

行政院及所屬各機關出國報告提要

銜

接、最新監測技術應用

頁數：186 頁(含附件)

出國計畫主辦機關：行政院環境保護署

出國人員：

張順欽 行政院環境保護署 環境監測及資訊處 科長
林錫旗 行政院環境保護署 環境監測及資訊處 設計師

出國類別：考察

出國期間：民國 91 年 10 月 9 日至 10 月 17 日

出國地區：美國

報告日期：民國 92 年 1 月 2 日

分類號/目：I5/化學與環境科學

關鍵詞：

內容摘要：

本次考察第一站到達位於南加州的加州南灣空氣品質管理局(South Coast Air Quality Management District, 簡稱 SCAQMD), 拜會了該局多位資深官員及參觀二個空氣品質監測站。考察第二站到達美國環保署位於北卡州三角研究園區, 考察美國環保署對於 PM_{2.5} 監測之最新發展與規劃, 以及未來推動方向。

SCAQMD 現有空氣品質監測站共有 32 個; 空氣品質監測站由 12 人負責操作(平均每人約負責 3 個測站), 維護工作由 10 個人負責, 另有 6 個人負責人工採樣, 內部品質保證工作由 3 個人負責, 進行儀器定期內部品保。另外委託外包執行外部品保查核。各測站監測項目包括 SO₂(7 站)、O₃(32 站)、PM₁₀(32 站)、PM_{2.5}(19 站)、NO_x(25 站)等。各個測項站數並不相同, 其中以 SO₂ 測項站數最少, 而探其原因主要為 SO₂ 環境中濃度已遠低於空氣品質標準, 因此站數減少, 僅保留 7 個設置於該類污染附近。空氣品質監測站減站原則, 在檢討空氣品質監測站數時, 凡監測結果符合空氣品質標準(環境中濃度遠低於空氣品質標準), 則可減少該測項之監測, 如 SO₂、Pb 等。測站減少時, 則以鄰近區域各該測站測值相關性進行檢討, 當有數個測站相關性高, 且符合測站減少原則, 此時保留測值高之測站繼續監測, 測值低而與高測值測站相關性高者, 可進行

減站。

加州 PM_{2.5} 24hr 質量監測網已於 1999 年建立，共有 82 個測站，目前正加速擴增 PM_{2.5} 連續質量監測及 PM_{2.5} 連續化學成份監測網。以提供 PM_{2.5} 質量及化學成份資料，支持空氣品質保護計畫，PM_{2.5} 監測結果將用於界定不合格區域、發展及追蹤空氣品質改善計畫，評估區域煙霧(regional haze)，協助健康效應研究，以及支援其他大氣氣膠研究計畫等。由於空氣品質標準之判定須用到連續三年數據，因此，目前僅有二年資料尚不足以用來判定是否符合空氣品質標準，但可用來比較各測站間之監測結果。

PM_{2.5} 監測網之設置在執行國家新的 PM_{2.5} 空氣品質標準時，為重要之工作。1997 年 7 月公佈新的空氣品質標準以來，美國聯邦除了有關微粒研究經費，已投入超過 1 億 2800 萬美元，來建立 PM_{2.5} 監測網。PM_{2.5} 監測網相關規定係依美國聯邦法規 Title 40, Code of Federal Regulations(40 CFR), Parts 50, 53, 58。美國環保署細懸浮微粒(PM_{2.5})監測網大致上分成三大類：質量監測、例行化學成分分析、及特殊研究目的之超級測站。監測網主要目的：空氣品質標準符合度評估、發展空氣品質維護計畫(State Implementation Plan, SIP)及追蹤污染減量趨勢及進度。

細懸浮微粒(PM_{2.5})質量監測(FRM)約有 1050 個站，例行性化學成分監測約有 300 站，每六天或十二天採集一次樣品。其中 54 個為建立趨勢之測站每三天採樣一次，40 個測站支援超級測站每三天採樣，10 個站配合健康效應研究每天採樣，約 200 個測站支援空氣品質維護計畫(SIP)及其他計畫每六天採樣一次。根據 40 CFR 58, Appendix D, § 2.8.2.3 規定，在全美 52 個大的都會區域須設置 PM_{2.5} 連續監測儀器，目前全美各州約有 115 個連續式監測站，未來可能擴增到 200 站。連續式 PM_{2.5} 監測結果將用作公佈即時短期間測數據，提供細微粒日夜變化及污染特徵，作為科學健康評估瞭解暴露型態(exposure pattern)使用。美國環保署空氣品質監測之規劃與發展方向，可以作為國內業務推動之參考。

目 錄

公務出國報告提要-----	1
壹、摘要-----	5
貳、行政院環保署因公派員出國計畫書-----	7
一、計畫內容-----	7
二、出國理由與業務發展關係-----	8
參、考察心得-----	9
一、加州南灣空氣品質管理局 (SCAQMD) 空氣品質監測現況-----	9
二、空氣品質監測站-----	15
三、加州 PM2.5 監測網設置現況及未來發展-----	26
四、美國環保署 PM2.5 監測執行現況-----	41
肆、建議事項-----	49
附錄暨參考資料：	
附錄 1、Smoke Management Guidelines for Agricultural and Prescribed Burning	
附錄 2、PM SUPERSITES PROGRAM BACKGROUND	
附錄 3、Environmental Technology Verification Program Advanced Monitoring Systems Pilot	

圖 目 錄

圖 1、考察期間在加州南灣空氣品質管理局合影-----	9
圖 2、加州南灣空氣品質管理局 PM ₁₀ 人工採樣器-----	13
圖 3、加州南灣空氣品質管理局 PM ₁₀ 連續式監測儀器-----	13
圖 4、PM _{2.5} sequential filter system(collocated sampler)-----	14
圖 5、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站-----	15
圖 6、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站採樣口-----	16
圖 7、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站採樣口及查核氣體入口-----	16
圖 8、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站採樣系統外觀-----	17
圖 9、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站採樣系統-----	18
圖 10、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站採樣流量計-----	18
圖 11、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站採樣系統校正氣體入口-----	19
圖 12、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站氣象監測鐵塔-----	20
圖 13、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站氣象監測鐵塔與儀器平台-----	20
圖 14、氣象監測鐵塔儀器平台-----	21
圖 15、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站氣象監測鐵塔儀器平台升降設施-----	21
圖 16、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站氣象監測鐵塔基座-----	21
圖 17、光化學評估監測站(PAMS)使用之儀器-----	22
圖 18、光化學評估監測站使用 canister 採樣後分析-----	22
圖 19、加州南灣空氣品質管理局電動車充電站及專用停車場-----	24
圖 20、加州南灣空氣品質管理局電動車充電站及專用停車場-----	24
圖 21、加州南灣高速公路高乘載專用車道-----	25

赴美考察心得

壹、摘要

本次考察第一站到達位於南加州的加州南灣空氣品質管理局 (South Coast Air Quality Management District, 簡稱 SCAQMD), 拜會了該局多位資深官員及參觀二個空氣品質監測站。考察第二站到達美國環保署位於北卡州三角研究園區, 考察美國環保署對於 PM_{2.5} 監測之最新發展與規劃, 以及未來推動方向。

SCAQMD 現有空氣品質監測站共有 32 個; 空氣品質監測站由 12 人負責操作(平均每人約負責 3 個測站), 維護工作由 10 個人負責, 另有 6 個人負責人工採樣, 內部品質保證工作由 3 個人負責, 進行儀器定期內部品保。另外委託外包執行外部品保查核。各測站監測項目包括 SO₂(7 站) O₃(32 站) PM₁₀(32 站) PM_{2.5}(19 站) NO_x(25 站)等。各個測項站數並不相同, 其中以 SO₂ 測項站數最少, 而其原因主要為 SO₂ 環境中濃度已遠低於空氣品質標準, 因此站數減少, 僅保留 7 個設置於該類污染附近。空氣品質監測站減站原則, 在檢討空氣品質監測站數時, 凡監測結果符合空氣品質標準(環境中濃度遠低於空氣品質標準), 則可減少該測項之監測, 如 SO₂、Pb 等。測站減少時, 則以鄰近區域各該測站測值相關性進行檢討, 當有數個測站相關性高, 且符合測站減少原則, 此時保留測值高之測站繼續監測, 測值低而與高測值測站相關性高者, 可進行減站。

加州 PM_{2.5} 24hr 質量監測網已於 1999 年建立, 共有 82 個測站, 目前正加速擴增 PM_{2.5} 連續質量監測及 PM_{2.5} 連續化學成份監測網。以提供 PM_{2.5} 質量及化學成份資料, 支持空氣品質保護計畫, PM_{2.5} 監測結果將用於界定不合格區域、發展及追蹤空氣品質改善計畫, 評估區域煙霧(regional haze), 協助健康效應研究, 以及支援其他大氣氣膠研究計畫等。由於空氣品質標準之判定須用到連續三年數據, 因此, 目前僅有二年資料尚不足以用來判定是否符合空氣品質標準, 但可用來比較各測站間之監測結果。

PM_{2.5} 監測網之設置在執行國家新的 PM_{2.5} 空氣品質標準時, 為重要之工作。1997 年 7 月公佈新的空氣品質標準以來, 美國聯邦除了有關微粒研究經費, 已投入超過 1 億 2800 萬美元, 來建立 PM_{2.5}

監測網。PM_{2.5} 監測網相關規定係依美國聯邦法規 Title 40, Code of Federal Regulations(40 CFR), Parts 50, 53, 58。美國環保署細懸浮微粒(PM_{2.5})監測網大致上分成三大類：質量監測、例行化學成分分析及特殊研究目的之超級測站。監測網主要目的：空氣品質標準符合度評估、發展空氣品質維護計畫(State Implementation Plan, SIP)及追蹤污染減量趨勢及進度。

