



空品感測物聯網  
布建及數據應用指引  
(第二版)

中華民國114年12月

## 摘要

有鑑於近幾年空品感測器技術日益成熟，以及資通訊技術突飛猛進，環境部自106年起推動環境感測物聯網相關計畫，將我國空品監測體系朝網網相連的多階層全國空品監測體系建置。因為PM<sub>2.5</sub>感測器應用廣泛，且發展成熟，加上臺灣在空品感測物聯網的應用實務經驗，本指引提出固定式PM<sub>2.5</sub>感測器為主的具體作法供使用者參考運用。但為兼顧隨著環境的演變與技術提升而進化的管理模式，環境部將適時提出革新建議，具體作業方式將依實務需求進行增修。

本指引的內容涵蓋前言、感測器性能指標、出廠性能品管作業、布建作業、運轉中管理作業、布建後查核作業、感測數據公布規則、感測數據應用分析及感測器衍生應用等內容，以下將簡要說明本指引各章節撰寫內容。前言的部分，說明目前空品感測物聯網的整體架構，以及國家監測站、智慧城鄉感測點、校園空品感測器及民間感測器，彼此間的差異；感測器性能指標的部分，說明感測器應用包含教育使用、污染熱區鑑別、個人暴露評估及輔助國家監測站參考等4個分級，並定義各分級的應用領域、使用限制及性能規範，以環境部與地方環保局合辦布建的感測器為例，感測數據需符合污染熱區鑑別應用等級性能；出廠性能品管作業規則的部分，感測器出廠前應與參考標準設備進行長期比對，建立合適的校正模式，並於布建前完成型式驗證；布建作業規則的部分，感測器於布建前應依據5大感測類型規劃布建密度、布建高度及布建點位，確保未來在感測數據應用分析上能發揮應有的效能，布建前全數感測器應與國家監測站進行一致性比對作業，符合規範後依本指引規範進行感測器布建安裝，感測器布建主要分為工業區、交通區、社區、輔助區及特殊感測區等5個應用情境，並滾動式進行最適化點位調整；運轉中管理作業規則的部分，說明感測器完成布建作業後，針對感測器現場維護、數據校正、群集分析、衰減分析、定期巡檢、異常告警管理、快速查修及汰換更新等作業，提供建議的執行方式、頻率及規範，以維護感測數據品質；布建後查核作業規則的部分，說明第三方查核、召回測試及異常查檢建議的執行方式、頻率及規範，透過第三方公正單位的查核，確保感測器布建於場域一段時間後，仍符合污染熱區鑑別等級的性能指標；感測數據公布規則的部分，說明感測數據公布的相關規範、權責與義務，以確保公開的感測數據正確性；資料數據中心與應用分析平臺的部

分，環境部環境物聯網（IoT 平臺）主要負責感測數據蒐集及檢核，以確保感測數據之完整性，環境部空氣網（WoT 平臺）主要負責感測數據分析及輔助智慧稽查，以提升地方環保局稽查效率；感測數據應用分析的部分，感測數據透過收集、整理、清理後，運用大數據分析及 AI 人工智慧技術，藉由分析感測數據的時空特徵，評估污染事件的發生區域、發生時間週期、影響範圍，據以輔助環境執法應用、釐清污染來源、天氣系統影響、重污染氣候緊急應變及其他應用，作為擬定實施環境治理措施的參考依據；感測器衍生應用的部分，PM<sub>2.5</sub>感測應用可由固定的形式，延伸搭載至不同移動載具，開發更多元的應用情境，也能夠結合既有的衛星觀測、大氣化學傳輸模式及 AI 校正技術，改善模式空間解析度，提升對短時變化與突發排放的預報能力。

基於善用空品感測物聯網的優勢，避免誤用感測數據，特訂定本指引，提供給參與或關注空品感測物聯網工作及相關使用者參考運用。依據感測數據的應用目的，針對輔助測站參考、個人暴露評估、污染熱區鑑別及教育使用等用途，訂定感測數據的性能指標，提供感測器選址布建、維運管理、數據品管等作業規則，在確保感測數據品質的同時，以提升感測數據之準確性及應用效益，同時讓民眾了解感測數據的使用限制，以避免錯誤的數據解讀情形發生，進而協助發展智慧化環境治理及推廣環境教育認知。

## 目錄

第一章	前言	5
1.1	整體技術架構	6
1.2	空品感測物聯網資通訊系統架構	9
1.3	感測器與國家監測站的差異	9
第二章	感測器性能指標	12
2.1	感測器應用目的分級	12
2.2	PM <sub>2.5</sub> 感測器應用分級性能指標	13
第三章	出廠性能品管作業規則	18
3.1	感測器功能規格	18
3.2	感測器出廠前校正	19
3.3	感測器型式驗證	21
第四章	布建作業規則	23
4.1	感測點位規劃	23
4.2	感測器點位選址原則	24
4.3	全數感測器一致性比對	25
4.4	感測器布建安裝	26
4.5	最適化點位檢討	27
第五章	運轉中管理作業規則	29
5.1	運轉中感測數據偏差原因	29
5.2	定期現場維護	30
5.3	感測器數據校正	30
5.4	感測器群集分析	33
5.5	感測器衰減分析	34
5.6	定期巡檢	35
5.7	感測器異常告警管理	37
5.8	感測器快速查修	38
5.9	感測器汰換更新	38
第六章	布建後查核作業規則	40
6.1	第三方查核	40
6.2	召回測試	43

6.3	異常查檢.....	43
<b>第七章</b>	<b>感測數據公布規則 .....</b>	<b>45</b>
7.1	感測數據即時公布規則 .....	45
7.2	感測註記條件 .....	45
7.3	數據公布權責與義務 .....	46
<b>第八章</b>	<b>資料數據中心與應用分析平臺 .....</b>	<b>47</b>
8.1	環境部環境物聯網 .....	47
8.1.1	感測設備管理介面 .....	47
8.1.2	設備狀態檢核 .....	49
8.1.3	設備異常處置流程 .....	49
8.2	環境部空氣網 .....	50
8.2.1	數據呈現介面 .....	50
8.2.2	感測數據分析技術 .....	51
8.2.3	輔助智慧稽查功能 .....	53
<b>第九章</b>	<b>感測數據應用分析 .....</b>	<b>58</b>
9.1	工業區熱區分析輔助智慧執法 .....	58
9.2	感測器輔助釐清跨區域性之污染來源 .....	60
9.3	感測數據輔助突發環境事件分析 .....	62
9.4	感測數據輔助回應民眾陳情 .....	63
9.5	感測數據輔助掌握突發意外事件 .....	64
9.6	感測器輔助掌握大環境天氣系統影響空品 .....	65
9.7	感測數據輔助重污染氣候因應措施 .....	66
<b>第十章</b>	<b>感測器進階應用 .....</b>	<b>68</b>
10.1	移動式感測器應用 .....	68
10.2	輔助空氣品質預報模擬應用 .....	69
	參考文獻.....	71

## 圖目錄

圖1、空品感測物聯網整體技術架構流程 .....	8
圖2、空品感測物聯網資通訊系統架構 .....	9
圖3、參考儀器放置高度及位置 .....	42
圖4、環境部 IoT 平臺數據即時傳輸情形監控儀表板 .....	48
圖5、設備異常統計表 .....	50
圖6、環境部 WoT 平臺呈現介面 .....	51
圖7、IoT 整合數據分析三大技術 .....	51
圖8、污染事件告警與回溯 .....	53
圖9、IoT 輔助環保稽查3階段6步驟 .....	54
圖10、WoT 平臺輔助稽查工具介面 .....	55
圖11、深入稽查分析介面 .....	56
圖12、VOCs 異常熱區分析介面 .....	56
圖13、感測數據透過 AI 熱區分析掌握污染特徵 .....	59
圖14、驗證感測器輔助環境智慧執法 .....	60
圖15、感測器輔助國家監測站異常高值溯源 .....	61
圖16、感測數據輔助突發環境事件分析 .....	63
圖17、感測數據輔助回應民眾陳情 .....	64
圖18、輔助掌握突發意外事件 .....	65
圖19、感測器輔助掌握冬季天氣系統影響空品的行為 .....	66

## 表目錄

表1、感測器與國家監測站的差異 .....	10
表2、感測器應用目的分級表 .....	12
表3、US EPA 感測器應用分級性能指標 .....	16
表4、臺灣環境部 PM <sub>2.5</sub> 感測器應用分級性能指標 .....	17
表5、感測器異常狀態 .....	49

