

美國大氣細懸浮微粒管制策略簡析

蔡俊鴻

國立成功大學

林鼎鈞

環境工程學系

盧彥廷

氣候變遷暨環境品質研究中心

一、前言

為因應潮流，行政院環境保護署於民國 101 年發布實施細懸浮微粒(PM_{2.5})空氣品質標準，啟動臺灣地區管制細懸浮微粒新紀元。保護人民健康向來為各國環境政策目標之一，大氣細懸浮微粒對人體健康具負面影響，細懸浮微粒影響尤為顯著，因此，近年諸多先進國家，如：美國、英國、歐盟等，皆特別加強大氣細懸浮微粒管制。臺灣推動大氣懸浮微粒污染防制工作多年，亦展現具體成果，面臨大氣細懸浮微粒管制之新挑戰，參酌國外政策發展相關歷程與內容，吸取經驗，有助於加速達成管制目標。

二、大氣細懸浮微粒空氣品質標準

(一)大氣細懸浮微粒監測方法

採樣分析方法為研究大氣細懸浮微粒污染水準之重要基礎，主要原因乃不同採樣分析方法所獲致濃度有差異，將影響判定污染程度與策略規劃。目前各國環境保護主管部門廣泛採用之監測方法主要有重量法、 β 射線吸收法和微量振盪天平法；如：英國採用標準稱重測量法 (BSEN 14907-2005)，日本採用小流量採樣稱重法；美國聯邦環境保護署(USEPA)採用標準稱重測量法，對濾膜選擇及固定、採樣器入口設計、測試環境條件控制等，皆有詳盡規定。我國最近公告大氣細懸浮微粒監測數據係以「手動監測」為標準方法。



(二)大氣細懸浮微粒濃度達標判斷

世界衛生組織(WHO)和各國大氣細懸浮微粒濃度標準如表 1 所示。各國標準值大多比 WHO 建議目標值寬鬆，顯示推動細懸浮微粒污染防制策略之艱鉅挑戰度。

我國制定細懸浮微粒濃度標準之日均濃度和年平均濃度限值與美國和日本相同，判斷達標方式則有所不同。WHO 制定 PM_{2.5} 日均濃度達標要求為每年超標天數不高於 3 天；歐盟規定 PM_{2.5} 年均濃度達標水準為每年超標天數 0 天；美國、加拿大制定 PM_{2.5} 日均濃度達標要求均為連續 3 年內每年 98% 站日數以上日均濃度不得超標。我國採用美國標準，取第九十八累計百分比對應值，計算連續三年之平均值，再就區內各站該平均值平均後，須小於空氣品質標準二十四小時值。因此，檢視各國細懸浮微粒污染防制策略，應充分瞭解策略目標與基礎。

空氣品質標準		WHO ¹				歐盟	美國		加拿大	澳洲	日本	南韓	香港	中國大陸 ³		泰國	我國
		IT-1	IT-2	IT-3	AQG		聯邦	加州						一級	二級		
PM ₁₀ µg/m ³	年平均值	70	50	30	20	40	-	20	70	-	-	50	55	40	70	50	65
	24小時 平均值	150	100	75	50	50	150	50	120	50	100	100	180	50	150	120	125
PM _{2.5} µg/m ³	年平均值	35	25	15	10	25 ²	12	12	-	8	15	-	35*	15	35	25	15
	24小時 平均值	75	50	37.5	25	-	35	-	30	25	35	-	75*	35	75	50	35

資料來源:空氣品質監測維護網

表 1 各國大氣細懸浮微粒空氣品質標準

三、美國大氣細懸浮微粒防制策略

由於我國大氣細懸浮微粒空氣品質標準乃參酌美國標準，因此，深入瞭解美國聯邦與州/地方政府之策略，對臺灣後續規劃推動政策必有助益。

(一)美國聯邦政府策略

州與地方政府作為美國政府的執行機構，對美國政府大氣監管措施的實施起到了強力的推動作用。美國國會於 1977 年修訂《清潔空氣法》，將美國政府防制空氣污染重要責任和權利轉交給各州及地方政府，於空氣污染防制

策略發展乃極重要轉捩點；後此，州與地方政府承擔大氣污染防治與維護改善責任。美國聯邦環境保護署於 1997 年訂定國家環境空氣品質標準細懸浮微粒濃度標準；當時全美約有五分之一民眾居住於大氣 PM_{2.5} 濃度超過標準值地區。於初期管制階段(自 1999 年至 2002 年)，原生性細懸浮微粒排放減少約 17%，惟大氣濃度卻只減少約 8%，顯示衍生性細懸浮微粒(如：硝酸銨及硫酸銨)控制之重要性。