細懸浮微粒(PM_{2.5})質量監測(FRM)約有 1050 個站，例行性化學成分監測約有 300 站，每六天或十二天採集一次樣品。其中 54 個為建立趨勢之測站每三天採樣一次，40 個測站支援超級測站每三天採樣，10 個站配合健康效應研究每天採樣，約 200 個測站支援空氣品質維護計畫(SIP)及其他計畫每六天採樣一次。根據 40 CFR 58, Appendix D, § 2.8.2.3 規定，在全美 52 個大的都會區域須設置 PM_{2.5} 連續監測儀器，目前全美各州約有 115 個連續式監測站，未來可能擴增到 200 站。連續式 PM_{2.5} 監測結果將用作公佈即時短期間測數據，提供細微粒日夜變化及污染特徵，作為科學健康評估瞭解暴露型態(exposure pattern)使用。美國環保署空氣品質監測之規劃與發展方向，可以作為國內業務推動之參考。

貳、行政院環保署因公派員出國計畫書

一、計畫內容

- (一) 計畫項目：中美環保技術合作計畫--考察美國空氣品質監測站網運轉管理制度及新舊系統汰換銜接、最新監測技術應用
- (二) 項目名稱：考察
- (三) 前往國家：美國
- (四) 行程安排：美國環保署
- (五) 出國期間及人數：九十一年十月九日至十七日，共九日，二人。
- (六) 出國行程：

日期	地點	活動名稱
九十一年十月九日(三)	台北至美國洛杉磯	台北出發，抵達美國洛杉磯
九十一年十月十日(四)	洛杉磯	考察美國南加州空氣品質監測汰換及未來規劃
九十一年十月十一日(五)	洛杉磯	考察美國南加州空氣品質監測站網運轉管理
九十一年十月十二日(六)	洛杉磯	考察資料整理
九十一年十月十三日(日)	洛杉磯至北卡州 RTP*	考察資料整理及行程
九十一年十月十四日(一)	北卡州 RTP	考察美國環保署空氣品質監測最新發展
九十一年十月十五日(二)	北卡州 RTP	考察美國環保署監測資訊管理與模式運用
九十一年十月十六、十七日(星期三、四)	北卡州 RTP 至台北	回程

註：RTP：美國環保署位於北卡州之三角研究園區

(七) 預期目標及達成計畫之方法

透過美國環保署安排，考察美國空氣品質監測站網運轉管理制度及新舊系統汰換銜接、最新監測技術應用等，可瞭解國外空氣品質先進監測技術發展，作為國內空氣品質監測汰換業務參考。

(八) 經費概算及來源

1. 交通費(機票及美國境內交通費)：三九、四〇〇元×二人=七八、八〇〇元。
2. 生活費：

$$\{ (一八六美元 \times 〇.四 \times 一日 + 一八六美元 \times 三日 + 一〇八美元 \times 三日 + 一〇八美元 \times 〇.四 \times 二日) \times 三五.二七 \} \times 二人 = 七三、五五九元。$$
3. 護照簽證、保險及機場服務費等：三、八五〇元 + 七九九 × 二人 = 五、四四八元。
4. 雜支：六〇〇元 / 天 × 九天 × 二人 = 一〇、八〇〇元
5. 合計：一六八、六〇七元
6. 經費來源：由本署環境監測及資訊處(91-L1-01-02)辦理中美環保技術合作計畫項下支付。

二、出國理由與業務發展之關係

本署自九十一年開始進行空氣品質監測網汰換，並新增監測項目等，以提升空氣品質監測系統功能，為順利推動業務亟須汲取國外相關作業技術經驗。由於美國環保署空氣品質監測相關作業規範相當完善，各項監測技術之發展也領先國際，因此藉由考察美國空氣品質監測站網運轉管理制度及新舊系統汰換銜接、最新監測技術應用等，可瞭解國外空氣品質先進監測技術發展，作為國內空氣品質監測站網汰換業務參考。

參、考察心得

本次考察到達位於南加州的加州南灣空氣品質管理局(South Coast Air Quality Management District, 簡稱 SCAQMD), 承該局公共事務部 Ms.Rainbow Y. Yeang 安排, 拜會了該局多位資深官員及參觀二個空氣品質監測站。考察第二站到達美國環保署位於北卡州三角研究園區, 考察美國環保署對於 $PM_{2.5}$ 監測之最新發展與規劃, 以及未來推動方向。



圖 1、考察期間在加州南灣空氣品質管理局合影

以下為本次考察心得介紹：

一、加州南灣空氣品質管理局(SCAQMD)空氣品質監測現況

(一)SCAQMD 現有空氣品質監測站共有 32 個(早期建置 34 個監測站, 後減少為 32 個);空氣品質監測站由 12 人負責操作(平均每人約負責 3 個測站), 維護工作由 10 個人負責, 另有 6 個人負責人工採樣, 內部品質保證工作由 3 個人負責, 進行儀器定期內部品保。另外委託外包執行外部品保查核。

(二)各測站監測項目包括 SO_2 (7 站)、 O_3 (32 站)、 PM_{10} (32 站)、 $PM_{2.5}$ (19 站)、 NO_x (25 站)等(詳如表一)。這裡我們發現各個

測項站數並不相同，其中以 SO₂ 測項站數最少，而探其原因主要為 SO₂ 環境中濃度已遠低於空氣品質標準，因此站數減少，僅保留 7 個設置於該類污染附近。

表一、South Coast Air Quality Management District
空氣品質監測儀器數量

Ozone	32		PM ₁₀ /BAM	6
NOx	25		PM ₁₀ /Dichot	4
CO	21		PM _{2.5} /RM	21
SO ₂	7		PM _{2.5} /BAM	2
Met	31		PM _{2.5} /Dichot	4
TSP	16		PAMS	7
PM ₁₀ /SSI	23		PAMS/GC	2
PM ₁₀ /TEOM	10		TEP2000	9

Autocalibration systems	29		Audit Transfer Standards	36
Telemetry Remotes	31		Primary Reference Standards	8
Paperless Chart Recorders	22		Special Purpose Vehicles	12
Calibration Transfer Standards	36			

(三)表一為 South Coast Air Quality Management District 空氣品質監測儀器數量，由於南加州地區臭氧污染仍不符美國聯邦標準，因此臭氧監測站數量較多。臭氧監測網測站共有 28 個監測站，其中 5 個測站為國家級測站(NAMS)，其餘為地方級監測站。針對臭氧前驅物設有 7 個光化學評估監測站(PAMS)，在臭氧季節(Ozone Season，約每年 5 月至 9 月)以採樣器採集空氣樣本送回實驗室分析，其中 2 個監測站設有連續式氣相層析儀，用以連續分析臭氧前驅物濃度變化，探

討臭氧生成原因。

- (四)二氧化氮監測網共有 22 個監測站，其中 4 個為國家級監測站，7 個為光化學評估監測站。一氧化碳監測網共有 23 個監測站，其中 4 個為國家級監測站，2 個污染調查監測站，其餘為地方測站。二氧化硫監測網共有 7 個監測站，其中 4 個為國家級監測站，3 個為地方測站。由於二氧化硫排放管制得宜，空氣中濃度已遠低於國家空氣品質標準，因此監測站數量也隨之減少，僅維持 7 個監測站設置於主要污染排放源附近。
- (五)PM_{2.5} 監測站共有 19 個，其中 5 個監測站每日採樣，11 個測站每三日採樣一次，另 1 個測站每 6 日採樣一次。監測站中有 4 個站進行成分分析。光化學評估監測站共有 7 個，結合 4 個高空氣象觀測以利進行臭氧生成原因分析。
- (六)各個監測站與 SCAQMD 採專線(PHONE RELAY)資料傳輸，並於必要時以測站內一般電話線路備援傳輸資料，每個測站每分鐘數據均傳回中心再行處理，計算小時平均後進行資料發布及數據確認。
- (七)空氣品質監測站端設有無紙之紀錄器 (paperless recorder, Euro therm)，經由撥接式電話線路可直接下載監測儀器數值。即時測值(分鐘值)，凡數據有效性確認過程認為數據有疑義，則可立即連線查詢儀器輸出狀況，驗證數據有效性。
- (八)數據有效值確認工作共有 3 個人負責，有效性確認分成三級，第一級(level 1)為去除無效數據，第二級則針對可疑數據進行測站端紀錄器驗證，第三級則為後續統計分析確認。
- (九)如同 SO₂ 一般，鉛監測站由 43 站減為 7 站，由於鉛在環境

中測定濃度低，因此減少測定站數。

- (十) 空氣品質監測站減站原則，在檢討空氣品質監測站數時，凡監測結果符合空氣品質標準(環境中濃度遠低於空氣品質標準)，則可減少該測項之監測，如 SO₂、Pb 等。測站減少時，則以鄰近區域各該測站測值相關性進行檢討，當有數個測站相關性高，且符合測站減少原則，此時保留測值高之測站繼續監測，測值低而與高測值測站相關性高者，可進行減站。
- (十一) 空氣品質監測結果之發布除每小時公布於網站供作民眾查詢外，並送到美國環保署(USEPA)(AIRs)供即時查詢。為確保空氣品質監測數據之正確性，該局委託外包廠商進行測值即時性檢核。而數據有效性確認則由該局每個月進行，因此即時性數據傳輸僅供即時查詢使用。至於提供美國聯邦政府進行空氣品質趨勢分析之數據，則係經該局確認後之數據，因此時間上約有 1~2 個月的延遲。
- (十二) 對 PM₁₀ 監測而言，該局採用 FRM 人工採樣及自動監測二種方式。大體上人工採樣係用以量測質量濃度成份分析(部分測站)，同時提供聯邦空氣品質數據分析使用。至於自動測站監測採用貝他射線衰減法(BAM)共 5 站，而 TEOM 則有 5 站，自動監測結果通常用於紀錄 PM₁₀ 日後變化情形成(特殊事件影響，如森林火災，並作為空氣品質預報。因此，人工採樣與自動監測結果之差異性，基於用途之差異性，並未深入探討，所有監測結果之後續分析，包括送美國環保署之數據，均以人工監測為主，如自動監測結果與人工採樣結果差異性過大，則儀器須送原廠調校。



圖 2、加州南灣空氣品質管理局 PM₁₀ 人工採樣器



圖 3、加州南灣空氣品質管理局 PM₁₀ 連續式監測儀器

(十三) 類似 PM₁₀ 之情形，PM_{2.5} 亦以人工採樣監測為主，該局也嘗試進行 BAM PM_{2.5} 自動監測。PM_{2.5} 自動監測結果之應用與 PM₁₀ 自動監測相同，其目的在於即時發布監測結果，瞭解濃度日夜變化及探討特殊污染事件等。