# 空品感測物聯網布建及數據應用指引

中華民國115年5月22日核定

## 第一章 前言

有鑑於近幾年空品感測器技術日益成熟，以及資通訊技術突飛猛進，環境部自106年起推動環境感測物聯網相關計畫，將我國空品監測體系朝網網相連的多階層全國空品監測體系建置。儘管空品感測器可偵測多種污染物（如 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、CO、O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub>、VOCs 等），但根據美國加州南岸空氣品質管理局成立感測器的性能驗證中心(AQ -SPEC, Air Quality-Sensor Performance Evaluation Center)，針對市售的感測器進行實驗室及實地場域測試的結果(<https://www.aqmd.gov/aq-spec/evaluations/summary-table>)，發現 PM<sub>2.5</sub>的感測數據品質顯著優於其他測項，因此環境部優先布建固定式的 PM<sub>2.5</sub>感測器，目前已布建在主要的工業區、科學園區、交通區及社區，全時感知列管工廠空污概況，提供細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)、溫度、相對濕度等分鐘級的感測數據。透過大數據及人工智慧技術的分析，有效限縮污染熱區與可疑對象，輔以科學儀器進行採證後，確實驗證空品感測物聯網應用於輔助環境執法的成效。除環境執法應用外，火災污染影響範圍、民眾陳情事件及敏感族群的健康防護等民眾關注議題，亦可透過環境部網站取得所在地之空品即時資訊，當空品不佳時，自行採取合宜之防護作為（如佩戴口罩或搭配空氣清淨機），可確保個人健康及改善家中或公共場所的空品，達到民眾健康照護之目的。

以 PM<sub>2.5</sub>感測器為例，因為感測原理簡易，使得感測數據會與標準方法使用的設備（如國家監測站）產生誤差。因為具備價格便宜且感測頻率高的優點，可以提供分鐘等級與街道尺度的感測資訊，同時感測器群體具備極佳的精確性(Precision)，藉由群體感測器的時空變異特性，可以提供區域污染的變化特徵，對於微環境的污染徵兆的解析，具應用價值。

過去曾有民眾因不瞭解監測原理，將感測數據誤以為是等同國家監測站的數據，然而兩者在監測目的、儀器原理及代表意義上截然不同（詳見 1.3 節），若直接對比極易產生解讀偏差。為善用感測器可大量布建與可即時監測的優勢，並避免此類數據誤用的情形發生，特訂定本指引，提供給參與或關注空品

感測物聯網工作及相關使用者參考運用。依據感測數據的應用目的，針對輔助測站參考、個人暴露評估、污染熱區鑑別及教育使用等用途，訂定感測數據的性能指標，提供感測器選址布建、維運管理、數據品管等作業規則，在確保感測數據品質的同時，以提升感測數據之準確性及應用效益，同時讓民眾了解感測數據的使用限制，以避免錯誤的數據解讀情形發生，進而協助發展智慧化環境治理及推廣環境教育認知。

因為 PM<sub>2.5</sub>感測器應用廣泛，且發展成熟，加上臺灣在空品感測物聯網的應用實務經驗，本指引提出 PM<sub>2.5</sub>感測器為主的具體作法供使用者參考運用。但為兼顧隨著環境的演變與技術提升而進化的管理模式，環境部將適時提出革新建議，具體作業方式將依實務需求進行增修。

## 1.1 整體技術架構

本指引依據臺灣推動空品感測物聯網計畫經驗，以實務執行順序，將整體技術分為感測器出廠性能品管、布建作業、運轉中管理、布建後查核、感測數據公布及應用分析等6階段，整體技術架構與流程詳如圖1，內容概略說明如下：

1. 出廠性能品管：設備製造商依據感測需求、使用環境及應用目的，設計組裝感測器，建立感測器校正模式。生產感測器成品需挑選至少3臺，送環境部委託型式驗證單位進行測試，透過實地場域測試及實驗室測試，確認該型號感測器各項性能指標。針對參加環境部與地方環保局合辦布建之感測器，需符合污染熱區鑑別應用等級性能（應用等級說明及性能要求詳如第二章內容）。
2. 布建作業：感測器於布建前應依據5大感測類型規劃布建密度、布建高度及布建點位，確保未來在感測數據應用分析上能發揮應有的效能。在布建至現場前，應將全數感測器裝設於環境場域鄰近的國家監測站，進行群體感測器與國家監測站間的一致性比對，需符合污染熱區鑑別應用等級性能指標後，才能進行場域布建。全數感測器比對完成後，應留下至少5%（含）或6臺（含）以上的感測器於國家監測站上，作為長期校準比對或定期巡檢比對的參考設備。布建作業需依據作業規則實施，在確保施工安

全下，能取得具代表性的感測數據。

3. 運轉中管理：布建完成後，維運商必須定期實施感測器維運及管理，定期現場維護與自主巡檢比對、查核數據品質、設備異常管理、快速查修與汰換更新。維運及使用單位應透過長期數據分析，研判異常事件、感測器衰減特徵，實施動態數據校正，確保感測器數據品質持續符合污染熱區鑑別應用等級性能。
4. 布建後查核：為強化布建完成後感測器的品保品管，環境部（或地方環保局）可透過定期或不定期查核機制，藉由第三方查核、召回測試及異常查檢，檢視感測器持續能符合污染熱區鑑別應用等級。
5. 感測數據即時公布：在落實執行布建與維運作業規則之感測器，經地方環保局查核確認感測器符合污染熱區鑑別應用等級的數據品質要求下，即可公布感測數據。
6. 感測數據應用分析：感測數據透過收集、整理、清理後，運用大數據分析及 AI 人工智慧技術，藉由分析感測數據的時空特徵，評估污染事件的發生區域、發生時間週期、影響範圍，據以輔助環境執法應用、異常環境事件、天氣系統影響、重污染氣候緊急應變及其他應用，作為擬定實施環境治理措施的參考依據。