美國聯邦有關大氣細懸浮微粒防制政策主要有：

1. 定期審查空氣品質標準和監測標準方法

美國近年展開全國性 PM_{2.5} 監測，並對大眾公開資料。聯邦環保署將各地空氣品質分為三類：達標、未達標、雖資料不足但可認為達標。被列為未達標區域，該區域所屬州和地方政府須於三年內制定實施計畫，訂定具體措施以減少微粒排放，以達到聯邦標準；聯邦環保署須審核、監督計畫落實推動。

2. 推動空氣污染區域防制

大氣細懸浮微粒污染具有傳輸影響特性，因而美國聯邦環保署建立規劃、協調區域大氣污染防治工作機制；依據地理和社會經濟水準，將全美國劃分成十個區域，設立區域辦公室，協助推動懸浮微粒污染防制。

3. 推動空氣污染物控制和低碳能源協同效應策略

美國推動大氣細懸浮微粒污染防制策略，執行前期研究顯示：多項空氣污染物(包括：硫氧化物、氮氧化物、有機性氣體等)皆為大氣細懸浮微粒之前驅物，必須同時減少各種污染物排放才能有效改善問題；此外，這些空氣污染物排放源皆與能源使用具密切關連性，因此必須同步考量改變能源結構，供應清潔能源。

4. 強化交通運輸部門之污染減低排放責任

美國大氣細懸浮微粒污染於都會地區較具改善急切性，機動車尾氣排放乃重要管制源。美國城市交通運輸規劃甚多乃為個人行駛車輛設計，減少汽車使用和提高油品品質、提高燃油效率、減少汽車尾氣排放、發展電動汽車以及混合動力汽車、發展公共交通等措施，皆為重要策略。

綜合分析評估顯示，推動移動源污染源控制將減少 NO_x、PM_{2.5}、SO₂ 及 VOCs 排放，直接影響低硫柴油引擎、高速公路車輛及其它移動污染源。美國環保署預估現在及已執行固定源及移動源控制法規，於 2001 至 2015 年



間，每年將減少約 6 百萬噸 SO₂ 排放量，每年將減少約 9 百萬噸 NO_x 排放量，VOCs 排放量將減少約 3 百萬噸，直接排放細微粒將每年減少 20 萬噸排放量。SO₂ 減量與電廠排放源相關。空氣品質模式預估在 2015 年濃度，預期改善降低 10 ~ 20% 細懸浮微粒濃度。

(二) 加州政府策略

加州政府除遵循美國聯邦政府標準與政策外，亦訂定加州細懸浮微粒濃度標準；並依聯邦法規提出「州執行計畫」(SIP)，提出達成細懸浮微粒濃度標準之對策；近年 PM_{2.5} 及 PM₁₀ 濃度最大值皆呈下降趨勢，顯示各項防制對策已發揮效果。

加州政府推動大氣細懸浮微粒污染控制對策乃以法令、規範及計畫 (Program) 為基礎，輔以補助誘因對策，同步降低固定源(含新設、變更及既存污染源)、面源與移動源所致粒狀物排放。依據權責分工，加州政府管制對策以移動源排放減量為主，推動對策包括：

1. 柴油引擎及車輛排放控制
2. 排煙管理
3. 非柴油移動源排放控制
4. 非柴油燃料管理
5. 非使用柴油之固定源、面源管制

加州推動「訂定重型柴油新引擎排放標準管制策略」包括 4 項對策，主要針對道路/非道路之新柴油引擎及車輛訂定排放較嚴標準，道路車輛以車型年區分逐步加嚴 PM₁₀/PM_{2.5} 標準，非道路引擎則依銷售日期及馬力訂定標準。此外，「加州柴油油品規範」主要管制柴油含硫份，2006 年以後柴油最大含硫量為 15ppmw (超低含硫份柴油)，並訂定柴油含硫量驗證程序及替代柴油油品成分驗證程序。實施柴油油品規範對 PM₁₀/PM_{2.5} 及 SO_x 排放具有顯著減量效益。(楊等，2008)

(三) 加州南岸空氣品質區策略

南加州盆地是全美國空氣品質不佳地區之一，仍未達到美國國家空氣品質標準(臭氧濃度標準和細懸浮微粒濃度標準)，因此，仍須加強管制各類排放源；加州南岸空氣品質管理局(SCAQMD) 為主要執行機關。

藉由空氣品質模式模擬衍生性細懸浮微粒(硝酸鹽、硫酸鹽及銨鹽) 濃度與來源，加州南岸空氣品質區細懸浮微粒高濃度現象主要是由於衍生性微粒

所造成，固定污染源、移動源和面源等排放各項污染物（氮氧化物、硫氧化物、氨氣、揮發性有機化合物）皆為重要因素。加州南岸相關研究顯示，細懸浮微粒硝酸鹽含量由交通(移動)源直接排放約為 67%（柴油引擎排放佔 34%，裝有觸媒汽油引擎排放佔 28%，無觸媒汽油引擎排放佔 5%），鉍鹽主要與動物飼養源（28%）及裝有觸媒汽油引擎（16.2%）排放生成所致(楊等，2008)。因此，排放減量對策須納入下列排放源：