(十四) 根據美國環保署人員表示，在聯邦政府同時也接受 PM_{10} 連續自動監測結果，但僅要求提報日平均值(據 USEPA RPT 人員表示)。

(十五) 根據聯辦法規要求，該局設置 17 個 $PM_{2.5}$ 採樣站， $PM_{2.5}$ 採樣後送回實驗室分析，包括秤重或者成份分析等。而為確保數據精準性，根據美國環保署規定，在 17 站中設計同址採樣，同步採樣分析，用來進行採樣結果之精密度評估。



圖 4、 $PM_{2.5}$ sequential filter sampler system (collocated sampler)

二、 空氣品質監測站

(一)此行參觀二個空氣監測站，其中 AZUSA 測站係長久性水泥建築，空間頗大，除了例行性監測儀器外，該站亦為光化測站，餘裕空間則提供學校研究使用；另一站為 ANAHEIM 測站，係屬於移動式測站，長 20 呎、寬 8 呎。測站參觀結果，有幾點值得作為國內借鏡。



圖 5、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站



圖 6、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站採樣口

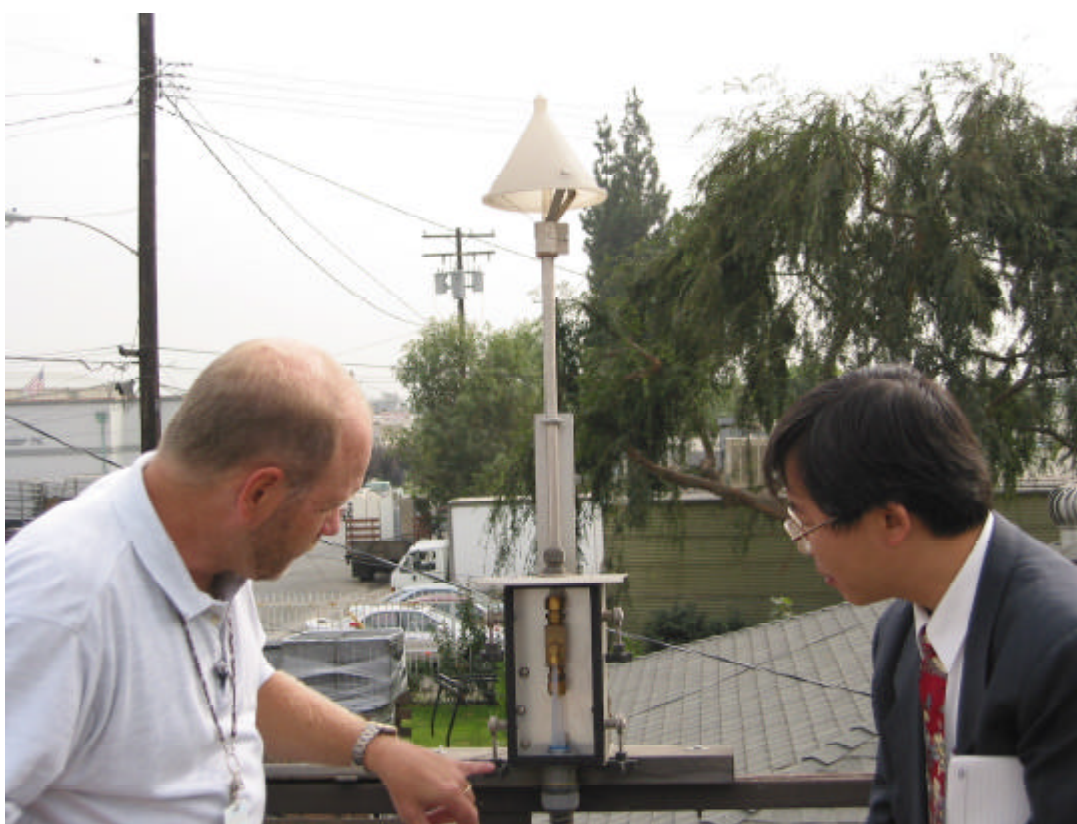


圖 7、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站採樣口及查核氣體入口



圖 8、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站採樣系統外觀

(二)空氣品質監測站之採樣系統係以流量計控制，採定流量 3 公升/分鐘，自外界採氣體進入站房內供儀器分析使用，此舉有助於瞭解採樣系統是否正常，避免採樣系統故障時採集到不具代表性數據，影響監測數據品質。這種採樣系統設計與國內之設計方式截然不同，值得國內參考。



圖 9、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站採樣系統

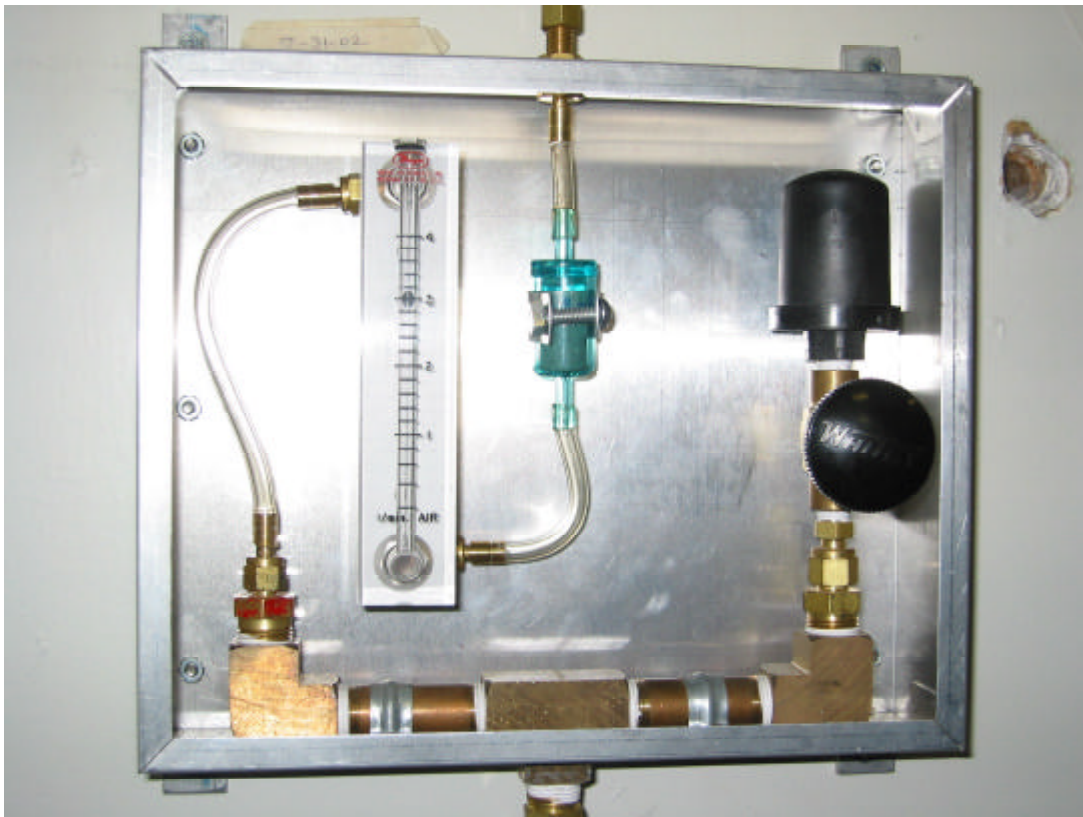


圖 10、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站採樣流量計

- (三)各儀器校正用鋼瓶均置於室內監測儀器旁，此舉除有助於縮短校正用傳輸管路長度，降低中途洩漏之可能性，鋼瓶置於站房內空調系統中，亦能有助於降低鋼瓶置於戶外，因溫度變化造成之危險。惟對於管路是否會有洩漏之虞應再日常操作過程特別留意。
- (四)校正氣體送至採樣口再經採樣系統抽入監測儀器校正，由於採樣系統係 3 公升/分鐘，故校正氣體以 8 公升/分鐘注入採樣口，採樣口為開放式設計，如此過剩之校正氣體由採樣口排出，毋需加裝閥門控制。校正氣體經由採樣系統進入監測儀器分析，其優點在於可以在校正同時驗證採樣系統是否漏氣，污染物是否與採樣管路反應或濾紙是否過髒，當然包括儀器是否產生偏移等，有別於校正氣體直接進入儀器校正之作法。這種校正系統設計與國內之設計方式截然不同，值得國內參考。惟一缺點是校正氣體用量會較大。

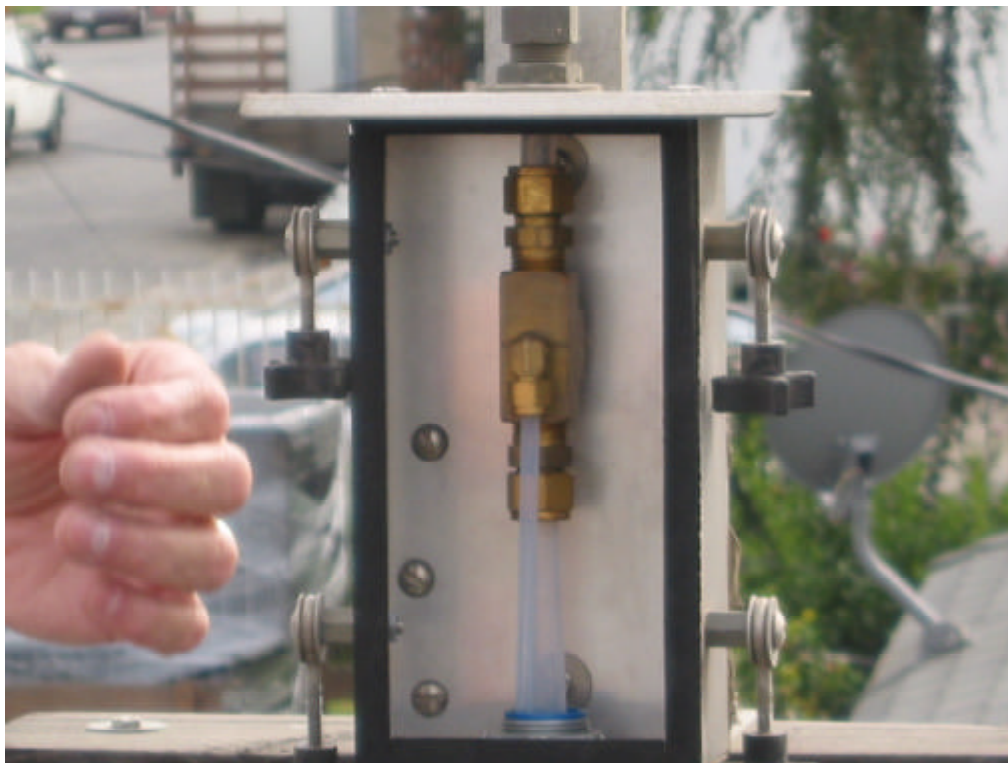


圖 11、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站採樣系統校正氣體入口

(五)氣象塔之設計亦可供本署借鏡，該局氣象塔採固定式設計，氣象儀器則設置於氣象塔旁之平台，在需要校正或調修時，再將儀器平台降下。此舉可免除整個氣象塔調降操作人員可能危險，或氣象鐵塔升降過程時間一久造成氣象塔容易傾斜，致使風向、風速量測產生誤差。當儀器平台移動至定位後，？桿收起，亦可避免未經許可人員亂動儀器。