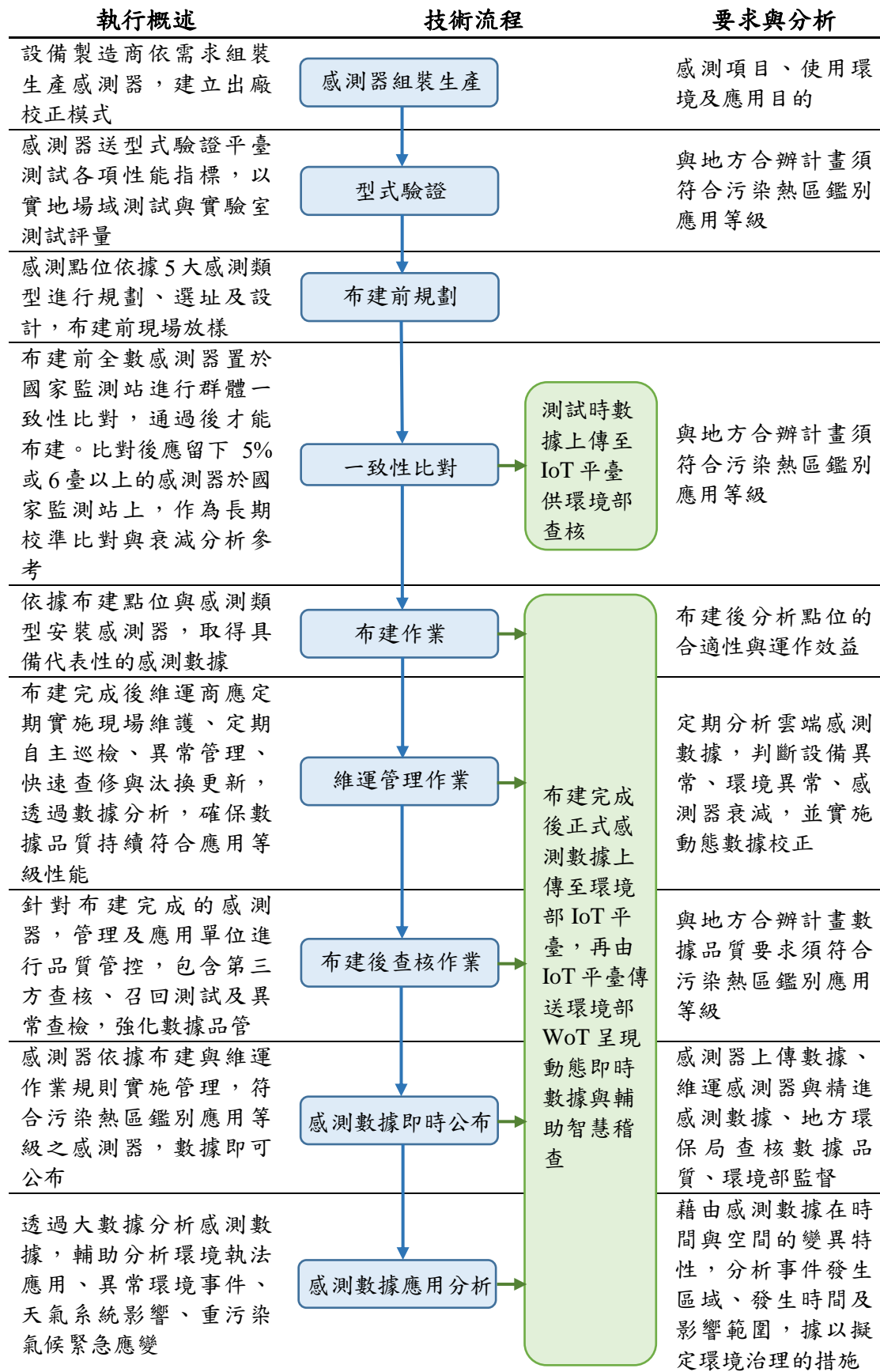


圖1、空品感測物聯網整體技術架構流程

## 1.2 空品感測物聯網資通訊系統架構

空品感測物聯網的整體資通訊系統架構如圖2，空品感測器取得環境資訊後，透過4G LTE 或 NB-IoT 的無線通訊系統傳送到廠商所維護的資料收集中心，主要分為2種類型，一是廠商設置於雲端的虛擬主機，及廠商自建的實體機房，廠商針對感測器回傳資訊進行設備狀態判讀，實施感測數據整理與清理，在完成原始數據校正為環境濃度數據後，再傳送至環境部環境物聯網（IoT 平臺），執行蒐集、分析與呈現各臺感測器的運作狀態與感測數據。整理完成的感測數據再由環境部空氣網（WoT 平臺）執行污染事件分析、告警資訊推播，並以地圖為基礎的視覺化動態呈現空品資料，全系統皆須符合資訊安全的相關規定。

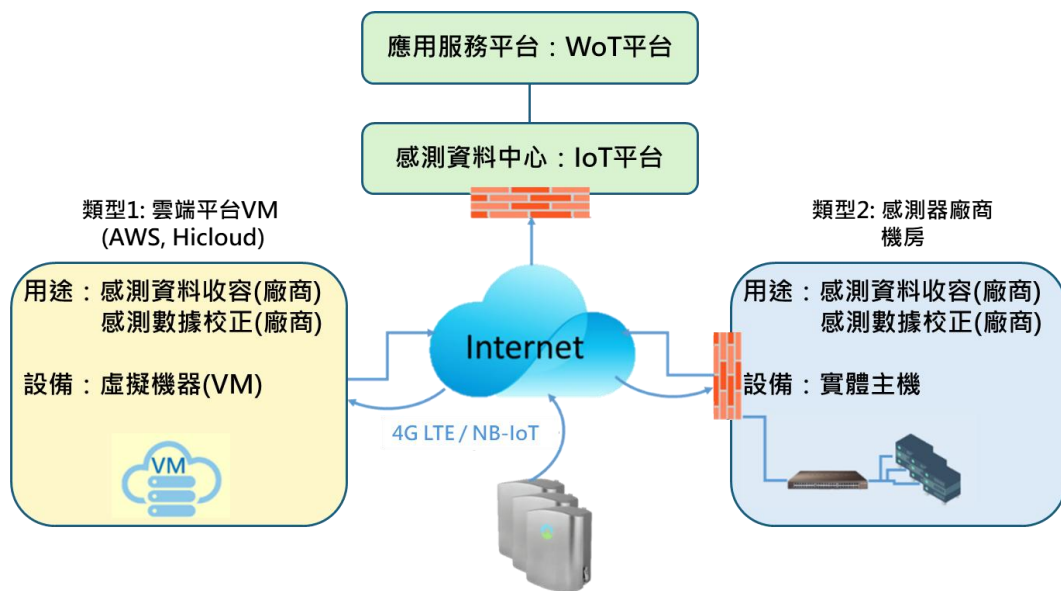


圖2、空品感測物聯網資通訊系統架構

## 1.3 感測器與國家監測站的差異

空品感測器基於感測的原理與方式易受環境干擾，使得感測數據會與標準方法使用的設備產生誤差，使用者必須瞭解感測數據的運用限制，才能避免數據誤用，國內常見的空品資訊來源主要有國家監測站、智慧城鄉感測點（中央與地方合辦布建空品感測器）、校園空品感測器及民間感測器，彼此間的差異詳如表1所示。

表1、感測器與國家監測站的差異

類型 項目	國家監測站	智慧城鄉感測點 (中央與地方合辦布建 空品感測器)	校園空品 感測器	民間空品 感測器
監測目的	法規監測	污染熱區鑑定感測	環境教育	個人、居家應用
數據應用	評估大範圍空品是否符合空品標準及政策訂定依據	小區域環境空氣污染熱區鑑定及污染排放追蹤溯源以污染執法應用。也可提供跨縣市(境外)污染傳輸之分析。	微環境空品相對變化趨勢資訊及原因探勘	
儀器原理	貝他(β)射線衰減或慣性質量法	物理光散射原理		
粒徑定義	氣動粒徑： 將懸浮微粒粒徑以運動特性類比為具有相同特性的單位密度圓球粒徑。	光學粒徑： 雷射光照射顆粒所測定的粒徑。表面粗糙度、水分、吸光度會影響粒徑測定。		
健康風險關係	現今皆以氣動粒徑進行健康風險研究、標準檢測方法。	光學粒徑尚未建立與健康風險的關聯性。		
數據空間解析度	約10至25公里	工業區內100-300公尺	約1公里	
數據時間解析度 (粒狀 污染物)	1小時	1-3分鐘	1-5分鐘	
數據時間解析度 (氣狀 污染物)	1分鐘	1-3分鐘	無	視機型而定
使用限制	1. 分布密度較低，較難追蹤空氣污染來源。 2. 自動監測數據需定期校正。 3. 操作使用需專業訓練。 4. 設置地點有高度及遮蔽物限制，與民眾生活的區域不同。	1. 光學粒徑與氣動粒徑換算具有誤差。 2. 長時間使用後光源易受灰塵覆蓋失去作用。 3. 測值容易受干擾因子(如濕度等)影響。 4. 國家監測站數據變動範圍大，測值與國家監測站測值間的差異也可能是數倍以上。 5. 數據無法代表真實空品，且感測器品質不一。		
空品標準關係	1. 健康風險研究，對於PM <sub>2.5</sub> 所得空品標準(日本、美國)，只有日平均值及年平均值，分別為每立方公尺 35 微克及每立方公尺 15 (日本)、9 (美國) 微克，並無極短時(小時或分鐘)暴露濃度的建議限值，因此，國家監測站自動儀器的小時值及感測器的分鐘值，無法直接對照空品標準來解釋健康風險。 2. 美國 EPA 已將「感測器指標(Sensor Scale)」正式納入其「空氣感測器工具箱(Air Sensor Toolbox)」，並整合於 AirNow Fire and Smoke Map 平台。該架構針對 PM <sub>2.5</sub> 提供 1 分鐘瞬時數據的健康解讀分級(如：低、中、高、極高)，並配套全國性數據修正公式(Correction Equation)，旨在協助民眾理解極短時暴露的健康風險，而非作為取代國家環境空氣品質標準(NAAQS)之法規判定依據。			
選址要求	嚴謹，依據空污法施行細則設置	以工業區、交通要道；鄰近工業區社區或無國家監測站鄉鎮區等具有通風、且通風良好處可通電及有行動通訊特性		多在住家陽臺具備遮蔽且通風良好處

類型 項目	國家監測站	智慧城鄉感測點 (中央與地方合辦布建 空品感測器)	校園空品 感測器	民間空品 感測器
		者		
設置高度	10公尺高	3公尺高	多在一樓 約2~3m 高	不確定
維護頻率	週、雙週、月及季維護	每季巡檢一次	無或不定	
設置維護 成本	非常高	中	低	
儀器認證 或第三方 測試	經 USEPA 等國際認證	工研院實驗室及現場測試	工研院實驗室及 AQ-SPEC 測試	視機型而 定
誤差範圍 (器差)*	小於10%	小於30%	原始資料#平均誤 差約50%，極端值 有可能達100%	視機型而 定
模組間 變異性	---	IMV < 10%	IMV < 10%	視機型而 定
布建前 校正方式	符合國際認證標準	機器出廠時統一校正、 布建前至國家監測站進行 比對	機器出廠時統一 校正	視機型而 定
品保制度	有	有	無（透過大數據分析，於後 臺使用演算法偵測異常資 料）	
品保 績效查核	有，一年一次	每年抽查10%	無	
品管 功能檢查	有，一年六次	每季巡檢一次	超過一年半後 直接更新	無

\* 由於沒有標準品，故無數據準確度，應以與標準儀器的相對器差來表示。

# 中研院、環境部與校園感測器製造廠商聯合推動感測資料後臺校正研究。

## 第二章 感測器性能指標

PM<sub>2.5</sub>感測器性能取決於對空氣污染濃度的量測能力，為了提供使用者因應的目的，在參考國際上對於感測器性能上的建議，以及臺灣在實際應用上的經驗，本章各節提供應用於不同類型的感測目的時，感測器應具備的性能指標建議，提供使用者選擇合適的設備，並取得可靠的感測數據。

