

# 被霾沒的島嶼

環境工程學系教授兼氣候變遷暨環境品質研究中心主任 / 蔡俊鴻  
(亦為現任中華民國環境工程學會理事長)

## 壹、天空

時序秋分，校園輕煙再起，該是追尋人理想與真理的清幽情境；曾幾何時，近年卻添增一道抹不掉對健康舒適生活的憂緒在心頭。不一樣的年代，讓我們對環境的感知與期待也不一樣了。

臺灣地狹人稠，隨著經濟成長與社會發展，環境負荷只有愈來愈沉重；更多人口，更舒適生活，更多資源需求，更多車輛，更多化石燃料消耗，於是，更多空氣污染物壟罩在寶島上空，也飄蕩在鳳凰花城的寒天枝葉間。亙古以來，空氣污染即伴隨著人類沿著歷史軌跡前進；自從火焰豐富人類生活以來，那股輕煙即飛舞在人類四周，迄今仍未消瀾。

民國六零年代，電廠、工廠煙囪冒著滾滾煙流在天際舞動翻滾，曾經是臺灣經濟成長的振奮指標，卻也是今日煙籠寶島的肇因之一。穿梭在車水馬龍繁華鬧區與綿延途道的亮鮮車輛，映照著臺灣近廿年來社會繁盛與生活便捷，卻也是今日煙霧校園的重要推手。我們改變了生活方式，同時，我們也改變了環境與生活品質。大氣環境之懸浮微粒來自於各種燃料燃燒、工業製程、車輛廢氣、農業露天燃燒、道路地表揚塵，也來自於餐飲烹調燒烤、祈求平安佑護的寺廟香火及歡渡節慶燦火硝煙間。

隨著環境科學與工程研究進展，我們更深切瞭解大氣煙霧濛濛現象與原因。飛舞在空氣環境之粒狀污染物有粗有細，依物理特徵可區分為粗微粒、細微粒、超細微粒，對人體健康與能見度造成不同程度衝擊；依化學組成特徵

區分，包含有機化合物、無機鹽類、地殼(塵土)成份；依粒狀物形成機制，大氣環境之懸浮微粒可分為「原生性粒狀污染物」與「衍生性粒狀污染物」，前者由上述各類污染源直接排放於大氣環境而影響空氣品質，後者則由各類污染源排放前趨氣態污染物(如：硫氧化物、氮氧化物、氨、揮發性有機物、酸性氣體等)於大氣環境進行光化學反應與乾/濕相反應，形成複雜成份之粒狀污染物。因此，不同季節大不同地點的空氣污染物濃度、成份呈現極大變異特徵，豐富多樣的大氣條件也把我們面臨的空氣污染問題複雜化了！圖1為由校園眺望之景緻，晴空煙濛間，各具風韻，卻也是我們的挑戰。



(a) PM10 : 54  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM2.5 : 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$



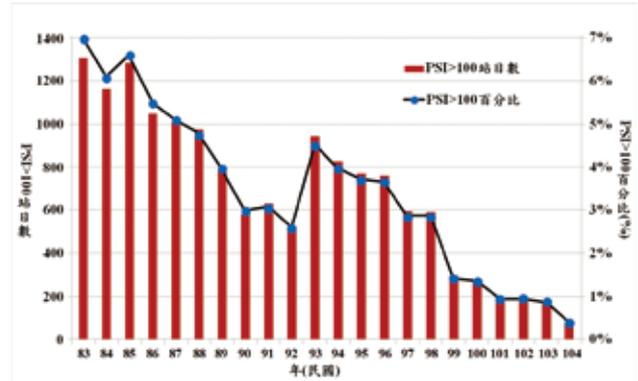
(b) PM10 : 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  PM2.5 : 67  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