圖 12、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站氣象監測鐵塔



圖 13、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站氣象監測鐵塔與儀器平台



圖 14、氣象監測鐵塔儀器平台



圖 15、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站氣象監測鐵塔儀器平台升降設施



圖 16、加州南灣 AZUSA 空氣品質測站氣象監測鐵塔基座

- (六)測站內部設置人員進出登記簿，供人員進出登記使用，登記簿為合訂本，不使用活頁方式。登記簿登記內容為進出測站重要記事，此外如有儀器增減、暫停運轉等則另以紀錄版貼於測站內明顯處。
- (七)由於該地區屬於臭氧污染嚴重，不符合空氣品質標準，因此根據聯邦規定，設置光化學評估監測站(Photochemical Assessment Monitoring Stations, PAMS)，PAMS 測站部分該局使用 Canister 採樣儀器混合樣本，平時分析一天一個樣本，在高臭氧濃度季節(約每年 6~9 月)連續分析每三小時樣本，採樣亦為每三小時一個 Canister，分析使用儀器為連續式氣相層析儀。



圖 17、光化學評估監測站(PAMS)使用之儀器



圖 18、光化學評估監測站使用 canister 採樣後分析

(八)其他空氣品質保護措施

1. 彈性上班

加州南灣為解決空氣污染問題，部分公務人員採取每週上班四天之輪班制，以減少上班期間空氣污染問題。

2. 電動汽車

加州南灣推動電動汽車不遺餘力，該辦公室之停車場亦設置了電動汽車之專用停車格與充電站。機關首長與副首長均率先採用。

3. 高速公路高乘載專用車道

為鼓勵車輛共乘以減少車輛數，高速公路上劃有高乘載之專用車道，供高乘載車輛使用。



圖 19、加州南灣空氣品質管理局電動車充電站及專用停車場



圖 20、加州南灣空氣品質管理局電動車充電站及專用停車場



圖 21、加州南灣高速公路高乘載專用車道

三、 加州 PM_{2.5} 監測網設置現況及未來發展

(一)前言

加州 PM_{2.5} 監測網之設置，主要用於提供 PM_{2.5} 質量及化學成份資料，以支持空氣品質保護計畫，PM_{2.5} 監測結果將用於判定 PM_{2.5} 國家空氣品質標準不合格區域、發展及追蹤空氣品質改善計畫，評估區域煙霧(regional haze)，協助健康效應研究，以及支援其他大氣氣膠研究計畫等。

加州 PM_{2.5} 24hr 質量監測網已於 1999 年建立相當完整，共有 82 個測站，目前正加速擴增 PM_{2.5} 連續質量監測及 PM_{2.5} 連續化學成份監測網。

加州自 1999 年開始使用 FRM 監測 PM_{2.5} 質量，由於空氣品質標準之判定須使用連續三年數據，因此，目前僅有二年資料尚不足以用來判定是否符合空氣品質標準，但可用來比較各測站間之監測結果，加州空氣品質管理局 PM_{2.5} 監測站網設置現況如下表。

項目	測站數	測站目的
24 小時質量	82 站	與空氣品質標準比較
連續質量	36 站 (21+15)	媒體發佈、氣膠研究、質量監測及傳輸評估
24 小時成份	17 站 (6+11)	氣膠特性研究、排放管制策略評估及追蹤污染管制計畫進展
連續成份	10 站 (0+10)	
實驗室	8 個	質量監測、濾紙秤重

	(8+0)	
--	-------	--

(二)背景說明

由於 PM 對人體健康及能見度之不良影響，各國環保機關對 PM 均相當關心。PM 係指大氣中除了純水外之任何固態及液態物質。PM 粒徑可以從粗粒如風吹揚塵，到微細的燃燒排放微粒，大致上分成 PM₁₀ 及 PM_{2.5}，(10 微米約為一根頭髮直徑的 1/7)，由於粒徑小，可以進入肺泡深處造成健康不良效應。PM_{2.5} 為 PM₁₀ 之一部分，其氣動粒徑在 2.5 微米以下者，會更深入肺泡深處，也是造成能見度降低的主要原因。PM_{2.5} 之健康效應對嬰幼兒特別敏感，其原因在於嬰幼兒有相對較高之通氣速率(relative ventilation rates) 呼吸道較狹窄、器官組織發育中及戶外活動時間比率較高等。因此加州政府也正評估該州之 PM₁₀ 與硫酸鹽濃度標準，以確保能保護民眾健康，特別是嬰幼兒。

1997 年 7 月 18 日，USEPA 公告 PM₁₀ 及 PM_{2.5} 新的空氣品質標準。根據聯邦法規規定，各州須於每年 7 月 1 日前提送每年之 PM_{2.5} 監測計畫。主要的 PM_{2.5} 監測站使用聯邦核可之採樣監測方法，以確保監測數據品質，可與空氣品質標準比較，並與各地監測結果相比較。

加州 PM_{2.5} 82 個 FRM 監測站為 SLAMS(State and Local Air Monitoring Stations)，其中 20 個測站選為國家級測站(NAMS, National Air Monitoring Stations)，NAMS 為聯邦監測網的一部分，主要用來建立長期 PM_{2.5} 變化趨勢，而 SLAMS (含 NAMS)主要用來蒐集空氣品質維護計畫(SIP)所需之資料。

為確保監測數據品質，使用 21 個同址 FRM(collocated monitoring) 作為品保品管之用。有 6 個國家級測站 NAMS 分析 24 小時 PM_{2.5} 成份。21 個站使用連續式監測儀器 PM_{2.5} 質量(2002 年增加 15 個) 及 8 個實驗室。

(三)PM_{2.5} 監測網設置目的

PM_{2.5} 質量監測計畫主要目的在於判定 PM_{2.5} 濃度是否超過空氣品質標準(年平均 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 及日平均 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。美國加州自 1998 年開始設置 PM_{2.5} 監測網，目前共有 82 個測站，使用 FRM 方法，作

為空氣品質標準符合程度之判定。

A. 聯邦參考方法採樣器

1. 監測網設計

為規劃 PM_{2.5} 監測網，加州空氣品質管理局(ARB)根據人口分布、行政區、地形及氣象進行 PM_{2.5} 分區監測規劃。PM_{2.5} 監測網規劃過程，以五個目的為優先考慮。

- (1) 滿足美國環保署監測規範要求。
- (2) 代表加州空氣品質區及提供地理代表性。
- (3) 代表高人口密度之高濃度。
- (4) 瞭解高濃度地區之排放源特性。
- (5) 考慮進行中特殊健康研究對粒狀物量測之需。

以現有監測站作為 PM_{2.5} 監測站址為優先考慮地點，監測站選址以人口分布、土地利用、氣候、排放源、傳輸，現有監測網特性及進行中的健康研究等。

每個空氣品質區至少一個測站，人口密度高及預期 PM_{2.5} 濃度高之空氣品質區，可酌增測站數，以取得較佳之空間代表性。

2. NAMS 目的之達成

根據聯邦法規要求，部分 PM_{2.5} 測站需作為國家級空氣品質監測站，用以監測長期變化趨勢，及追蹤符合國家標準之進度。2000 年建議 20 個測站作為國家級測站，在選擇做為國家級測站時，係以 PM₁₀ 已運轉多年之測站，且該站未來亦將持續運轉。同時亦考慮區域代表性及採樣次數最頻繁者。

國家級測站監測結果用來建立 PM_{2.5} 變化趨勢與該區域之最高濃度。目前因尚無足夠長時間之監測數據，故仍未能評析該等站址是否適宜。

3. 採樣器之選擇

使用於加州之 PM_{2.5} 採樣器，係根據美國聯邦規定之參考方

法(FRM)，加州共使用三種 FRM 採樣器，除了一個測站使用 Rupprecht & Patashnick (R&P)之 Sequential FRM 採樣器，多數採用 Andersen Instruments 製造之 sequential Reference Ambient Air Sampler (RAAS) 2.5-300 或 Rupprecht & Patashnick (R&P)製造之 single-channel Partisol-FRM Model 2000。Sequential FRM 採樣器通常佈設於人口密度較高或 PM_{2.5} 濃度較高地區，以便於較高頻率之採樣，如每日或每三日採樣。美國加州現有 PM_{2.5} 採樣器數量如下表。

表、美國加州現有 PM_{2.5} 採樣器數量

採樣器樣式	製造商	採樣器功能		
		primary	QA/QC	Total
Sequential FRM	Andersen	66	16	82
Sequential FRM	R & P	1	1	2
Single-channel FRM	R & P	15	4	19
Total		82	21	103

4. 採樣器之設置

PM_{2.5} 採樣器設置之優先順序係以

- (1) 各區(MPA)推估 PM_{2.5} 可能有最大值者。
- (2) PM_{2.5} 濃度接近國家空氣品質標準者。
- (3) 秋冬季出現 PM_{2.5} 高值之區域
- (4) 各環保機關至少有一套。