### 2.1 感測器應用目的分級

針對感測器的使用分為4個應用領域，包含(Level 1) 教育使用、(Level 2) 污染熱區鑑別、(Level 3) 個人暴露評估、(Level 4) 輔助國家監測站參考。表2 提供使用感測器在不同應用領域中應注意的數據運用限制，但這些建議原則是依據現有的執行經驗所訂定，隨著科學技術的發展與提升，會隨著時間的推進而演化發展。

表2、感測器應用目的分級表

應用等級	應用領域	應用領域	數據運用限制	適用地點
Level 1	教育使用	<ul style="list-style-type: none"> <li>感測誤差範圍較大的量測設備，感測數據可信度較低，但仍能代表感測區域污染濃度的變化趨勢</li> <li>僅適用於缺乏污染物知識的公民科普教育使用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>感測誤差較 Level 2 更大，感測數據可信度更低，但仍保持與環境濃度的相似變化趨勢</li> <li>僅適用於簡單的表現區域內污染物相對變化的趨勢，感測數據不能代表環境濃度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>學校</li> </ul>
Level 2	污染熱區鑑別	<ul style="list-style-type: none"> <li>在可疑的排放源附近布建監測，來判定可能的排放污染源</li> <li>運用群體感測器感測污染物濃度的時間與空間變化趨勢，可限縮污染熱區，分析污染時間熱點，輔助鑑別污染排放來源</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>感測設備不如 Level 3、Level 4 可靠，但可以判別污染物的相對濃度偏差</li> <li>感測數據不能直接對外，須落實感測數據品質管理作業規則，在符合感測數據公布規則下，可提供民眾參考</li> <li>較合適以濃度色階繪製成污染物濃度地圖，協助判讀區域環境污染濃度的差異</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工業區</li> <li>科學園區</li> <li>工業聚落</li> <li>陳情熱區</li> <li>交通要道</li> </ul>

應用等級	應用領域	應用領域	數據運用限制	適用地點
Level 3	個人暴露評估	<ul style="list-style-type: none"> <li>在進行正常活動時監測個人暴露的空品</li> <li>在臨床上對空污敏感高的人佩戴感測器，用以識別暴露的時間、地點與污染物對其健康可能的影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>諸多因素都會影響個人於空氣污染物中的暴露程度，此等級的精確度和偏差標準，是基於各種科學研究報告所提出</li> <li>若高於這些誤差標準，則難以解析發生個人暴露的方式，時間和原因</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>醫院</li> </ul>
Level 4	輔助國家監測站參考	<ul style="list-style-type: none"> <li>透過將其安裝在現有國家監測網絡中未安裝區域，補充環境污染濃度梯度資訊</li> <li>在完備的品保品管機制下，感測數據可以作為環境濃度的參考數據</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>感測數據具備完整品保品管機制的維護下，符合第三方查驗標準所產出之感測數據可以補充國家監測網絡的感測數據，提供民眾對環境濃度的參考數據</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>無設置國家監測站區域</li> </ul>

## 2.2 PM<sub>2.5</sub>感測器應用分級性能指標

### 1. 參數定義說明

(1) 數據完整性(DC, Data Completeness, %)：評估公式如下：

$$\text{Data Completeness(DC)} = \frac{N_{\text{valid data}}}{N_{\text{all data}}} \times 100\%$$

其中  $N_{\text{valid data}}$ ：測試期間感測器有效數據點

$N_{\text{all data}}$ ：測試期間感測器應有的所有數據點

(2) 相對誤差(Error, %) / 相對器差(Bias, %)：感測器與參考儀器的讀值差異評估公式如下：

器差 = 感測器讀值 - 參考儀器讀值

相對器差 = (器差 / 參考儀器讀值) × 100%

相對誤差 = (器差絕對值 / 參考儀器讀值) × 100%

相對器差(Bias, %)的評量方式：測試期間感測器與參考儀器讀值在各時間點相對器差之中位數。

相對誤差(Error, %)的評量方式：測試期間感測器與參考儀器讀值在各時間點相對誤差之中位數。

- (3) 相對誤差（或相對器差）標準差(STD, Standard Deviation, %)：感測器與參考儀器相對誤差（或相對器差）的離散程度評估公式如下：

$$STD(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

其中  $n$ ：測試期間之所有量測時間的數據筆數

$x_i$ ：某時間點感測器與參考儀器的相對誤差（或相對器差）

$\bar{x}$ ：測試期間感測器與參考儀器的相對誤差（或相對器差）的平均值

- (4) 感測器與參考儀器的線性迴歸(Linear Regression)：以感測器讀值與參考儀器讀值進行線性迴歸運算評估公式如下：

$$Y = aX + b$$

其中  $Y$ ：感測器的讀值

$X$ ：參考儀器的讀值

A. 感測器與參考儀器讀值的決定係數( $R^2$ , Coefficient of Determination)：皮爾森積差相關係數的平方，用以解釋 X 軸與 Y 軸變數之間直線關係的線性度。

B. 感測器與參考儀器讀值的最理想迴歸直線的斜率(Slope)。

- (5) 模組間變異(IMV, intra-model variability, %)：評估感測器是否具有相對一致的量測結果，評估公式如下：

$$IMV(\%) = \frac{Mean_{highest} - Mean_{lowest}}{Mean_{average}} \times 100\%$$

受測感測器以一式三組部署並蒐集資料，

其中  $Mean_{highest}$ ：測試期間三組感測器各時間點平均值，取三組中最高值

$Mean_{lowest}$ ：三組感測器各時間點平均值，取三組中最低值

$Mean_{average}$ ：測試期間三組感測器各時間點的平均值

模組間變異(IMV, %)的評量方式：測試期間各時間點的模組間變異之中位數。

- (6) 精密度(P, Precision, %)：評估感測器於不同濃度下相對標準差，評估公式如下：

$$P(\%) = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\%$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

其中  $S$ ：某一濃度平衡狀態時，感測器讀值標準差

$\bar{x}$ ：某一濃度平衡狀態時，感測器讀值平均值

$x$ ：某一濃度平衡狀態時，感測器取樣讀值

$n$ ：某一濃度平衡狀態時，感測器讀值取樣次數

- (7) 變異係數(CV, coefficient of variation)：評估群體感測器讀值的一致性，評估公式如下：

$$\text{均方根誤差(RMSD}_i) = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{\rho} (x_{i,t} - x_{avg,t})^2}{\rho}}$$

其中  $x_{i,t}$ ：單位時間下，第  $i$  臺感測器讀值

$x_{avg,t}$ ：單位時間下，群組所有感測器讀值平均

$\rho$ ：數據數量

$$\text{變異係數(CV}_i) = CV = \frac{\text{RMSD}_i}{\bar{x}_{avg,t}}$$

$$x_{avg,t} \text{ 總平均} : \overline{X}_{avg,t} = \frac{\sum_{t=1}^p (x_{avg,t})}{p}$$

## 2. 應用分級性能指標

為協助使用者依不同感測目的選用合適的感測器，美國環保署(US EPA)依據四種應用領域，訂定相對應的感測器應用分級性能指標，並強調感測器使用者應依實際用途，選擇符合性能指標要求的感測器，以確保感測器於適當條件下發揮最大效益。各應用領域之性能指標要求與說明彙整如表 3。

表3、US EPA 感測器應用分級性能指標

應用等級	應用領域	污染物	精確率與相對誤差 (Precision and Bias Error)	數據完整率 (DC)
Tier 1	教育使用	全部	< 50%	> 50%
Tier 2	污染熱區鑑別	全部	< 30%	> 75%
Tier 3	輔助國家監測站參考	特定的污染物	< 20%	> 80%
Tier 4	個人暴露風險評估輔助	全部	< 30%	> 80%

環境部亦參考 US EPA 感測器應用分級性能指標，結合近年來 PM<sub>2.5</sub> 感測器布建的實務經驗，以及數據校正比對技術的持續精進，進一步訂定臺灣 PM<sub>2.5</sub> 感測器應用分級性能指標。相較於 US EPA，環境部規範之性能指標較為嚴謹（如表 4），以提供感測器使用單位及民眾更具可信度之空氣品質監測資訊。以環境部與地方環保局合辦布建之感測器為例，主要目的是輔助地方環保局進行智慧稽查，因此各階段（包含出廠性能品管作業規則、布建作業規則、運轉中管理作業規則、布建後查核作業規則、感測數據公布規則等）之品保品管要求，感測數據應符合 Level 2 污染熱區鑑別等級的性能指標。