1. 固定污染源：大排放源(如：發電廠，煉油廠)、面源(如：住宅加熱器，建築塗料)等皆重要。2012 版空氣品質管理計畫(AQMP)有詳細分類各排放源管制對策，如：燃燒源、垃圾掩埋場、堆肥垃圾、金屬塗層、建築塗料等。
2. 移動污染源：道路行駛車輛(On-Road)排放與非道路行駛機具(Off-Road)排放皆重要。採礦、園藝工具、農業設備、船舶、機車、飛機排放皆須控制。
3. 農畜牧業排放源：大型動物飼養牧場等。

圖 1 為加州南岸空氣品質區轄域之固定源和移動源排放比例；細懸浮微粒直接排放源，移動源佔 10%，其餘道路車輛相關排放佔 40%。此外，南岸空氣品質管理局為達成細懸浮微粒濃度標準，依據固定源和移動源排放源分類，提出 2014、2019、2023 及 2030 年細懸浮微粒來源分布；最重要前三類直接排放源為：商業烹飪、路面灰塵及居家燃料消費(圖 2)，因而亦據以規劃未來管制重點。

美國聯邦環保署於 2006 年加嚴大氣細懸浮微粒濃度二十四小時平均值標準(24-hour PM_{2.5} NAAQS)；南岸空氣品質管理局為達成此項目標，以最新科學分析工具，採用全面性控制策略，發展 2012 年版空氣品質管理計畫(2012 AQMP)納入固定源、道路移動源(如：貨車、大型客車及家用車輛使用等)、非道路移動源(如：船舶、火車、飛機及農工業機具使用等)、面源等主要污染源之管制對策；主要前驅物（包括 NO_x、VOC、SO_x 等）皆須減低排放量。SCAQMD 先期研究成果顯示，硫氧化物減量與大氣細懸浮微粒濃度改善程度密切相關，因此，亦特別加強硫氧化物再減量對策。

為確保可於聯邦政高設定期限年度(2014 年)達成標準，南岸空氣品質管理局再推動三項關鍵管制措施：

1. 減少區域清潔空氣誘因市場(REgional CLean Air Incentives Market, RECLAIM)計畫額外氮氧化物排放，
2. 加強削減住宅燃燒木材和露天焚燒排放，以減少排放細懸浮微粒直接及前驅污染物。
3. 加強推動自願性參與、獎勵、宣導及教育。



加州南岸地區在固定污染源管制已展現具體成果，移動源和面源管制亦有進展；自 1990 年至今，PM₁₀ 微粒年平均濃度從 80 μg/m³ 降至 40 μg/m³；PM_{2.5} 微粒濃度年平均值亦從 30 μg/m³ 下降至 15 μg/m³。為達成再持續改善任務，移動污染源、面源管制則為後續近期重點對象。配合加州環保局於 2012 年州執行計畫，SCAQMD 特別推動 12 項固定污染源和 17 項移動污染源管制對策，包含以下幾類：

1. 區域短期管制策略(Basin-wide Short-term PM_{2.5} Measures)：主要短期措施乃為偶發高濃度期之特別作為性質，只適用於 PM_{2.5} 高濃度期間，且需達空氣品質改善成效才予執行。
2. 應急策略(Contingency Measures)：額外訂定多項管制對策，若南岸地區無法符合 2014 年二十四小時 PM_{2.5} 標準，則此措施將自動生效而必須執行。
3. 交通管制策略(Transportation Control Measures)：此措施為減少車輛行駛里程(Vehicle Miles Travelled, VMT)，由各相關部門執行。

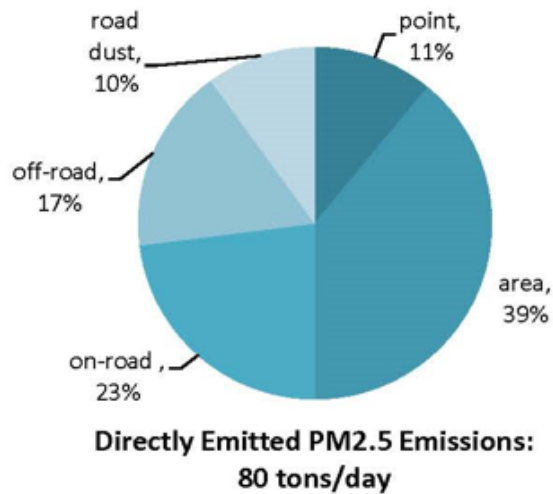


圖 1 加州南岸地區大氣細懸浮微粒各類排放源比例 (2008)