5. 採樣頻率

29 個 FRM PM_{2.5} 採樣站每日採樣，根據規定每 50 萬人口設置 2 站及光化學測站區域設置一站，其餘地區則每三天採樣一次。

表、加州 PM_{2.5} 監測站採樣頻率

全年採樣頻率統一	11 站	每日採樣
	37 站	每三日採樣
	18 站	每六日採樣
採樣頻率不同者 (10 月至 3 月採樣頻率較高)	2 站	10 月至 3 月每日採樣 4 月至 9 月每三日採樣
	4 站	10 月至 3 月每日採樣 4 月至 9 月每六日採樣
	10 站	10 月至 3 月每三日採樣 4 月至 9 月每六日採樣
總計	82 站	

ARB 將根據 1990 至 2001 年監測結果重新評估採樣頻率，但至少不低於 6 日一次。滿足以下情形

- (1) PM_{2.5} 監測結果不超過空氣品質標準。
- (2) 監測結果與連續監測儀器相關性佳，且其濃度遠低於或高於 PM_{2.5} 標準者。

6. 連續式監測儀器之選擇

當使用 FRM 採樣分析結果與連續監測結果一致者，稱為 CAC(Correlated Acceptable Continuous Monitor)，由 CAC 所得資料不得直接用來直接與國家空氣品質標準比較，在評估監測站降低採樣頻率前，ARB 需彙集足夠之 FRM 與 CAC 平行監測比

對資料來建立二者之關係。對於監測結果接近空氣品質標準者，即檢討其採樣頻率，尤其對於每六日採樣者。由 CAC 所得偵測數據不得用來與空氣品質標準直接比較，亦即不能作為判定是符空氣品質標準之依據。

加州所有 PM_{2.5} 連續質量監測網均使用 射線衰減法，經探討各種廠牌間(型號)，期間測結果存在許多差異，為了用來評估降低採樣頻率(包括每日採樣者及每三日採樣者)，必須建立 BAMs 與 FRMs 間之關係。在採樣頻率降低前，必須彙集足夠的平均監測數據，包括高測值之季節，來建立足夠的比測關係。

7. 品質保證計畫及查核

所有執行單位必須發展出保證計畫，包括行政管理、實驗室及採樣現場等。

a. 同址採樣器(Collocated Sampler)

平行比對(同址採樣)及 FRM 功能評估之目的，係來估計不同 PM_{2.5} 採樣器之精密度(precision)及其誤差(bias)。根據美國聯邦法規(40 CFR Part 58, Appendix A)規定，(USEPA, 1997)，針對每一種採樣方法，至少必須有 25% 的採樣器必須進行平行比對。選擇平行比對站址之原則，根據其重要性分述如下：

- (1) 量測或估計 PM_{2.5} 濃度。
- (2) 不同的操作單位。
- (3) 地理代表性(Geographical representation)。
- (4) 須有足夠的採樣空間。

b. PM_{2.5} 實驗室事前認證計畫

為確保 PM_{2.5} 監測數據品質，加州政府現參與 PM_{2.5} 監測網之實驗室進行事先認證。認證計畫包括實驗室事前認證問卷及實驗室現場訪查，問卷內容包括各項 PM_{2.5} 質量濃度監測所需遵循之步驟及內容(如 40 CFR Part 50, Appendix L)。目前已有 8 家實驗室通過認證。

- (1) 天平可秤至 $\pm 1\mu\text{g}$ 。

- (2) 平均溫度 20~23 ，溫度控制 ± 2 ，24hr。
- (3) 平均相對溼度 30~40% ，當採樣環境相對溼度低於 30% 時，濾紙調理之相對溼度可在環境相對溼度之 $\pm 5\%$ ，但不得低於 20%。
- (4) 相對溼度控制 $\pm 5\%$ ，24hr。
- (5) 濾紙調理時間不得少於 24hr。
- (6) 濾紙條理程序：
 - 新濾紙購入，放入溫空環境儲存直到採樣前秤重。
 - 分析天數與濾紙須置於同一溫空環境，濾紙秤重前不得曝露於其他環境中。
 - 濾紙在採樣前與採樣後之秤重均須在同一溫控環境中進行(相對溼度 $\pm 5\%$)。
 - 採樣前後秤重須使用同一個天平，使用有效之方法去除靜電干擾(電荷中和)，如果可能的話，由同一個分析人員進行分析工作。
 - 採樣前秤重工作須在採樣日期 30 天內。
 - 採樣後之秤重工作及濾紙調理，須於採樣後 10 日內完成，否則樣品須保存於 4 以下低溫環境，且不得超過 30 天。
 - 樣品空白：新濾紙於採樣前秤重，送至採樣現場，置入採樣器，但不採樣，取回後再行秤重作為品質管制用。
 - 實驗室空白：每一批 PM_{2.5} 採樣濾紙於秤重後保留於實驗室中(在採樣期間)，於採樣結束後再行秤重作為品管樣品。

c. PM_{2.5} 質量分析系統與績效查核

加州政府執行 PM_{2.5} 實驗室質量分析系統查核，該查核包括完整的實驗室操作系統查核問卷，以及整個量測系統實地視察及評估(樣品採集、樣品分析、資料處理等)，績效查

核包含在系統查核內，含實地審視 $PM_{2.5}$ 秤重天平的準確度、相對溼度、溫度感應器，並檢查實驗室運作，以驗證他們產生可接受品質數據之能力。績效查核(performance audit) 每年執行一次，在系統查核(initial system audit)之後。

d. 現場採樣之績效與系統查核

查核計畫主要目的為發掘(identify)系統誤差，以避免產生可疑或無效數據。量化評估採樣器績效包括流量百分誤差、設計流量百分誤差、大氣溫度差異、濾紙溫度差異、大氣壓力差異。此外，對於多濾紙採樣器，查核程序提供了未採樣濾紙溫度差異及 dry gas meter (DGM)溫度差異。

流量百分差異用來表示採樣器標稱流量之準確度，利用查核用傳輸標準與採樣器標稱流量比較之差異計算得出。

設計流量百分差異用來表示在正常操作條件下，採樣口設計流量與採樣器流量之符合程度。大氣溫度、濾紙溫度及大氣壓力差異為查核量測結果與採樣器讀值間之差異。

流量查核使用校正後之傳輸標準質量流量計(Mass flow meter)用來量測採樣器之操作流量、採樣器標稱流量與質量流量計所量得之真實流量相互比較，而採樣器指示流量亦與其設計流量 16.67 l/min 比較，查核技術可能因採樣器型號不同而有所差異。

實地採樣之系統查核為檢查監測站址是否符合 $PM_{2.5}$ 選站標準，以及站址是否清潔與儀器設備是否正確維護。啟始系統查核包括完成站址調查報告，之後每年在執行每個採樣器績效查核時，該站址調查報告須再次檢查其準確度並予以更新(as necessary)，其結果可能因查核發現問題，致數據可能刪除、修正，站址或操作條件可能因而變更。

美國 EPA 要求每年四季查核所有 $PM_{2.5}$ FRM 質量採樣器。加州政府執行其中一次季查核，包括績效與系統查核，其餘三次由地方政府或外包廠商執行。

e. 國家級之績效查核

國家級的績效查核計畫係用以評估 PM_{2.5} FRM 量測系統偏差(bias)之品質保證行為。其執行策略在於收集攜帶式 FRM PM_{2.5} 空氣採樣儀器，設於例行監測之 NAMS/SLAMS 採樣器 1~4 米，再根據 FRM 規定標準操作程序進行採樣，每年選定 SLAMS/NAMS 25% 測站，進行一年四次之績效評估。

B. 連續式 PM_{2.5} 質量採樣器

使用連續式質量採樣器之主要目的在於獲得 PM_{2.5} 濃度日夜變化資料。此等數據在於即時資料發布、瞭解細微粒濃度日夜變化與污染事件之特徵、背景監測及傳輸評估等相當有用。目前加州共設置了 21 台自動連續監測儀器。部分測站因站址租約問題被迫中斷。

依據聯邦法規，人口超過 100 萬人的都會地區，必須設置連續式監測站，加州有 8 個城市(地區)符合此標準，目前已有 6 個站設置。聯邦法規亦規定背景監測及傳輸評估監測須採用連續式分析儀。加州目前設了二個背景站及一個傳輸評估用測站，也因為目前有許多不確定性，傳輸評估之測站用地不易決定。

加州 ARB 購置之 PM_{2.5} 連續式採樣器均為 Metone Model 1020，其餘地方機關購置之 PM₁₀/PM_{2.5} 雖然也是 Beta 射線衰減法，但加州 ARB 未規定須為同一廠牌，由於不同廠牌型號之監測結果可能導致重大差異，加州 ARB 進行了不同廠牌型號儀器之相互比較，未來在分析此類數據時須特別留意其間可能之系統性誤差。ARB 也致力於重要的 PM_{2.5} 監測地點其監測儀器須滿足 ARB 的規範。在 2002 年 ARB 也要求 4 個連續式 PM_{2.5} 監測站須進行平行監測。

C. PM_{2.5} 成份監測採樣器

PM_{2.5} 成份監測提供了微粒化學組成資訊，可以作為 PM_{2.5} 污染來源追蹤研判。加州 PM_{2.5} 化學成份監測網包括了兩部分，國家級(NAMS)成份監測站量測 PM_{2.5} 成份之長期變化趨勢，地方級(SLAMS)成份監測站為彙集發展空氣品質維護計畫所須之數據。依據聯邦法規，加州共須七個成份監測站，作為國家級監測站網之一部分。其採樣頻率每三天一個 24 小時採集樣品，除了初期設置階段為每六天採樣一次，目前所選擇之七個測站在各監測站彙集足夠數據前，為試驗性質。

成份監測站由 USEPA 出資，並由 USEPA 指定採樣器型號，以確保全國採樣監測數據品質之一致性與可比較性，為符合規定，SASS (Spiral Aerosol Speciation Sampler) 被選為加州 NAMS 成份監測採樣器。