表4、臺灣環境部 PM<sub>2.5</sub>感測器應用分級性能指標

應用等級	應用領域	數據完整率 (DC)	相對誤差 (Error)	相對誤差的標準差 (STD)	決定係數 (R <sup>2</sup> )	線性迴歸斜率 (Slope)	模組間變異 (IMV)	變異係數 (CV)
Level 1	教育使用	> 60%	< 50%	< 50%	> 0.70	0.50~1.50	< 20%	< 20%
Level 2	污染熱區鑑別	> 90%	< 25%	< 30%	> 0.80	0.75~1.25	< 10%	< 10%
Level 3	個人暴露評估	> 90%	< 15%	< 20%	> 0.85	0.85~1.15	< 10%	< 10%
Level 4	輔助國家監測站參考	> 90%	< 10%	< 10%	> 0.90	0.90~1.10	< 10%	< 10%

## 第三章 出廠性能品質管作業規則

空氣品質感測物聯網的效能，取決於前端感測器的穩定度與數據的準確性，在布建作業執行前，針對不同污染物特性選擇合適的感測元件，並透過標準化的性能測試與校正，是確保監測品質的必要程序。透過對感測器硬體規範的嚴謹要求，可降低環境因素對數值的干擾，提供具備參考價值的感測資訊。本章重點在於定義感測器從出廠至布建前，應執行的各項性能品質管控作業，透過建立統一的性能測試指標，能確保感測設備在長期運作下，仍能產出穩定且符合環境治理需求的時空數據。

### 3.1 感測器功能規格

感測器的性能要求因應用而異，感測數據品質取決於感測器的基本性能、操作方式以及分析方式，所以了解感測器的優點和限制對於應用於預期目的非常重要。以應用於室外環境污染的感測與污染熱區鑑別為目的所需功能規格建議如下：

1. 感測模組：以細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)為主要項目，感測頻率為每分鐘1筆數據。使用者可依不同類型場域需求加裝，如溫度、濕度、風速、風向、臭氧(O<sub>3</sub>)、一氧化碳(CO)、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)、VOCs...等感測元件，但感測性能需能偵測當地空品的濃度變化範圍，並經可靠的測試驗證單位驗證通過。
2. 通訊模組：可因地制宜選擇，需符合快速抽取更換，並可適地性選擇資料傳輸通訊模組，以達資料即時完整傳輸與成本經濟等最佳化。為求傳輸數據穩定度，建議避免採用 LoRa 模組，儘量以3G、4G 或 Wi-Fi 等連續傳輸較穩定模組為優先。
3. 供電模組：應符合節能省電，具備供電穩壓設計及接用不同電源轉換設計，以確保感測器運作及資料傳輸電力無虞。如有結合路燈安裝可能有日間不供電情形者，儲電裝置應符合電力安全規範，以供夜間儲電、日間供電操作使用。若感測器因執行機動性監測任務，該地區沒有燈桿或電桿可以提供電力時，建議可採用太陽能模組及儲能設備（通常使用鋰電池儲能）進行供電，但在挑選太陽能模組及儲能設備應遵守以下規範：

- (1) 太陽能模組之設計確認與型式認可，應符合 CNS 15114 或 CNS 15115 相關規定。
  - (2) 太陽能模組之結構安全與測試要求，應符合 CNS 15118-1 及 CNS 15118-2 規定，以確保戶外長期設置之安全性。
  - (3) 若太陽能模組長期設置於沿海、高鹽害或海風影響區域，應符合 CNS 15196 太陽光電模組鹽霧腐蝕試驗之規定。
  - (4) 鋰電池應採用通過安全認證（IEC 62233、UN 38.3、BSMI CNS 15364 或同等級要求）的電池模組，且內部搭配具備過熱斷電保護電路與電壓監控晶片，以避免電池模組因過熱導致火災的可能性。
4. 微控制器及資料儲存單元：應具備感測資料處理、大量儲存及感測元件狀態偵測及通知功能，可透過雲端進行感測設備重置及掌握感測器運作狀態，作為設備維護管理或抽換更新參考。
  5. 模組化設計：感測器模組需可模組化，提供未來快速抽取更換不同感測元件或新增感測項目，設計上需考量各感測元件進、排氣流道設計合理性。模組化方式需配合後續擴充條件，以電路板擴充槽或外接 USB (Universal Serial Bus)形式設計。
  6. 感測器機體設計：感測器機構設計應具備戶外防水功能（建議至少需符合國際防護 IP55等級），進氣採樣機構應提供穩定與通暢的進氣與換氣流量，設計避免污染物蓄積或造成污染物反應延遲。設計具備抗環境風場對感測器的干擾，降低風速對進氣流量的影響。為確保數據品質及績效查核需要，採樣進氣口及校正測試進氣口設計，可以提供測試氣體校正、測試使用，或未來發展自動校正模組組裝測試使用。
  7. 感測器的通訊與資訊系統的安全規範，應符合政府、各應用單位或管轄機構資通訊安全要求。建議「通訊模組」或「微控制器」具備 OTA (Over-the-Air) 韌體更新安全性加密與設備認證機制，以防止感測數據遭到惡意入侵或數據劫持。

### 3.2 感測器出廠前校正

感測器生產組裝完成後，感測元件雖然有原廠提供的校正參數，但是涉及進氣採樣機構模組的設計、區域環境條件的差異及各項組件間的相互影響，都會影響感測數據的呈現。故在設備出廠前須進行一系列的品管與校正程序，除了要確保生產同型號感測器出廠前彼此感測行為的精確性(Precision)外，感測器與標準儀器（如國家監測站）間的誤差也需要符合應用分級性能指標，這需要透過與參考標準設備進行長期比對，建立合適的校正模式，才能提供使用者可靠的感測數據。

1. 感測器的干擾因子：依據國內外文獻與臺灣運用的經驗，已知造成 PM<sub>2.5</sub> 感測器數據偏差的干擾因子如下。

- (1) 感測元件明顯受到環境濕度、溫度和風速等天氣條件的影響。環境中懸浮微粒的成分、粒徑與表面特性也受感測原理的影響，造成感測數據的偏差。故感測器的校正需要配合布建區域進行調整，以符合當地的環境與污染特性。
- (2) 由於感測濃度是推算單位體積進氣量中的污染物數量，故感測器的進氣方式、流量也是造成感測濃度判讀偏差的關鍵因子。故當環境風速過高而導致進氣流量減少，將造成感測濃度負偏差；或是進氣風扇老化或阻塞導致進氣效率降低，也是造成感測濃度負偏差的主要原因。
- (3) 由於大氣的擴散效率高，為即時感測污染物，故感測器對污染物的反應時間也是需要關注的，如果感測器的進氣採樣機構設計不良，將無法發揮污染熱區辨識的功能。

2. 感測器的精確性：PM<sub>2.5</sub>感測器在實際應用經驗中，發現具備極佳的群體一致性反應，主要特徵是在相同的環境中，同型號感測器群體的測量結果相當一致，設備商在針對感測器的出廠品管，皆以本項測試為主要管控依據。一般而言，將同一批次生產的感測器，設置於一個穩態的空間環境中，在經過一段時間的比對下，檢核各感測器讀值的變異程度，必須低於與群體變異性的要求，才能通過品管標準，通常以均方根誤差(RMSD)、變異係數(CV)及決定係數(R<sup>2</sup>)來評量。

3. 感測器數據校正：PM<sub>2.5</sub>感測器在環境場域量測的已知干擾因子包含濕

度、溫度、風速。因感測原理簡易，使得感測數據會與標準方法使用的設備產生誤差，故在生產出廠後即要進行數據換算校正，分析感測器與環境影響因子間相關性，透過與參考儀器（如國家監測站 PM<sub>2.5</sub> 監測設備）進行長期的平行比對，建立多變數的校正模式，降低感測器與參考儀器間的偏差，達成符合應用分級性能指標的要求。但是當感測器布建至環境場域後，除了受到環境場域氣候條件改變的影響外，感測元件的污損與衰減，採樣進氣系統的效率改變，都會影響感測數據的偏差，所以出廠後的校正模式需要隨著時間進行動態調校，才能確保感測器持續符合應用分級性能指標。

### 3.3 感測器型式驗證

環境部為確保空品感測物聯網發展，能適切運用感測器所產出的數據，針對預計布建至環境場域的感測器準確性與精確性等性能進行評估，同時也可以提供廠商作為產品研發與校正測試平臺，有效協助產業提升技術量能。於107年委託財團法人工業技術研究院量測技術發展中心，辦理空品感測器性能測試驗證作業（詳細作業說明詳 <https://airsensortest.blogspot.com/>），測試服務平臺與執行流程參考美國加州南岸空氣品質管理局成立感測器的性能驗證中心設備與作法。

#### 1. 實地場域測試

- (1) 量測時間：最少1週的量測（7天×24小時）
- (2) 參考儀器：PM<sub>2.5</sub>量測參考儀器以符合「手動採樣」的美國聯邦參考方法(Federal Reference Method, FRM)、「自動監測」的美國聯邦等效方法(Federal Equivalent Method, FEM)同等級或以上的儀器設備，並經環境部品保確認符合標準。
- (3) 參考儀器量測有效筆數：以 PM<sub>2.5</sub>小時濃度為計數單位，排除低濃度的數據（例如10 µg/ m<sup>3</sup>以下的數據），並取得足夠的較高濃度數據（例如有5%以上的數據必須超過36 µg/ m<sup>3</sup>），連續測量筆數扣除無效筆數之有效筆數至少超過90%（含），筆數不足得延長比對時間。
- (4) 測試參數應包含同型號的模組間變異(IMV, intra-model variability)、數

