1,2(distillate oils 1&2),生質柴油 1, 和垃圾掩埋氣(landfill gas)

³ 850 mmBtu/hr×0.293 千瓩/ mmBtu /hr =250 千瓩

⁴ 以煙道氣(flue gas)或合成煤氣(syngas)，以及 90%以上之碳捕集

⁵ 以煙道氣(flue gas)或合成煤氣(syngas)，以及低於 90%之碳捕集

對象	技術/ 標準值	草案版本	最終版本
		1,100 磅 CO ₂ /MWh (0.499tonCO ₂ /MWh) ➤ 7 年平均標準：介於 1,000~1,050 磅 CO ₂ /MWh 間 (0.454-0.476 kgCO ₂ /kWh)，以利於緩衝 短期發電、CCS 系 統與排放造成波 動，給予發電業者 達標彈性 ● 機組可達表現：IGCC 第一階段水煤氣轉換 (water gas shift, WGS) 及 25% 部分碳 捕集 ⁶ 之排放強度	20%CCS 捕集之表現。

註1：「最佳減量系統 (best system of emission reduction, 簡稱BSER)」

資料來源:EPA FACT SHEET: Carbon Pollution Standards-FINAL LIMITS ON CARBON POLLUTION FROM NEW,MODIFIED AND RECONSTRUCTED POWER PLANTS

<http://www2.epa.gov/cleanpowerplan/carbon-pollution-standards-new-modified-and-reconstructed-power-plants>

於各州管理層面，美國環保署訂定各州的具體減量目標，各州決策單位可彈性選擇可行減量策略以達減量目標，其目標分為「排放強度(rate)」及「總量目標(mass)」，兩者目標皆有訂定 2022~2029 之平均值，作為過渡時間之遵從目標(interim goal)，及 2030 年必須達到之最終減量目標(final goal)(請見表 3 及表 4)，各州可依據當地現況擇一執行。排放強度及總量目標公式如下：

1. 排放強度(rate)：排放效能比率(emission performance rates)與州發電組合(state generation mix)相乘。

2. 總量目標(mass)：以州排放強度目標為基礎，並依據 2012 年基線計算，另鼓勵再生能源發展，額外允許發展再生能源的發電量。

⁶ Case D2A, Exhibit ES-2, Cost and Performance of PC and IGCC Plants for a Range of Carbon Dioxide Capture, 2013, NETL

各州必須於 2016 年 9 月前提送最終版之減碳計畫或申請延長提交期限。申請延長提交期限者，最晚可至 2018 年 9 月提送最終計畫或與其他州共同合作計畫。各州政府可考量的減量政策包含：1.提升電廠熱效能(heat rate improvement)、2.增加燃汽發電比率、3.使用再生能源、4.仰賴可靠之跨州電網系統、5.發展州排放交易制度，以透過取得州外減量，達成減量目標；並在此框架下，聯邦政府將協助發展相關平台。

表 3、各州排放強度目標

單位：lbs/MWh

State Name	Interim	Final
Alabama	1,157	1,018
Arkansas	1,304	1,130
Arizona	1,173	1,031
California	907	828
Colorado	1,362	1,174
Connecticut	852	786
Delaware	1,023	916
Florida	1,026	919
Lands of the Fort Mojave Tribe	832	771
Georgia	1,198	1,049
Iowa	1,505	1,283
Idaho	832	771
Illinois	1,456	1,245
Indiana	1,451	1,242
Kansas	1,519	1,293
Kentucky	1,509	1,286
Louisiana	1,293	1,121
Massachusetts	902	824
Maryland	1,510	1,287
Maine	842	779
Michigan	1,355	1,169
Minnesota	1,414	1,213
Missouri	1,490	1,272
Mississippi	1,061	945
Montana	1,534	1,305
Lands of the Navajo Nation	1,534	1,305