NAMS PM_{2.5} 成份監測分析項目包括：

1. 陰離子(微粒硫酸鹽與硝酸鹽)及陽離子(微粒銨 NH₄⁺、Na⁺ 及 K⁺)
2. 微量元素(約 20 種重要元素，週期表中從 Na 到 Pb)
3. 總碳及未揮發有機氣膠成份
4. 微粒質量

D. 氣象監測儀器

氣象監測項目包括風速、風向、大氣溫度及相對溼度，用來作為 PN_{2.5} 傳輸評估及方案來源追蹤等。

E. 背景及傳輸監測

聯邦法規亦規定背景監測及傳輸評估監測須採用連續式分析儀。加州目前設了二個背景站及一個傳輸評估用，也因為目前有許多不確定性，傳輸評估之測站用地尚不易決定。

(四)加州 PM_{2.5} 空氣品質監測站擴充計畫

2002 年加州政府對於 PM_{2.5} 監測網之擴充計畫內容，主要在於連續式質量採樣器、成份監測採樣器、背景監測及周邊設施等。在北部的 Sacramento Valley 使用連續式監測器，對於農地廢棄物燃燒計畫之執行特別有效。

四個連續式監測站的同監測比對，可以作為高 PM_{2.5} 濃度地區不同環境條件下儀器之間績效(功能)比較。加州所有 NAMS 之成份監測站均已完成，2002 年將著重在 SLAMS 監測站，設站前係先進行過去監測數據評估，主要有因素必須納入考慮。

1. 該地區 PM_{2.5} 濃度是否超出國家空氣品質標準，以超過標準或已接近標準（即將超過）空氣品質年平均或日平均標準優先設置。

2. 對於常超過空氣品質標準地區，增設 PM_{2.5} 監測站，用以取得較佳之空間代表性。

加州 PM_{2.5} 空氣品質監測站未來之擴充方向說明如下：

1. 以濾紙採樣之 PM_{2.5} 成份監測

經 ARB 評估多種採樣器結果，決定使用 SASS(即 Spiral Aerosol Speciation Samplers)，因 SASS 在操作上及性能均較其他採樣有較佳表現。目前除了南加州(South Coast)外，均使用 SASS。新增之 SASS 監測器在初期濃度高之季節每三天採樣一次，其餘季節則改為每六天一次。

過去加州南灣地區曾使用 Particulate Technical Enhancement Program(PTEP)之成份監測採樣器，該等採樣器將再重新拿來設置，但為能進行不同採樣性能間之評估，加州南灣地將選擇其中二個站使用 SASS 採樣器，以建立過去 PTEP 之數據與未來 SASS 數據之延續性。

根據聯邦規定，濾紙採樣之成份監測站有 10% 測站須進行同址監測採樣，以應品質保證及品質管制之目的。

2. 連續式 PM_{2.5} 成份監測

加州政府設立了四種 PM_{2.5} 連續式成份監測站，包括連續式硝酸鹽、硫酸鹽、碳黑(aethelometer)以及有機碳/元素碳等，分述如下：

- a. 硝酸鹽監測

ARB 將設置 8~9 部硝酸鹽連續監測儀，其中包括一部用來同址監測。選址之考慮因素在於根據過去 PM₁₀ 成份分析結果，硝酸鹽濃度較高者，未來將再購作備品儀器，以備儀器維修時可以立即替代。

- b. Aethelometers

設置七部 Aethelometers 用來量測黑碳(Black Soot)，數據為每小時甚至每五分鐘一筆，其監測結果可用來推估元素碳成份濃度。設置於較高碳成份濃度地區（分析過去 PM₁₀ 監測結果）

目前在 Fresno 超級測站設有二部 Aethelometers 用來比較不同原理監測儀器之差異性。

c. 有機碳/元素碳監測及硫酸鹽監測

目前有一部有機碳/元素碳連續監測儀器，但與濾紙採樣分析結果比較，其測值普遍偏低，未來將計畫新購 2-3 部有機碳/元素碳。

硫酸鹽監測儀器有二部，未來將再新購一部。

d. 背景監測站

背景 $PM_{2.5}$ 監測站之目的在對遠離人口密集地區與重大污染排放地區之區域代表性進行量化。 $PM_{2.5}$ 背景濃度定義為沒有人為 PM 排放源或人為排放前驅物質，如揮發性有機物、氮氧化物、硫氧化物等生成二次氣膠。背景監測對於 $PM_{2.5}$ 濃度超過空氣品質標準地區發展 $PM_{2.5}$ 控制計畫相當重要，例如來自海鹽之貢獻、森林大火或沙塵暴等，污染來源之界定相當重要。

(五) 監測數據分析與處理

1. 數據分析

$PM_{2.5}$ 監測數據分成二類，包括氣膠質量及化學成份。質量監測結果用研判是否符合空氣品質標準及建立 $PM_{2.5}$ 濃度變化趨勢。 $PM_{2.5}$ 成份分析結果則用來評估其變化趨勢及用以發展降低氣膠排放源之控制計畫，(與空氣品質維護計畫有關 SIP)，此外，亦包括污染排放資料庫 (Inventory) 及追蹤污染空制計畫之成效。

(1) $PM_{2.5}$ 超過標準之比例

(2) $PM_{2.5}$ 季節性變化

(3) $PM_{2.5}$ 佔 PM_{10} 比例

2. PM 相關統計摘要

即使二個地區有相同之質量濃度，但造成濃度上升原因大不相同，其面臨之問題亦大不相同。同一地區亦可能因季節性不同而有不同的 PM 問題。

PM_{10} 季節性變化與 $PM_{2.5}$ 類似，而 $PM_{2.5}$ 與 PM_{10} 間之差異在冬季最小， $PM_{2.5}$ 約佔 PM_{10} 80~90%，部分 PM 之污染主要來自粗粒 PM(Coarse) 溢散排放，則使 $PM_{2.5}$ 佔 PM_{10} 比例相當低。

PM_{2.5} 與 PM₁₀ 間之差異則在夏季與初秋最大，其原因在於此季節中地質成份（粗粒部分）佔了大部分 PM₁₀ 之質量。但冬季則因降雨使得粗粒之排放減少。

3. Area Designations and Network Review

聯邦 PM 空氣品質標準

- (1) 24 小時 PM_{2.5} 平均濃度之每年 98 百分位數三年平均不得超過 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 在監測區域內任何社區代表測站。
- (2) PM_{2.5} 年平均之三年平均不得大於 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，單一社區代表測站或社區代表測站之空間平均結果。
- (3) PM₁₀ 24hr 平均值每年超過 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 次數不大於一次(連續三年)，採樣天數，非每日連續採樣。
- (4) 連續三年 PM₁₀ 之年平均算術平均不超過 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，監測區域內任何一站。

加州對於 PM₁₀ 空氣品質標準另外設有標準如下：

- (1) 在一監測區域任一監測站 PM₁₀ 24 小時平均不得超過 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，但先扣除受不正常事件之影響。
- (2) 年幾何平均 PM₁₀ 不超過 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，在連續三年期間，在監測區域內任何一個測站。

根據聯邦法規規定，PM_{2.5} 是否符合標準須有連續三年監測數據，因此在 2003 年方有足夠數據來判定加州那些地區超出 PM_{2.5} 空氣品質標準。在 USEPA 公告空氣品質時，亦同意在判定空氣品質標準符合前，合重新檢討 PM_{2.5} 濃度對健康之效應，預計在 2002 年完成。空氣品質是否符合標準將根據最新蒐集資訊，每年檢討更新。當 PM_{2.5} 資料蒐集後，測值超過 PM_{2.5} 24 小時標準之數據，將評估是否受到自然/異常事件 (natural/ekceptional events) 影響所致，USEPA 允許 PM_{2.5} 符合自然/異常事件所導致 PM_{2.5} 之高濃度可以在判定空氣品質符合時被排除不納入許可計算。

4. 資料完整性

PM_{2.5} FRM 質量監測網主要目的係用來判定各該地區 PM_{2.5} 是否符合空氣品質標準。對於不符合空氣品質標準地區可能產生經濟上之衝擊，因此對於所蒐集之 PM_{2.5} 監測數據量與品質均

須足以用來佐證該地區是否符合空氣品質標準。監測站網設計與評估程序在於確保監測資源可以提供足夠的監測數據品質與數量。

根據聯邦規定，用來與空氣品質標準年平均或日平均標準比較時，必須每季排定之採樣數量達到 75% 有效樣品連續三年，方可稱為具有代表性數據。

因此，此等要求對於每六日採樣一次之地點，是很難達到的（按每六日採樣一次，則每季十五個樣品，其 75% 須達 11.25，故僅四個樣品失敗，即無法滿足標準之要求）即使其他各季均達 100% 資料完整性亦然。特定異常情形是被允許的，而且係取決於是用來證明符合或不符合空氣品質標準。

當欲證明該地區符合空氣品質標準時，可以經該區域主管核可使用低於 75% 完整性之數據。當滿足下列條件時，可以使用數據來替代數據遺失之日期。

- 各排定之監測站之採樣數連續三年各季至少有 50% 監測數據。
- 說明替代數據當季排放源與氣象條件與數據遺失當季之排放源與氣象條件。
- 以不完整數據比較空氣品質標準須合格（亦即使用已蒐集數據比較須符合標準）

遺失之數據可以用下列方法替代

- 使用同址監測所得之 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 或 TSP 數據替代，數據須與原預定採樣日期同一日或前後二日。當使用同址監測數據時，必須將同址監測所得全部用來替代該數據，而非僅用來替代部分日期之數據。
- 使用同一地點三年各季 $PM_{2.5}$ 最高濃度來替代遺失數據。

當欲證明該地不符合空氣品質標準時，相關規定較不嚴苛。對於 24 小時標準不合格之判定，如年的 98 百分位數大於 24 小時標準，即使數據蒐集百分比未達 75% 亦可納入計算，亦如果一年中僅有一筆數據但超過標準，亦可納入計算。在此情形下，一地區原欲每日採樣，亦可根據該數據判定為不合格地區。