據完整率(Data Completeness)、與參考儀器的決定係數( $R^2$ , Coefficient of Determination)、相對誤差(Error, %)。

- (5) PM<sub>2.5</sub>感測器實地場域測試評量的應用分級性能指標，至少需包含數據完整率(Data Completeness)、相對誤差(Error)、決定係數( $R^2$ )、線性迴歸斜率(Slope)、模組間變異(IMV)。

## 2. 實驗室測試

- (1) 測試條件：在實驗室環境內進行感測器的性能測試，透過調控風速、溫度、相對濕度及質量濃度等控制因子，於測試條件維持平衡狀態後，評估感測器與參考儀器間的精確性與偏差量。
- (2) 參考儀器：PM<sub>2.5</sub>量測參考儀器以符合「手動採樣」的美國聯邦參考方法(Federal Reference Method, FRM)、「自動監測」的美國聯邦等效方法(Federal Equivalent Method, FEM)同等級或以上的儀器設備，並經環境部品保確認符合標準。
- (3) 實驗室系統可調控不同濃度的細懸浮微粒濃度、測試腔室內的溫度與相對濕度，以評估同型號的模組間變異、數據完整率、與參考儀器的決定係數( $R^2$ )、精密度(精確度)、偏移誤差、溫濕度干擾效應、偵測極限等參數。細懸浮微粒濃度主要調控範圍需涵蓋低中高濃度範圍(例如0至300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )為原則。共計7項以上參數在此測試活動中進行評估。
- (4) PM<sub>2.5</sub>感測器實驗室測試評量的應用分級性能指標，至少需包含數據完整率(Data Completeness)、相對誤差(Error)、決定係數( $R^2$ )、線性迴歸斜率(Slope)。
- (5) 感測器在環境場域除受溫濕度影響外，風速對於感測器的進氣效率也有明顯的干擾，故實驗室系統需透過調控測試腔室的風速，進行不同風速條件對感測器的干擾效應。
- (6) 由於大氣擴散效率極快，感測器對高污染濃度應即時反應，避免因大氣擴散迅速導致無法感測區域污染行為，高濃度遲滯反應時間應低於有效感測時間(例如1分鐘以內)。

## 第四章 布建作業規則

感測器的價值在於彌補國家監測站點空間覆蓋的侷限，透過高密度的站點配置，提供微環境空品變化的完整圖譜。為有效發揮感測數據在環境治理上的效益，布建過程需結合在地污染特性與氣象條件進行規劃，以提升點位設置的代表性與數據品質。本章說明感測點位篩選的邏輯與布建原則，協助相關單位依據工業區、社區或特定污染熱區的需求進行配置。透過標準化的安裝流程與環境考量，可強化感測器的運作穩定性，確保後續數據分析與輔助執法功能具備可靠的基礎。

### 4.1 感測點位規劃

空氣污染物具備高度的時間與空間變異性，並且在大氣環境的高度擴散效率下，微環境的氣象條件將主導污染物的逸散行為。除持續精進感測器的精確性，提高感測器巡檢維護效率，結合感測器具備容易大量高密度布建與高頻率感測優點，規劃最適化布建場域及設置點位，可有效提升解析環境污染行為。

為有效運用空品感測器進行環境治理，應用情境包括工業區污染源鑑別、鄰近污染排放的社區特性、交通都會區感測、無國家監測站的鄉鎮地區輔助感測及不同季節氣象條件考量的特殊感測等不同應用目的及場域特性，設定具代表性、應用效益性及通訊、通電可行性的布點選址，歸納為5大感測類型，茲說明如下：

1. 工業感測點：監控工廠密集區域，作為污染溯源及環境執法的用途，布建密度建議以50~300公尺距離規劃。
2. 交通感測點：監控交通繁忙區域，主要目的為監測汽機車等移動載具在交通廊道的污染分布，依據監測需求針對特定路段進行專案布建，布建密度建議不超過1公里距離設置。
3. 社區感測點：主要以設於大型污染源附近的社區為主，例如距離工業區2公里範圍內社區，布建密度建議以100~500公尺設置。其他的一般社區，建議採用1~1.5公里網格狀密度設置，可作為該地民眾日常生活的參考。

4. 輔助感測點：設置於無國家監測站的人口稀少鄉鎮市地區，例如結合氣象站的風速、風向量測，作為環境背景參考的依據。
5. 特殊感測點：為使感測器設置點位更接近民眾生活圈，可納入特定區域進行評估，例如民眾陳情區域、醫院等多敏感族群集中場域，應依不同季節風向調整布建與使用方式。

除了針對關切的區域環境進行感測點位規劃外，為有效掌握感測器的使用壽命，建議應預留5%（含）或6臺（含）以上感測器設置於鄰近的國家監測站進行長期比對（同4.3節），固定蒐集感測資料，訂定檢核及調校比對作業制度，以利感測器數據校正或性能衰減觀察參考，同時也可作為巡檢或更換感測器的參考備機。

## 4.2 感測器點位選址原則

感測點位的選擇除考量應用的需求外，對於後續施工與維護管理的安全性與便利性也是重點評估原則，畢竟大量感測器的布建涉及施工與維運成本，初步綜整選址原則如下：

1. 長期感測點基於避免受移動污染源影響與施工維護的便利性，建議感測器安裝高度為3~5公尺，得依現場實際情況做調整。
2. 針對觀察移動污染源的交通感測點，避免因大氣擴散效率高，導致感測器無法反應汽機車排放的污染行為，安裝高度建議低於1.5公尺。
3. 由於感測器需要有穩定的電力與通信需求，在考量布建及維運成本的效益下，以便於取得用地與電力的點位為優選，故選擇路燈桿或電桿為最佳安裝選項，其中金屬桿因施工便利更優於水泥桿及壁掛式。用電使用上應取得電力及燈桿權責單位同意，並遵守用電安全相關規定。
4. 在選定安裝感測器的燈桿方面，需考量安裝的方便性、巡檢的合適性以及維運的可行性。建議選點準則如下：
  - (1) 施工停車方便處，便利高空作業車施工。
  - (2) 燈桿周圍需有1公尺以上淨空空間，方便安裝與維修。
  - (3) 供電正常的燈桿，並能取得路燈管理與維運單位的使用權。

- (4) 以道路兩旁的燈桿較佳，中央分隔島或安全島上燈桿因維運與交管困難，不利於施工與維護。
  - (5) 感測器設置處周邊1公尺範圍不可有遮蔽物，如：樹木、招牌...等等，避免影響感測器進氣效率。
  - (6) 感測器設置處周邊50公尺內應避免有污染排放源如廟宇的金爐燃燒、餐廳油煙排放口、車道出入口...等，將導致感測數據被局部污染源直接影響。
5. 感測點位選址順序建議以等距離網格狀為基本原則，先由主要關切的區域（如工業區），再向外擴展至工業區周邊社區，再往人口密度高的市區或民眾陳情密集區，可由鄰近污染源及敏感受體向外圍區域延伸。

### 4.3 全數感測器一致性比對

感測器在布建至環境場域前，全數感測器必須附掛至國家監測站進行平行比對，透過批次的群體進行一致性比對作業，以符合污染熱區鑑別應用等級為範例說明如下。

1. 數據有效性要求：須連續比對5天（含）以上，對於國家監測站數據要求，PM<sub>2.5</sub>的小時值總有效筆數須達90%（含）以上，每個感測器數據要求，以PM<sub>2.5</sub>的每分鐘測值總有效筆數需達70%（含）以上，且每個感測器每小時總有效筆數須達42筆以上（≥70%），其中感測器數據可去除環境濃度小於10 μg/m<sup>3</sup>的量測數據，如果國家監測站數據或感測器數據不符合數據有效性要求，得延長比對時間，以達到總有效數據筆數。
2. 一致性比對要求：一致性比對作業要求分為2個階段，第1階段要求每個感測器與國家監測站的相對誤差(Error, %)必須符合污染熱區鑑別應用等級需求，據以確保感測器的偏差量。第2階段要求感測器群體的一致性，透過計算全體的變異係數(CV, coefficient of variation)，感測器變異係數(CV)須符合污染熱區鑑別應用等級，方可送至現場進行布建。符合污染熱區鑑別應用等級之性能標準，請參考2.2小節表4內容。

如果一次無法同時比對全數感測器，則分批次進行比對，例如第一批次比對完成後，留下10%感測器參與第二批次的比對，據以確保第一、二批次彼此的一致性，以此類推至第三、第四批次的比對作業。