圖1校園眺望

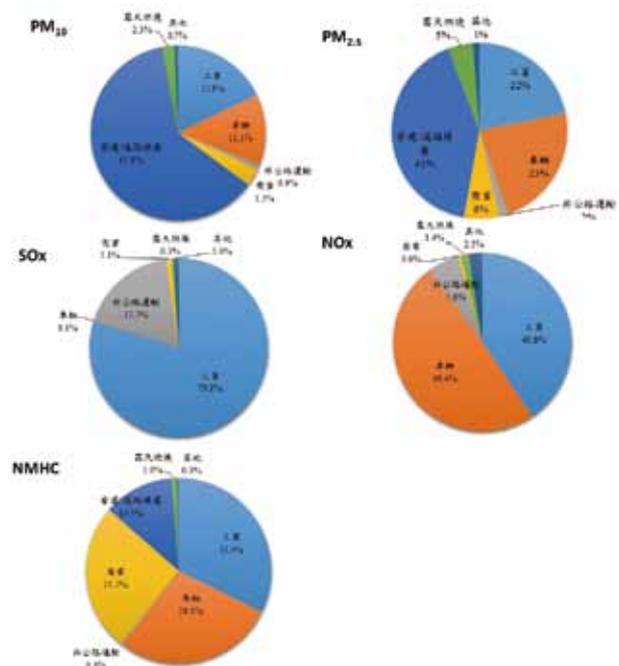
## 貳、臺灣大氣懸浮微粒問題特徵

為瞭解空氣污染程度，政府訂定空氣品質標準並長期監測空氣品質。於民國105年，全臺灣地區空氣品質監測值未符空氣品質標準(即為空氣品質不良日數)之比例約0.55%，主要問題為懸浮微粒(PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>)與臭氧。依據近五年空氣品質監測資料趨勢，臺灣地區空氣品質呈現改善進展，亦較亞洲多數國家空氣品質為佳，顯示經過長期推動空氣污染防治工作，臺灣空氣品質亦呈現顯著改善。圖2為臺灣空氣品質測站歷年空氣品質不良日數變化趨勢。惟由於近年臺灣地區民眾對空氣品質期望大幅提昇，益以長程傳輸效應致中國大陸塵霾嚴重影響臺灣局部地域空氣品質，本地污染源於不利擴散之大氣環境狀態下，亦造成多次局部區域大氣懸浮微粒高污染濃度事件，引發民眾關切。

造成高濃度空氣污染事件固然與大氣環境不利擴散條件有密切關係，臺灣本地空氣污染物排放量高於大氣涵容量亦為重要原因。臺灣各項空氣污染物排放量分別約為：粒狀物(PM<sub>10</sub>) 16.2萬公噸/年、細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>) 7.5萬公噸/年、硫氧化物11.4萬公噸/年、氮氧化物38.9萬公噸/年、非甲烷碳氫化合物45.5萬公噸/年；各項污染物主要排放源皆為交通源、工業源、逸散源(面源)，排放源比例如圖3所示。臺南地區各項空氣污染物排放源比例與與全國各排放源比例相似，惟略有差異；臺南地區由交通源所致PM<sub>2.5</sub>排放量比例較高(27%)，NO<sub>x</sub>排放量比例更達74%，顯示車輛排放空氣污染物影響甚大。

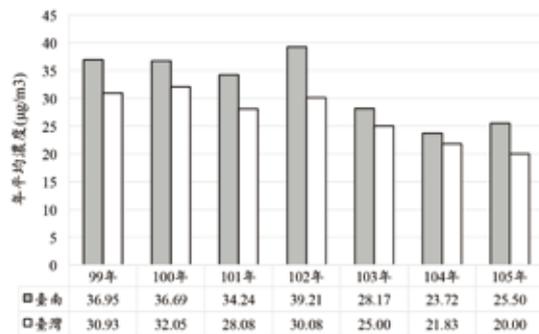


資料來源：環境保護署 空氣品質保護規劃  
圖 2、全國一般空氣品質測站歷年 PSI>100 變化圖



資料來源：環境保護署 空氣污染物排放量清冊 (TEDS9.0)  
圖 3、臺灣地區各項空氣污染物排放源比例

解析空氣品質監測數據顯示，民國105年臺灣大氣細懸浮微粒平均濃度為 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，與民國101年 - 103年濃度比較呈現改善趨勢。臺南地區大氣細懸浮微粒平均濃度略高於全臺灣平均值，亦呈現逐年降低趨勢；民國105年濃度比101年濃度約降低26%。圖4為全國及臺南測站之細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)民國99年至105年之年平均濃度。