State Name	Interim	Final
North Carolina	1,311	1,136
North Dakota	1,534	1,305
Nebraska	1,522	1,296
New Hampshire	947	858
New Jersey	885	812
New Mexico	1,325	1,146
Nevada	942	855
New York	1,025	918
Ohio	1,383	1,190
Oklahoma	1,223	1,068
Oregon	964	871
Pennsylvania	1,258	1,095
Rhode Island	832	771
South Carolina	1,338	1,156
South Dakota	1,352	1,167
Tennessee	1,411	1,211
Texas	1,188	1,042
Lands of the Uintah and Ouray Reservation	1,534	1,305
Utah	1,368	1,179
Virginia	1,047	934
Washington	1,111	983
Wisconsin	1,364	1,176
West Virginia	1,534	1,305
Wyoming	1,526	1,299

資料來源：U.S. EPA, 2015. *Clean Power Plan State Goal Visualizer*. Available from:
<http://www.epa.gov/airquality/cpptoolbox/clean-power-plan-state-goal-visualizer.xlsm>

表 4、各州平均每年排放總量目標

單位：短噸(1 短噸 = 0.90718474 公噸)

State	Interim	Final
Alabama	62,210,288	56,880,474
Arkansas	33,683,258	30,322,632
Arizona	33,061,997	30,170,750
California	51,027,075	48,410,120
Colorado	33,387,883	29,900,397
Connecticut	7,237,865	6,941,523
Delaware	5,062,869	4,711,825
Florida	112,984,729	105,094,704
Lands of the Fort Mojave Tribe	611,103	588,519
Georgia	50,926,084	46,346,846
Iowa	28,254,411	25,018,136
Idaho	1,550,142	1,492,856
Illinois	74,800,876	66,477,157
Indiana	85,617,065	76,113,835
Kansas	24,859,333	21,990,826
Kentucky	71,312,802	63,126,121
Louisiana	39,310,314	35,427,023
Massachusetts	12,747,677	12,104,747
Maryland	16,209,396	14,347,628
Maine	2,158,184	2,073,942
Michigan	53,057,150	47,544,064
Minnesota	25,433,592	22,678,368
Missouri	62,569,433	55,462,884
Mississippi	27,338,313	25,304,337
Montana	12,791,330	11,303,107
Lands of the Navajo Nation	24,557,793	21,700,587

State	Interim	Final
North Carolina	56,986,025	51,266,234
North Dakota	23,632,821	20,883,232
Nebraska	20,661,516	18,272,739
New Hampshire	4,243,492	3,997,579
New Jersey	17,426,381	16,599,745
New Mexico	13,815,561	12,412,602
Nevada	14,344,092	13,523,584
New York	33,595,329	31,257,429
Ohio	82,526,513	73,769,806
Oklahoma	44,610,332	40,488,199
Oregon	8,643,164	8,118,654
Pennsylvania	99,330,827	89,822,308
Rhode Island	3,657,385	3,522,225
South Carolina	28,969,623	25,998,968
South Dakota	3,948,950	3,539,481
Tennessee	31,784,860	28,348,396
Texas	208,090,841	189,588,842
Lands of the Uintah and Ouray Reservation	2,561,445	2,263,431
Utah	26,566,380	23,778,193
Virginia	29,580,072	27,433,111
Washington	11,679,707	10,739,172
Wisconsin	31,258,356	27,986,988
West Virginia	58,083,089	51,325,342
Wyoming	35,780,052	31,634,412

資料來源：U.S. EPA, 2015. *Clean Power Plan State Goal Visualizer*. Available from: <http://www.epa.gov/airquality/cpptoolbox/clean-power-plan-state-goal-visualizer.xlsx>

四、與前版本差異

相較於去年所提的草案版本，最終法案版提高了整體減量目標，由原本 30% 調升至 32%，但計畫實施年額外給予兩年的延遲時間，由原本 2020 年實施改至 2022 年。於減量政策方向上，強調乾淨且穩定的能源供給，新增考量電網的可靠性，不再強調核能使用，並僅強調供給端之減碳策略，不再將需求端減碳列為強制項目而調整為彈性選項。表 5 為整體法案差異比較。