另外，全數感測器比對完成後，建議留下至少5%（含）或6臺（含）以上的感測器於國家監測站上，作為感測器與國家監測站長期校準比對的參考依據，同時可以觀察感測器的衰減行為與使用壽命。平時除可作為定期巡檢比對的參考設備（或稱為參考感測器），當布建場域的感測器損壞時，更替感測器須與預留在國家監測站的感測器進行一致性比對，符合要求後才能裝設於現場。

#### 4.4 感測器布建安裝

為取得具備代表性的感測數據，感測器安裝過程除要確保施工安全及安裝點位正確外，在安裝時需再確認感測器的周界有無造成干擾精確測量的因素，綜整安裝重點注意事項如下：

1. 落實承攬商管理作業，與承攬單位釐清施工範圍與權責，宣導施工安全、用電安全、設備安裝要點及權責義務。
2. 安裝前感測點應落實現場點位放樣，施工單位應確認施工點位，盤點所需工具與相關設備與配件。
3. 施工前落實安全教育宣導與酒測，紀錄出勤施工人員姓名與連絡電話，施工每組至少兩人。
4. 前往安裝地點先確認路燈桿號及安裝點高度，進行現場交管及交通錐設置。
5. 拍攝現場施工前、中、後照片，紀錄感測點站號與路燈桿號。
6. 安裝前先開啟感測器電源，確認感測器運作及數據上傳功能正常，才可以開始進行現場安裝作業。
7. 建議使用高度標準桿（例如3公尺長桿）標示感測器安裝高度及電源線配線位置。
8. 施工人員將感測器固定於燈桿上，完成後需再次確認感測器固定穩固，避

免感測器鬆脫的風險。

9. 進行感測器與路燈電源連接配置：

- (1) 施工作業須符合政府相關法令與規範，依照電力安全規定執行，並使用具有合格配電機關執照的人員進行施工作業。
- (2) 進行電源配線須符合配電安全作業標準，絕緣作業應完備，電源線應設置護線套或相關保護與固定設施。
- (3) 路燈電源與感測器電源饋電點應設置漏電斷路器，設置高度應避免在潮濕的區域。
- (4) 電源配線安裝完成後，確認主電源開通，感測器與外接電源連通，且感測器數據上傳正常。
- (5) 完成路燈、感測器、電源配線的電源防水保護，確保全系統運作電源安全。

10. 盤點施工工具與相關設備及配件耗材，清理施工環境後撤除交通錐。

#### 4.5 最適化點位檢討

雖然工業區感測點、交通感測點、社區感測點、輔助感測點及特殊感測點有布建密度及高度的建議，但地區的污染特性會隨著時間而改變，為確保監測網路之空間代表性與資源配置效率，必須透過長期觀察感測器的數據行為，評估及分析既有感測器的應用目的與效益，建議每年至少進行一次感測器布建之最適化分析與滾動式調整，因地制宜設置感測器在適宜的點位。

以污染熱區鑑別感測的最適化點位為例，可依據既有布建感測點位所發生污染事件頻率，分析點位的必要性與適用效益；或因感測器區位與環境特性，導致相鄰感測器反應相似時，僅需留存具備代表性的感測點，移除反應相同的點位，精簡布建規模。考量一般社區、民眾陳情熱點或醫院等敏感族群集中等特殊需求，應評估關切區域與周界高污染來源的環境相關性，評估在季節的盛行風向影響下，在關切區域的上風處規劃點位布建，可用於對在地民眾預警，進而評估污染對敏感族群的健康影響。

依據地方環保局的需求，布建感測器的應用情境主要包含工廠密集區的污染溯源、轄區火災污染影響範圍的監控與應變、民眾陳情事件的追蹤改善以及敏感族群的健康防護....等。提供最適化布建點位建議如下：

1. 工廠密集區的污染溯源：如同工業感測點的布建密度，建議以50~300公尺距離規劃，平均可採用200公尺布建1點，待確認污染熱區範圍後，再提高布建密度至50~100公尺進行污染溯源。
2. 轄區火災污染影響範圍的監控與應變：依據布建經驗，感測器平均可以反應1公里範圍內的污染濃度，故針對轄區內的火災意外事件，建議感測器的布建密度可採2公里，針對火災密集區的下風處的扇形範圍進行布建。
3. 民眾陳情事件的追蹤改善：可參考環境部公害陳情資料及內政部人口統計資料，並依據陳情熱區的污染特徵進行上下風的布點規劃，建議於陳情點周界下風處50公尺範圍內布建1點，並於陳情點上風處及下風處200公尺範圍外布建比對點，追蹤污染來源。
4. 敏感族群的健康防護：針對敏弱族群集中區域（如醫院、學校、公園...等）進行布建，建議於敏弱族群集中區域旁設置感測器，提供微環境的環境濃度參考數據，提示群眾做好健康防護。

## 第五章 運轉中管理作業規則

感測數據品質的優劣直接影響後續分析與應用的需求，故在維運管理的過程中，必須詳實記錄維護保養的歷程，作為評估感測器使用週期、性能特性、衰減徵兆及故障特徵的參考依據。故在維運的基本資料上，必須先建立每個感測器內感測元件及功能模組的規格，例如感測元件的廠牌型號與已運作時間，原廠提供的校準程序及操作手冊，建議的感測範圍、精度、偏差及極限，以及最佳感測頻率、反應時間、使用年限與可能造成干擾的因子等資訊。以應用於環境污染熱區鑑別為目的的感測器在維運管理上的重點建議說明如下：

### 5.1 運轉中感測數據偏差原因

PM<sub>2.5</sub>感測器除容易受環境濕度、溫度和風速等天氣條件的影響外，因長期在高頻率的環境感測運行中，造成數據偏差的已知原因如下：

1. 環境髒污累積導致感測元件的靈敏度與性能衰減，造成感測數據發生偏差。
2. 長期運作導致感測器進氣系統機構髒污或堵塞，造成進氣流量降低，使得感測濃度判讀偏低。
3. 感測器外圍環境變化可能也會造成感測數據影響，例如周邊因樹叢成長或新立廣告看板造成氣流遮蔽的影響。
4. 感測元件老化或附屬機構性能衰減，都可能是影響感測數據偏移的原因。

為確保長期大量的感測器數據品質，定期的維護管理至關重要，包含定期內部機構清潔如進氣過濾組件、進氣風扇及進氣流道，感測元件與感測腔室須保持乾淨，其他如電池與機板的功能檢查也是需要關注的，至於感測器外圍環境的定期巡查，對於感測器周邊可能影響氣流通暢的物件如樹叢、新立廣告看板皆須予以清除搬離，故在感測器長期運行後，須持續透過定期巡檢機制，觀察感測器的感測效能，定期比對校正，以維持感測器的數據品質。

## 5.2 定期現場維護

為降低感測器長期附掛於環境場域所造成的數據偏差情形，使用單位或維運廠商應建立定期維護管理機制，透過長期觀察群集感測數據的區域特性，與現場定期維護的紀錄，依據布建區域環境特性，劃分感測特性類似的群集感測點，建立長期群集感測特性行為分析模式。以符合污染熱區鑑別應用等級需求為例，建議使用單位或維運廠商至少每3至6個月應針對每個感測器進行現場目視檢查，檢查重點如下：

1. 檢查感測器周邊環境、感測器外觀與相關組件（如固定組件、外接電源系統）。
2. 感測器機構內進行檢查，必要時針對過濾器、進氣流道、感測腔室、風扇及感測元件實施清理。
3. 為保持感測環境的有效性，須檢視感測器的周界1公尺範圍內是否有新增遮蔽物（如樹叢成長包覆、新設招牌布幔），並予以清除或拆遷。
4. 檢視感測器周邊50公尺內是否新增污染排放源，如廟宇的金爐燃燒、餐廳油煙排放口、車道出入口...等，如果感測器容易受局部污染源直接影響，在無法排除局部污染來源之狀況下，應評估進行感測器搬遷。

每次的現場目視檢查與維護清理應建立影像與文字紀錄，並與群集感測數據建立關連性，透過長期紀錄的累積與分析，可發展成自動化維運管理機制，在維持感測器運作品質下，可有效降低現場維運頻率。為提升感測器維運與巡檢效率，可同時進行現場目視檢查與定期巡檢比對作業（詳如5.6節）。

## 5.3 感測器數據校正

PM<sub>2.5</sub>感測元件在環境場域量測的主要干擾因子包含濕度、溫度、風速，在有效的維護保養機制運作下，感測數據仍會發生偏差量，故感測器在生產出廠後即須持續進行數據校正，分析感測器與環境影響因子間的相關性。校正機制能有效提升感測器之數據品質，使感測數據與參考儀器之相關性大幅提升，透過與參考儀器（如國家監測站 PM<sub>2.5</sub>監測設備）進行長期的平行比對，建立多變數的校正模式，協助感測器與國家監測站數據間的偏差量符合