註：105年僅統計1-11月監測資料

圖4、全國及臺南測站之細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)民國99年至105年之年平均濃度。

# 手動測站

以都會地區大氣環境細懸浮微粒濃度來源解析研究結果顯示，交通源排放影響(原生性與衍生性)約佔70%；因此，改善都會區空氣品質最有效對策乃減少交通工具(機車、汽車、柴油車)排放污染物。行政院環境保護署與各地方政府近年執行「臺灣清淨空氣行動計畫」即針對移動源、電力事業加強管制，應可再進一步改善空氣品質。

### 參、細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)管制對策

有效解決空氣污染問題須以科學為基準，充分瞭解問題形成原因，再以工程技術手段，解決污染排放問題。

由細懸浮微粒污染來源分析結果可知，除境外污染源所致影響外，臺灣境內污染源皆有重要影響，包括：工業源(工廠)、移動源(車輛/船舶/施工機具等)及逸散源(營建工程/露天燃燒/裸露地等)；因此，微粒污染管制對策須由此三類污染源著手。「臺灣清淨空氣行動計畫」提出之防制煙塵掃除強化措施即涵蓋相關污染源控制對策，並納入政府應變作為，從各層面強化空氣污染管制力道，務實改善空氣品質。防制措施包括：

#### 1. 工業源相關管制措施

- (1) 改變燃料對策：推動各式鍋爐改用乾淨燃料，由燃煤或重油改成使用天然氣或含硫量較低之柴油。
- (2) 推動季節性強化管制作為：於秋冬季節要求地方政府加強查核排放量大之污染源是否依法操作，嚴格執法確保法規符合度。

#### 2. 移動源相關管制措施

- (1) 管制大客貨車黑煙：加速汰換老舊一、二期柴油車，並推動三期柴油車加裝濾煙器。
- (2) 機車青白煙：以二行程機車為對象，透過強化稽查管制及限制使用等措施加速淘汰二行程機車，並加碼補助換購電動二輪車，全面汰換老舊二行程機車。

### 3. 逸散源相關管制措施

- (1) 河川揚塵防制：透過保安林新植、撫育、補植及防風籬新設等作為抑制河川揚塵。
- (2) 裸露地揚塵(含道路揚塵)：落實稽查管制，減少裸露地、主要道路及營建工程砂石車進出所致揚塵；另強化精進道路維護管哩，提昇道路乾淨度。
- (3) 營建及堆置揚塵：落實公共工程空氣污染防制作為，並推動大型露天堆置場室內化，減少逸散污染。
- (4) 改善風俗習慣：推動環保祭祀及宣導禁燒環保觀念，使民眾減少燒香、燒金紙、燃放鞭炮煙火，降低民俗宗教活動所致環境污染行為。
- (5) 管制餐飲業油煙：要求一定規模以上餐飲業者裝設污染防制設備並落實操作維護，減少餐飲業污染排放。
- (6) 農業廢棄物燃燒排煙：推動稻草腐化菌現地處理、稻草再利用供銷平台、訂定稻草露天燃燒處理標準作業等等，降低稻草露天燃燒行為。