當欲證明 $PM_{2.5}$ 年平均標準不合格時，如果年平均計算結果超過標準，那麼每季僅至少十一個樣品即可納入計算，此時對於每日採樣地點，一年僅須四十四個樣品即可用來判定該定區不合格（約 12% 之數據），在某些情形區域主管（Regional Administrator）可以授權使用樣品數低於十一個之季監測數據。

四、美國環保署 PM_{2.5} 監測執行現況

(一) 前言

PM_{2.5} 監測網之設置在執行國家新的 PM_{2.5} 空氣品質標準時，為重要之工作。1997 年 7 月公佈新的空氣品質標準以來，美國聯邦除了有關微粒研究經費，已投入超過 1 億 2800 萬美元，來建立 PM_{2.5} 監測網。PM_{2.5} 監測網相關規定係依美國聯邦法規 Title 40, Code of Federal Regulations(40 CFR), Parts 50, 53, 58。(1997 年 7 月 18 日印行)。根據國家空氣品質標準規定，PM_{2.5} 監測網所得數據將用於決策應用、判定空氣品質符合與否、發展經濟有效之控制計畫及追蹤評估空氣品質改善計畫之進度表。

(二) 監測網設計概念及主要計畫內容

監測網所得數據主要用作

1. PM_{2.5} 空氣品質標準比較
2. 發展及追蹤空氣品質維護計畫
3. 評估區域性塵霾
4. 協助健康效應研究與氣膠特性研究等

PM_{2.5} 監測網設計將綜合此四項計畫目標，結合測站選址及儀器選擇等。聯邦參考方法(Federal Reference method, FRM)採樣器之設計與監測網規劃理念，如以社區導向(Community-oriented)監測，指以民眾生活、戶外活動、工作等曝露情形監測，而非以最大濃度發生地區，可用作於 PM_{2.5} 之健康效應評估所需數據。FRM 採樣器使用之主要目的在於定義為 PM_{2.5} 之微粒指標，用以支持 PM_{2.5} 空氣品質標準所須健康影響資料。因 FRM 儀器設計需求，規定了特定之設計需求，而非以其功能來作規範，以提高量測之精密度，避免類似 PM₁₀ 監測所產生之不確定。而因為 PM_{2.5} 採樣器無法提供氣膠濃度時間解析(逐時數據)或其化學組成特性資料，所以在 PM_{2.5} 監測網間使用之儀器會包括連續式分析儀以及化學成份分析用之採樣器。

(三) 監測網設計內容及變更(自 1998 年後)

1. 質量監測

主要用來與國家空氣品質標準之日平均及年平均比較,作為決定空氣品質是否符合標準之判定,監測網設計以人口密集區域,強調大區域範圍濃度暴露之代表性(社區代表性)。全國 PM_{2.5} 監測網約有 1050 FRM 監測站,其中 850 個站為法規要求最低設置站數(2000 年 3 月已有 1022 個 FRM 測站運轉中),至於非屬法規要求的大約 200 個站,其設站目的在於提供足夠站數來涵蓋人口密集區或為特殊目的設置之測站。原先規劃約 1400 個 FRM 測站,在 1998 年 3 月,經檢討後建議質量監測站減少,但增加化學成份監測站及連續式監測站(The National Academy of Science's report),美國環保署接受建議減少質量監測站約 350 個,將多餘之人力、物力轉而投注在連續式監測與化學成份監測。監測網設計修訂及監測現況如下表。

Table 1. PM_{2.5} Network Design Impacts from 1999 NAS Report & Current Operating Status.

Network Element	Original # of Sites in 1997	Current # of Planned Sites	# of Sites Operating as of 3/1/00
Compliance(FRM) sites	1,392	1,050	1,022
Chemical Speciation	~300 sites sampling either 1 in 6 or 1 in 12 days.	54 "trends" sites sampling lin3;~40 sites used to support Supersites, sampling 1 in 3 generally;~10 sites sampling daily to support ongoing health studies;~200 sites used to support SIP and other work, sampling 1 in 6	13
IMPROVE network expansion	108	110	35
Continuous mass	100	~210	115

sites			
Supersites	4 to 9	8 (based upon award)	Atlanta site operated in 1999; remainder expected in 2000-01.

2. 連續監測 PM_{2.5}

根據 40 CFR 58, Appendix D, § 2.8.2.3 規定，在全美 52 個大的都會區域須設置 PM_{2.5} 連續監測儀器，目前全美各州約有 115 個連續式監測站，未來可能擴增到 200 站。連續式 PM_{2.5} 監測結果將用作公佈即時短期間測數據，提供細微粒日夜變化及污染特徵，作為科學健康評估瞭解暴露型態(exposure pattern)使用。

目前連續式監測儀器多數使用 TEOM 儀器，其他儀器包括 BAM, nephelometers 及 CAMMS。美國環保署已經建立一個連續監測工作小組(與地方州政府)，對連續監測方式、品保品管及相關議題，提供好的討論空間。

3. 化學成份採樣及分析

環保署對於 PM_{2.5} 監測網之設置大部分的努力係放在化學成份監測站的設置。

美國環保署瞭解 PM_{2.5} 監測網數據為發展污染排放管制及追蹤控制策略進展之重要資訊來源，化學成份分析資料之基本目標為發展全國空氣中氣膠季節性及全年之化學特性。化學分析結果將用作污染源貢獻分析，評析污染排放資料庫與空氣品質模式，支援健康相關研究與區域性塵霾評估等。值得注意的是單比較空氣品質模式預測結果與質量監測結果，不能提供足夠的模式測試之需且複雜，其因在於部分質量監測結果之誤差可能來自採樣。成分分析結果則提供了豐富的資訊(與質量監測結果比較)，可以提供模式更多訊息，有助預測可信度之提昇。

- 54 個化學成份趨勢監測站每三天採樣一次，環保署與外部專家發展數據品質目標(化學成份趨勢監測站)，將原先每六天採樣改為每

三天採樣一次。

- 這 54 個趨勢監測站中有 10 個站每天採樣一次，使用額外的採樣器或半連續式採樣器來達成。
- 2001 年第四季完成設置，以增加現場測試並評估新發展出的採樣技術。

目前已商業化之可用採樣器設計，用來作為化學成份監測者，多為濾紙採樣方法，使用結合 Teflon, nylon 與 quartz 濾紙來達到蒐集不同化學組成之目的，包括元素、元素碳與有機碳，及主要離子，包括硝酸鹽、硫酸鹽、氯離子及銨等。然而此領域被期待將有重大變革，未來連續式化學成份監測方法也將被開發出來。環保署也期待超級測站計畫將作為有效界面提供轉移新的採樣技術作為例行監測使用。

環保署也正發展實驗室標準操作程序(SOPs)，該程序也將與目前由不同環保機關或研究單位使用於空氣中粒狀物成份監測之方法一致(相容)。於技術上保留彈性但須付出因不同方法所致之不確定性，成份採樣監測計畫最大的不確定性在於實驗室分析(protocol)，因此環保署將進行實驗室分析之標準化作業。環保署已建立一個國家實驗室分析的合約來支援化學成份監測計畫，幾乎所有化學成份監測將使用此實驗室。所有建立趨勢之監測站都將使用此一國家合約來進行濾紙分析。唯一例外者為 Interagency Monitoring of Protected Visual Environments (IMPROVE)計畫，該計畫擁有獨立的中心實驗室。

成份分析監測站將有 300 個，各有不同採樣頻率，其中 54 個站依據聯邦法規將用作建立長期變化趨勢，而這 54 個監測站將設置於高人口密度區域，以及特定污染排放影響區域，例如光化學評估監測站之第二種類型監測站，或者其他同址監測地點。此外，有將近 40 個監測站將配合各州之研究計畫，包括超級測站計畫等。

由於化學成份監測結果將為科學界感興趣，美國環保署鼓勵各地方州政府諮詢當地或國家級之進行健康效應研究人員。在超級測站附近地區增加採樣頻率或某特定時段增加採樣頻率等，所需經費係由州政府出資。

4. 超級測站(supersites)

超級測站之前身為 1998 年 3 月推動之特別化學成份研究(special chemical speciation studies)，超級測站之主要目的為支持空氣品質改

善計畫(SIP)之行動，提供健康效應研究所需資訊，評估國家空氣品質標準及協助測試先進之採樣技術。前述較例行性之成份分析監測將用來支援上述目的，然而這些例行性監測可能會需要更密集的監測數據，以瞭解區域性空氣污染過程及增進後續空氣品質維護計畫之發展程序。對於技術性工具之評估，例如污染源鑑定技術、污染排放資料庫、空氣品質預測模式等，均可由增加時間、空間及化學成份解析度之監測數據得到改善。長久以來，正規之空氣品質維護計畫常因未使用該等技術性工具進行密集研究而受到質疑，為解決這個問題，環保署建立了超級測站提供空氣品質評估所需相關資訊。美國環保署 2001 年 1 月公佈超級測站相關計畫如下：

- Atlanta. Advanced methods evaluation leveraged with multiple air quality and related studies. Monitoring was conducted during the Summer 1999.
- Fresno. Methods evaluation with transition to routine networks leveraged with a major air quality study (CRPAQS) and several potential health related studies. Monitoring began in the Summer 1999 and will continue to Spring 2001 as the “CA Supersite Phase ”. The Principal Investigator is John Watson, Desert Research Institute.
- Houston. David Allen, University of Texas at Austin, “Gulf Coast Aerosol Research & Characterization Program.”
- St Louis. Jay Turner, Washington University, “St. Louis-Midwest Supersite”
- Los Angeles. John Froines, University of California Consortium, “Southern California Particulate Matter Supersite.”
- Baltimore. John Ondov, University of Maryland, “Baltimore Supersite: Highly Time & Size Resolved Concentrations of Urban PM_{2.5} & its Constituents for Resolution of Sources & Immune Responses.”
- Pittsburgh. Spyros Pandis, Carnegie Mellon University, “The Pittsburgh PM Supersite: A Multidisciplinary Consortium for Atmospheric Aerosols Research.”
- New York City. Ken Demerjian, ASRC, State University of New York “PM_{2.5} Technology Assessment & Characterization Study in New York.”