表 5、清淨電力法草案及最終版本差異比較一覽

項目	草案內容	最終版差異
法源	清淨空氣法(Clean Air Act)為母法之行政命令，追循歐巴馬 2013 年所推動之氣候行動計畫(Climate Action Plan)訂定	無差異
減量目標	全國發電業溫室氣體排放量於 2030 年較 2005 年減 30%	全國發電業溫室氣體排放量於 2030 年較 2005 年減 32%
管制方式	EPA 管制各州之排放係數，再由各州自行規劃州內減量計畫	無差異
管制範圍	涵蓋至少 1,000 家電廠，3,000 部以上發電機組。	無差異
制定聯邦準則	公布後預計 1 年內完成準則制定，於 7 月 29 日辦理第 1 場公聽會，徵詢各界意見。	各州減量目標公布後 60 天實施。
減量目標設定	EPA 訂定各州排放強度目標及總量目標；前述過渡時期目標設定方式以 2020~2029 年平均值為準，據以訂定 2030 年之最終目標。	過渡時期目標設定方式以 2022~2029 年平均值為準，其他並無差異。
各州自提減碳計畫	各州應於聯邦準則完成後 1 年內提出可行之減碳計畫，以符合環保署所給予之減量目標。	各州應於 2016 年 9 月前提送最終版之減碳計畫或申請延長提交期限。申請延長提交期限者，可至 2018 年 9 月提送最終計畫或與其他州共同合作計畫。
減量策略組合元素	1.老舊電廠改善及效率提昇，提昇機組熱效率潛力 6%。 2.使用低碳燃料，提昇天然氣機組容量	保留前三項組合元素，刪除第四項，並納入更具參考價值之數據及公眾意見：

<p>設定</p>	<p>因素至 70%。 3.發展再生能源或低碳能源（如：太陽能、風能、核能）。 4.提昇需求端能源使用效率 1.5%。</p>	<p>1.老舊電廠改善及效率提昇，依不同區域，將提昇機組熱效率潛力設定為 2.1 至 4.3%之間。 2.使用低碳燃料，將提升天然氣夏季淨容量因子至 75%。 3.發展再生能源或低碳能源（如：太陽能、風能）。</p>
<p>可行減碳策略</p>	<p>1.老舊電廠效率提昇 2.增加天然氣發電 3.發展再生能源 4.提昇電力需求端之能源效率</p>	<p>草案第一項及第二項合併為最終版之第一項，新增第二項及第三項： 1.優化減碳量：如提升能效、從燃煤發電轉移至燃汽發電。 2.稅賦能力：如發展多州排放交易機制，以取得州外減量，達成減量目標。 3.電力系統之可靠性：如仰賴跨州之電網系統。 4.乾淨創新技術的投資情形：如轉移至零排放之再生能源發電</p>
<p>排放係數計算因子</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 計算 2012 年各州指定排放源之調整前化石燃料排放率(基準值) • 各州指定排放源之燃燒效率提升化石燃料排放率 • 提高繼有及建造中之天然氣發電後之化石燃料排放率 • 增加再生能源及核能發電量 • 提高需求端之使用效率 	<ul style="list-style-type: none"> • 老舊電廠改善及效率提昇，依不同區域，將提昇機組熱效率潛力設定為 2.1 至 4.3%之間。 • 使用低碳燃料，將提升天然氣夏季淨容量因子至 75%。 • 發展再生能源或低碳能源（如：太陽能、風能）。
<p>計畫期程</p>	<p>各州預計於 2016 年 6 月 30 日提出第一版完整計畫。各州個別計畫，預計可於 2017 年 6 月 30 日完成。</p>	<p>各州預計於 2016 年 9 月提出最終計畫或延期要求。各州延期要求必須在 2018 年 9 月提交最終計畫，可獨自提交或與其他州合作。</p>
<p>預期效益</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 總體減量效益：透過減量目標之達成，預估至 2030 年將帶來的總減量效益為 550 至 930 億美元，需投入減量成本為 73 至 88 億美元。 • 附帶空氣污染減量成效：預期可減少超過 25%的 NOx 與 SOx。 • 健康風險之減少：減少 2,700~6,600 	<ul style="list-style-type: none"> • 總體減量效益：透過減量目標之達成，預估至 2030 年將帶來的總減量效益為 260 至 450 億美元 • 氣候變遷效益：200 億美元。 • 健康效益：140 億至 340 億美元。 • 健康風險之減少：每年可減少