### 4. 政府應變

- (1) 強化緊急應變管制空氣污染物標準，將空氣品質嚴重惡化等級區分為四級：預警警告、初級嚴重惡化、中級研重

惡化、緊急嚴重惡化；並增訂PM<sub>2.5</sub>發布空氣品質嚴重惡化警告數值。

- (2) 落實授權地方政府執行緊急應變措施，明確劃分中央及地方權責分工，並納入地方政府訂定之空氣污染防制計畫書。
- (3) 強化各級空氣品質嚴重惡化對映管制要領內容，針對不同等級空品惡化研擬多元管制要領內容，並納入緊急防制辦法中。
- (4) 修正公告「空氣品質嚴重惡化緊急防制辦法」，強化因應空品嚴重惡化應變機制。

整體而言，推動之管制措施乃整合各部會、各地方政府空氣污染減量量能，並納入全民共同參與，以期有效減少空氣污染物排放量，達成改善空氣品質目標。

## 肆、挑戰與機會

本校為國內工程研究重鎮，環境領域研究教學成就享譽海內外。環境工程學系成立於民國65年，初期以水污染防治為主軸，隨社會變遷與需求，擴展領域至空氣污染、廢棄物、土壤地下水污染、能源與環境等，成為國內於環境領域最完整之高等學府。環境工程學系於民國七0年初期開始發展空氣污染教學研究，於

民國76年設立空氣污染實驗室，進行空氣污染採樣、分析、監測調查、控制技術研究。

空氣污染實驗室研究群因應國內空氣污染議題發展與防制需求，陸續進行大氣污染特性與傳輸、空氣污染源排放特性與控制技術之學術與工程應用研究；自民國90年代起，參與國內空氣污染防制政策發展規劃研究，亦進行空氣品質規劃管理、空氣污染源排放減量對策研析、都會區空氣品質、有害空氣污染物管制策略、氣候變遷與空氣品質關連性等主題研究，研究群亦轉型為「空氣資源研究室」。研究群歷年科技部學術研究主題涵蓋：空氣品質監測技術、大氣微粒及臭氧污染特性與傳輸、化學吸附臭氣控制技術、廢五金露天燃燒有害空氣污染物調查、石化工業區空氣污染影響、揮發性有機空氣污染物逸散源檢測排放係數及減量技術、大氣奈米微粒化學組成特性與氣相前驅物質關聯性、汽機車使用油品對空氣污染物及有機毒性空氣污染物排放特性影響、發展酒精汽油策略對大氣濃度分佈特性與健康風險評估等。此外，參與國內政府相關部門空氣污染防制政策與環境品質發展規劃研究主題涵蓋：南部科學工業園區產業環境品質績效評析與永續環境綠色園區願景策略、氣候變遷對臺灣空氣品質潛在衝擊評估與因應策略、南高屏地區空氣污染總量管制規劃、固定污染源有害空氣污

染物管制策略及對策規劃、行業別揮發性有機空氣污染物管制、研擬新世代全國空氣品質監測系統發展綱要計畫、臺灣清淨空氣計畫規劃暨近程施行方案研訂、環保部門溫室氣體排放調查研究等。

行政院環境保護署於民國九0年代推動揮發性有機空氣污染物管制標準、近年推動新世代全國空氣品質監測系統與公告施行高屏地區空氣污染總量管制計畫、臺灣清淨空氣行動計畫等，皆參採上述研究規劃成果，乃為學術研究成果應用於改善環境品質以保護國民健康之具體例証。

臺灣地區空氣污染防制工作勢必須持續推動，且將朝向空氣品質管理與氣候變遷主軸發展，更精緻之空氣品質政策基礎研究仍將持續發展，包括：先進空氣品質監測與分析技術、空氣品質模擬預測技術、高效率與先端空氣污染控制技術、空氣品質管理策略與各類污染控制對策發展、空氣品質改善成本效益評估方法、健康風險評估與管理、能源與環境共益政策、空氣品質與氣候變遷共進互益策略等皆屬之。因此，跨領域合作發展為必然趨勢，本校擁有工、理、醫、社科學院，未來皆有機會於空氣品質管理領域發展並有所貢獻。