超級測站由環保署科學與技術部門提供，2000 萬美元。超級測

站採樣及分析結果可以提供氣膠粒徑分布與化學組成特性之日夜變化，此外，也提供了二次氣膠前驅物與中間產物，例如硝酸、氨、二氧化氮與其他 NO_y 成份，peroxides 及 peroxy radicals 均可被量測，提供空氣品質模式中化學機制之測試。而這些量測也同時提供臭氧與沈降評估，其因在於許多物理、化學程序是跨越多種污染物的會影響到多種污染物。

5. IMPROVE 監測

根據 40 CFR 51 有關區域塵霾法規，1999 年 4 月 22 日要求監測能見度。該規定使得 Class I 地區的監測資料變得更重要，因地方州政府須據此決定是否繼續減少更多的污染排放，以符合能見度目標，IMPROVE 監測共規劃 110 個監測站。

(四) 美國環保署 PM_{2.5} 監測網之執行進度

表. USEPA PM_{2.5} 監測網執行進度

ACTION	MILESTONE
40 CFR 50,53, and 58 PM _{2.5} regulation	July 18,1997 Part 58 available on AMTIC* Parts 50 and 53 available on TTN Airlinks (http://www.epa.gov/ttn) Subsequent correction notice on 2/17/98;
States & Regions develop & approve network designs	September 1997- June 30, 1998 Review & approval on July 1 of each year.
States establish 1050 PM _{2.5} sites	September 1997- December 31, 1999
“Guidance for Network Design & Optimum Site Exposure for PM”	December 15,1997- Available on AMTIC under Network Design*
Award for national procurement contract to buy 46.2mm TeflonR filters for use in FRMs.	January 31, 1998
Summary of Guidance: Filter Conditioning & Weighing Facilities & Procedures for PM _{2.5} Reference and Class I Equivalent Methods”	February 27,1998
“Particulate Matter (PM _{2.5}) Speciation Guidance (Draft to work group for review on February 25,1998)	February 25, 1998-1 st draft July 1998 – Recommendations from Expert Panel October 7, 1999 - Final
Model QA Project Plan Guidance Document	March 6, 1998(final draft) March 31, 1998 final version signed by each Region
U.S.EPA awards nat’l PM _{2.5} sampler proc. Contract & makes first orders (info on # and type of samplers must be compiled by Regions and to OAQPS by March 2, 1998.)	March 25, 1998 contract award April 1998 first set of FRM orders June 1998 second set of FRM orders
FRM/FEM designations granted (Specific samplers and vendors listed here. This is a continuing process, however, and other samplers may go through with designation in the future)	BGI single channel & portable 4/16/98 R&P single channel & sequentials 4/16/98 Andersen single channel & sequentials 6/11/98 Thermo Env. Instr. single channel 10/29/98 Andersen portable audit 3/11/99 R&P portable audit 4/19/99

QA Handbook (Red Book) with final Method 2.12 "Monitoring PM _{2.5} in Ambient Air Using Designated Reference or Class I Equivalent Methods"	May 14, 1998 Final June 2000-Next revision-to incorporate info learned from 1 st year
U.S.EPA/NARSTO Workshop on the Supersites program design with scientific community	May 19,1998 Steering Committee mtg. June 11,1998 Workshop
U.S.EPA/AWMA Training on PM _{2.5} Laboratory and Sampling Equipment	May 20-21,1998 in RTP, NC
Vendors deliver first orders FRM samplers to States	June 1, 1998- November 3, 1998
"Guidance for Using Continuous Monitors in PM _{2.5} Monitoring Networks"	June 5, 1998
FRM Performance Evaluation Program QA Project Plan	June 1998
States submit final 1998 PM _{2.5} network descriptions to Regions	July 1, 1998
Regions approve final PM _{2.5} network descriptions	July 31, 1998
FRM Performance Evaluation Program Implementation Plan	August 28, 1998
FY99 § 103 grant guidance to Regions from OAR(Draft in March)	October 23, 1998 (Final)
Portable QA FRM audit samplers delivered to PEP Auditors	October 30, 1998
FRM Performance Evaluation Program Standard Operating Procedures	November 2, 1998
"Field Program Plan for the PM _{2.5} Chemical Speciation Sampler Evaluation Study.	November 23,1998
Speciation laboratory analysis contract award	December 1998
Development of the Data Quality Objectives (DQOs) for the 54 Trends Sites	December 16, 1998
Quality assurance project plans approved by Regions	December 31, 1998- December 31,1999
Supersites research public solicitation	March 9, 1999
PM _{2.5} Data Validation Template for use with mass data	April 6, 1999
Strategic Plan for Development of the Particulate Matter(PM _{2.5}) Quality System for the Chemical Speciation Monitoring Trends Sites"	May 19, 1999
"Visibility Monitoring Guidance" EPA-454/R-99-003	June 1999
States submit final 1999 PM _{2.5} network descriptions to Regions	July 1, 1999
Atlanta Supersite data collection activities	Summer 1999
Fresno Supersite data collection activities, Phase 1 & 2	Summer 1999 to Spring 2001
"Quality Assurance Project Plan: PM _{2.5} Speciation Trends Network"	October 27, 1999(3 rd Draft)
Deployment of initial chemical speciation sites ("mini-trends")	November 1999(Equipment delivery & training) February 2000 (1 st data collection) May 2000 (study completion)
1,050 PM _{2.5} FRM sites are established + all required continuous monitoring sites & States begin "routine" data collection.	December 31, 1999
Supersites award announcement at the PM2000 Conference in Charleston, SC	January 25, 2000 Sampling to begin in 2000-2001
Chemical Speciation Program Satellite Broadcast	March 21, 2000
PM _{2.5} Monitoring Quality Assurance & Data Analysis Workshop (targets State, local and tribal monitoring agencies)	May 22-25, 2000 in RTP
States submit 2000 PM _{2.5} network descriptions to Regions, which includes chemical speciation sites.	July 1, 2000
Deployment of all chemical speciation trends sites (54 total including 10 daily sites), and speciation sites used to support Supersites activities(~40)	December 31, 2000
Deployment of supplemental chemical speciation sites	October 2000- October 2001

*For PM_{2.5} information on the Ambient Monitoring Technology Information Center (AMTIC), see <http://www.epa.gov/ttn/amtic/amticpn.html>

(五) 修訂粗微粒國家空氣品質標準

由於環保署訂定 PM_{2.5} 新的空氣品質標準, (仍保留 1987 年 PM₁₀ 標準), 工業界提出異議, 美國法院認為 PM₁₀ 包含了細微粒部分 (PM_{2.5}), 因此 PM₁₀ 並非粗微粒之良好指標, 環保署此刻也正尋找使用粗微粒指標 PM_C 在現行空氣品質標準來代替 PM₁₀ 之可能性, 。PM_C 定義為 PM₁₀-PM_{2.5}, 其量測方法將由目前 PM₁₀ 與 PM_{2.5} 同址監測結果相減得到 (24 小時採樣)。

環保署對於 PM_{2.5} 與 PM₁₀ 量測也將制定相關規定, 例如 PM_{2.5} 與 PM₁₀ 最大與最小距離、採樣高度差、資料輸出格式、濾紙稱重、操作程序及相關品保作業。環保也將考慮相關新的功能與測試需求是否需另行訂定。

(六) 使用連續式 PM_{2.5} 監測儀器之目的

1. 減少赴測站次數及降低監測網操作費用
2. 決定增加或減少人工採樣頻率, 以便於與國家空氣品質標準比較
3. 提供即時監測資訊, 作為警報發布或執行短期性空制策略, 例如燃燒控制(burning bans), 無車日(no-drive days)
4. 評估人體曝露於戶外空氣之日夜變化
5. 界定監測站之代表區域及污染源影響區域
6. 瞭解高濃度 PM_{2.5} 及 PM₁₀ 物理與化學特性

除非連續分析儀通過等同方法(equivalent method)之認可程序, 否則其監測數據不得用來作空氣品質符合與否之判定。

(七) 環境技術證計畫

為驗證 PM_{2.5} 相關監測技術, (包括質量及化學成份監測), 在美國環保署贊助主辦的環境技術驗證計畫 (Environmental Technology Verification, ETV), 進行了 PM_{2.5} 監測技術功能的定量評估(如附件)。

肆、建議事項

- 一、 本次考察加州南灣空氣品質管理局空氣品質監測站，該局空氣品質監測站操作及維護制度值得本署參考。各個測站之測項並不相同，其中以 SO₂ 測項站數最少，其原因主要為 SO₂ 環境中濃度已遠低於空氣品質標準，因此站數減少，僅保留 7 個設置於污染源附近。該局空氣品質監測站減站原則，在檢討空氣品質監測站數時，凡監測結果符合空氣品質標準(環境中濃度遠低於空氣品質標準)，則可減少該測項之監測，如 SO₂、Pb 等，測站減少時，則以鄰近區域各該測站測值相關性進行檢討，當有數個測站相關性高，且符合測站減少原則，此時保留測值高之測站繼續監測，測值低而與高測值測站相關性高者，可進行減站，可以供本署未來空氣品質監測站規劃參考。
- 二、 加州 PM_{2.5} 24hr 質量監測網已於 1999 年建立，共有 82 個測站，目前正加速擴增 PM_{2.5} 連續質量監測及 PM_{2.5} 連續化學成份監測網，以提供 PM_{2.5} 質量及化學成份資料，支持空氣品質保護計畫，PM_{2.5} 監測結果將用於界定不合格區域、發展及追蹤空氣品質改善計畫，評估區域煙霧，協助健康效應研究，以及支援其他大氣氣膠研究計畫等。加州執行 PM_{2.5} 監測網相關經驗值得本署參考。
- 三、 PM_{2.5} 監測網之設置在執行國家新的 PM_{2.5} 空氣品質標準時，為重要之工作。1997 年 7 月美國環保署公佈新的空氣品質標準以來，美國聯邦除了有關微粒研究經費，已投入超過 1 億 2800 萬美元，來建立 PM_{2.5} 監測網。美國環保署細懸浮微粒(PM_{2.5})監測網大致上分成三大類：質量監測、例行化學成分分析、及特殊研究目的之超級測站。美國環保署空氣品質監測之規劃與發展方向，可以作為國內業務推動之參考。