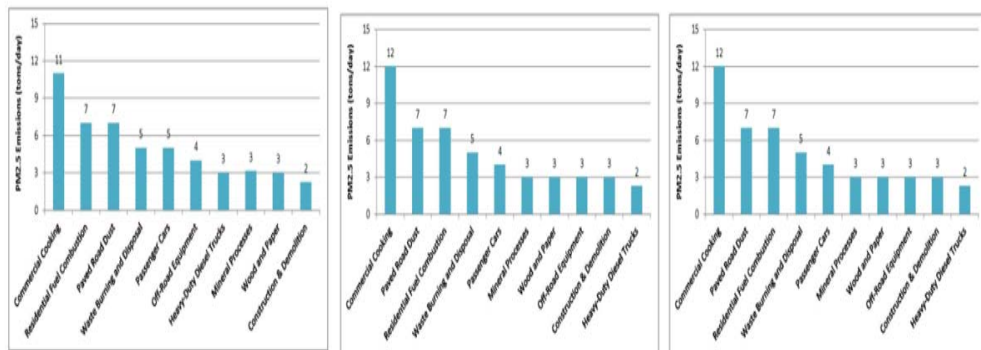


圖 2 加州南岸地區大氣細懸浮微粒前十大直接排放類別

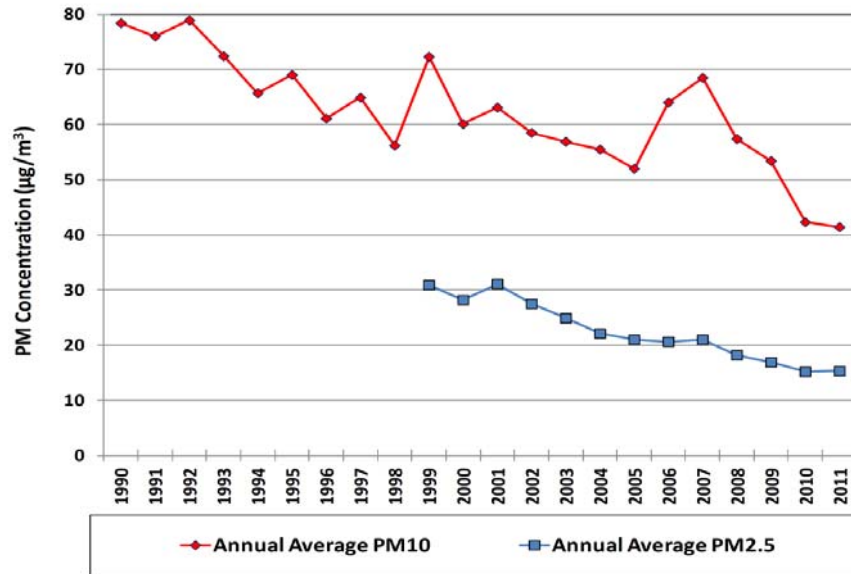


圖 3 加州南岸空氣品質區 PM10 及 PM2.5 年平均濃度變化趨勢

四、結 論

美國大氣細懸浮微粒政策以《清潔空氣法》為主軸，由聯邦、州政府及地方政府分工合作，依循既有州執行計畫、空氣品質管理計畫架構，依據各州、地區污染特徵，採取積極措施防制污染，因而展現具體改善進展。以美國加州推動大氣細懸浮微粒政策之進展經驗，整體分析顯示，以科學分析為基礎，具體掌握大氣細懸浮微粒問題特徵，確立各類污染源管制優先性與有效性，訂定明確有效之減量對策，依循既有空氣品質管理政策，落實推動執行，必能達成防制大氣細懸浮微粒污染之任務。它山之石，可以攻錯。



參考文獻

1. WHO. Air quality guidelines: global update 2005. Bonn: WHO Regional Office for Europe, 2005
2. European Commission Environment. Air quality standards
3. 香港特別行政區政府環境保護署·檢討本港空氣品質指標及制定長遠空氣品質管制策略可行性研究
4. Ministry of the Environment Government of Japan. Environmental quality standards for air
5. Defra, Scottish Executive, Welsh Assembly Government and Do ENI. The air quality strategy for England, Scotland, Wales and Northern Ireland, Volume 1
6. USEPA. National ambient air quality standards (NAAQS).
7. South Coast Air Quality Management District. 2007 Air Quality Management Plan (AQMP).
8. South Coast Air Quality Management District. 2012 Air Quality Management Plan (AQMP).
9. 楊奇儒、姚永真、蔡俊鴻 淺論大氣細懸浮微粒特性與管制化工技術,第 16 卷,第 9 期 (2008)