	<p>早產兒之死亡（期望值）、減少 140,000~150,000 人小孩氣喘。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 能源支出之節約：預期於 2030 年降低 8% 的能源支出（energy bill）。 	<p>3,600 人過早死亡、減少 1,700 心臟病發作、90,000 氣喘發作、減少 300,000 工作日與上課日的缺席。</p>
--	---	--

五、結語

雖然美國最終法案給予各州更充裕的時間與彈性制定減量政策，但未來許多工業仍將會面對嚴峻的溫室氣體減排挑戰。反思我國溫室管理現況，今(2015)年 7 月 1 日已實施「溫室氣體減量及管理法」(以下簡稱溫管法)，其中第二十條規定，公用事業核配額應扣除提供排放源能源消費所產生之間接二氧化碳當量之額度，意即我國電力業者僅需負擔自廠用電之減量責任，與美國清淨電力計畫係從管制電廠進而將其他部門用電消費端納入管制方向不同。此外，依溫管法第十七條規定，我國效能標準為獎勵機制，非管制目的，故亦無法直接援引使用。

雖然臺灣溫管法與美國清淨電力計畫有根本上的差異，但溫管法第九條規定，能源部門溫室氣體排放管制行動交由能源部門之中央主管機關執行，故我國仍可參酌美國清淨電力計畫「強調乾淨且穩定之能源供給」之精神，將公用事業之電力業及相關能源供給與配比政策納入溫室氣體排放管制行動方案，以與中央主管機關擬訂之國家因應氣候變遷行動綱領及溫室氣體減量推動方案相呼應。

六、參考資料：

1. EPA Clean Power Plan Final Rule, Available from:
<http://www.epa.gov/airquality/cpp/cpp-final-rule.pdf>
2. EPA Fact Sheet: Clean Power Plan: Key Changes and Improvements, Available from:
<http://www.epa.gov/airquality/cpp/fs-cpp-key-changes.pdf>
3. EPA Fact Sheet: Overview of the Clean Power Plan - Cutting Carbon Pollution from Power Plants. Available from:
<http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/20140602fs-overview.pdf>.
4. EPA Fact Sheet: Why We Need a Cleaner, More Efficient Power Sector. Available from:
<http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/20140602fs-benefits.pdf>.
5. EPA Fact Sheet: By the Numbers - Cutting Carbon Pollution from Power Plants. Available from:
<http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/20140602fs-important-numbers-clean-power-plan.pdf>.
6. EPA Fact Sheet: Flexible Approach to Cutting Carbon Pollution. Available from:
<http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/20140602fs-plan-flexibility.pdf>.
7. EPA Fact Sheet: National Framework for States - Setting State Goals to Cut Carbon Pollution. Available from:
<http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/20140602fs-setting-goals.pdf>.
8. EPA Fact Sheet: Overview of the Clean Power Plan: Cutting Carbon Pollution from Power Plants, Available from: <http://www.epa.gov/airquality/cpp/fs-cpp-overview.pdf>
9. EPA Fact Sheet: The Role of States - States Decide How They Will Cut Carbon Pollution. Available from:
<http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/20140602fs-states-role.pdf>.
10. Limiting the Carbon Emissions from Power Plants Will Make Americans Healthier. Available from: <http://www.whitehouse.gov/share>.
11. 路透新聞，2014.06.02。「奧巴馬政府強制下令，2030年碳排放減30%」，取自：
<http://www.lutouxinwen.com/detail.php?id=20176>。
12. 主場新聞，2014.06.03。「全球暖化轉機：歐巴馬推出《潔淨能源法案》」，取自：
<http://thehousenews.com/nature/%E5%A5%A7%E5%B7%B4%E9%A6%AC-2030%E5%B9%B4%E5%89%8D%E6%B8%9B%E6%8E%92%E7%A2%B3-30/>。