應用分級性能要求。同時在布建至環境場域後，也需透過定期或動態校正，持續維持感測數據品質，數據校正的頻率建議每月至少進行一次校正，若數據品質仍不符合污染熱區鑑別等級，應提升數據校正頻率，透過縮短校正週期，有助於即時修正感測器之零點漂移與靈敏度衰減，進而確保長期監測品質。此外，待校正感測數據之時間解析度，必須配合參考儀器之時間解析度進行調整，以參考國家監測站數據進行校正為例，因國家測站的時間解析度為小時值，待校正之感測數據必須將分鐘值數據轉換為小時值後，再進行校正作業，以確保與參考儀器數據之同步性。以下列舉多元線性迴歸為範例說明：

1. 獨立變數：校正模式可用自變數包含感測器讀值、國家監測站溫度、國家監測站相對濕度、國家監測站風速、感測器溫度、感測器相對濕度、感測器風速等，如果有其他可供參考之變數也可納入考量，但須確保變數間的獨立性。由於低成本感測器多以光散射原理進行監測，極易受到濕度干擾，建議維運單位優先分析相對濕度與感測器濃度偏差之函數關係，建立濕度補償機制，降低環境濕度對數據解讀之干擾。
2. 群體校正方式：群集感測器在符合精確性(Precision)的條件下，可以透過群集感測器中挑選代表性感測器，設置於區域內國家監測站上進行長期比對，據以建立以國家監測站為參考方法的感測器校正模式，此校正模式可以套用至群集中的其他感測器進行校正。但是要注意下列事項：
  - (1) 校正模式考量的自變數越多，校正後的數據品質原則上會越好，但是要確保運用的自變數間的獨立性，且自變數能維持一定的數據品質，所以如採用感測器的溫度、相對濕度及風速數據為自變數，就須注意相關的感測數據品質。雖然國家監測站的數據能提供穩定的數據品質，但是對於距離國家監測站太遠的感測器則不一定合適套用，因此建議可使用以下方式進行數據校正：
    - A. 將長期比對的感測器放置於鄰近（或具有相同環境背景）的國家監測站建立校正公式，以國家監測站為中心，由近至遠建立不同感測器子集，一層一層進行數據校正。若已納入溫

度與濕度等因子校正，校正結果仍不如預期，建議每一個子集的代表感測器，增設簡易型的風速風向計，將氣象條件納入校正公式，以提升數據校正的品質。

B. 可導入移動式空品監測車或符合數據品質標準的簡易型 PM<sub>2.5</sub> 標準儀器（如 MetOne 等），至現場進行感測器數據校正。

- (2) 平行比對時間越長所建立的校正模式參考性越佳，但是校正模式的適用濃度範圍以平行比對時所能量測的環境濃度區間為佳，故校正模式不建議套用到比對分析的濃度範圍之外。
- (3) 為提升校正模式的可靠度，建議可採動態性校正，例如定期調整校正模式，可累積前兩週、前一個月或運用前一年（因無法評估感測元件的衰減影響，較不建議）的比對數據建立下一階段的感測器校正模式。由於不同的環境條件及感測器的特性，動態校正的頻率並不一致，建議可評估不同校正頻率下的相關性或偏差量的變化，選擇最合適的校正模式。
- (4) 由於感測器在不同濃度區段與國家監測站的線性關係並不相同，建議應透過長期比對分析，劃分不同濃度區間的線性關係。由於國家監測站為小時平均濃度，但感測器為分鐘值的平均濃度，當在污染源附近時，極可能發生高濃度反應，如採用線性外差的濃度校正誤差將會變大，故針對超出國家監測站測值以上的校正模式，建議需要透過人為產生或實驗室模擬來建立高濃度環境，作為較可靠的短時間高濃度感測數據校正參考。
- (5) 為提升感測器更高的數據品質，未來可建立每個感測器個別的校正模式，第一次的校正可藉由與國家監測站的平行比對，後續的校正可透過群體感測數據進行群集分析校正，定期再採用符合應用分級性能指標的參考儀器（或參考感測器）至群集感測器旁進行平行比對校正，以雲端數據校正搭配實體校正來提升各感測器的數據品質。

## 5.4 感測器群集分析

由於感測器大量布建於環境場域，為使感測器持續提供可信數據資料，應建立設備資訊、智慧巡檢、數據校正及衰減分析等相關機制，透過長期蒐集感測數據，解析感測數據趨勢變化，藉此判讀感測設備的運作品質、分析衰減或故障徵兆，可有效降低感測物聯網管控成本，提升感測數據的服務品質。

由於 PM<sub>2.5</sub>感測器具備極佳的精確性(Precision)，除反應出感測器在相同環境情況對於污染物感測濃度的再現性外，群體感測器在相同環境情況下，群體感測數據也具備一致性。故在檢視環境場域中感測器設備的異常徵兆，可藉由在環境特性相似的區域內，無局部污染行為的影響下，群體感測器行為應具備相當一致性，透過將相似的群體歸類成同一個群集，定期分析群集的變異性，即可判斷出感測器的異常特徵。分析人員可自行挑選合適之分析方法（如歐式距離、華德法、凝聚分層法或類神經網路演算法），或合適之統計軟體（SPSS）執行群集分析。

1. 排除無效感測數據：當感測器有一段時間（例如1小時）發生缺值、定值、負值及超出感測範圍時，應屬於設備故障狀態，不納入群集分析。維運單位應循設備維修機制，限期完成故障排除。
2. 群集劃分：透過感測器歷史數據的蒐集，清理與排除異常與離群數據，透過環境資料與大數據分析，將具備感測行為類似的感測器納入同一群集，且感測器數量至少有3顆（含）以上為群集分析的基本需求。依據歷年分析經驗，感測器可以反應1公里範圍內的污染濃度，故群集分析建議可以觀察2種計量差異，進而判斷出群集分組。首先以(1)空間距離分組：以1公里範圍內的感測器進行分組；其次(2)感測行為相關性分組：1公里範圍內的感測器中彼此的行為相關性分析，一般可以決定係數( $R^2$ )具備的正相關性進行判斷，並且以正相關最明顯的群體為一組；(3)季節影響分組：由於感測行為受季節風向的影響甚鉅，故群集的劃分需考量季節影響，一般以夏季風向及冬季風向進行評估分組。為確保群集分類能反映當前環境背景與布建異動，建議每年至少重新進行一次群集劃分作業。

3. 群體變異分析：藉由個別感測器與群集感測器間的一致性或相關性分析，依據變異程度與發生頻率，歸類感測器異常的篩選權重，篩選的指標可參考決定係數( $R^2$ )、變異係數(CV)、相對誤差(Error)，再透過異常感測器行為樣態頻率、環境變異符合度、現場維修查證及人工智慧技術的輔助，逐步建立智慧化雲端異常診斷模式，發展自動化雲端巡檢機制。為落實感測數據之品質控管，建議每季至少進行一次群體變異分析，以及時掌握感測器之衰減或異常狀態。
4. 群集分析判定出感測器異常現象後，應限期透過相關資訊或現場查證進行狀態釐清，屬設備異常應循設備維修機制，限期完成故障排除；屬環境異常應循污染稽查機制，列案追蹤污染特徵，完成環境執法作業。
5. 透過定期群集分析結果進行雲端巡檢，找出各子集中的異常值，當發現出現較多異常值時，可以在數據資料庫直接找出原因並處理的，就不需要到現場去。相對的，如果發現感測器有問題非去現場處理的，就可以立即處理，自然也不必等到巡檢比對後發現問題才進行處理。這樣的做法不僅可以節省許多人力與物力，也可以將定期（至現場）巡檢改為經常性的（在雲端網路透過資料分析）巡檢，反而更能確保空品感測器監測數據的可靠性，亦可大大減少眾多空品感測器的維運人力。

## 5.5 感測器衰減分析

感測器在環境場域進行高頻率感測，造成感測數據偏差加大的原因主要有感測元件污損或老化，以及進氣效率降低（如進氣系統髒污、阻塞，進氣風扇效率降低）。為觀測感測器是否有發生衰減行為，可透過長期觀察與分析感測器與參考儀器間相關性、偏差量以及標準差的變化趨勢進行研判。由於PM<sub>2.5</sub>的環境濃度隨季節變化，故長期趨勢的比對應考量季節的差異，以及對應各年度相同時間區段的趨勢變化。

1. 運用布建於國家監測站上的感測器進行長期趨勢分析，分析感測器與國家監測站間相關性或偏差量的變化趨勢，依據變化趨勢與時間演進的相關反應來判讀該批次型號感測器的衰減趨勢。
2. 以國家監測站周邊場域（例如國家監測站周邊1公里範圍內，視感測器與

環境條件而異)的群集感測器進行長期趨勢分析，分析群集感測器與國家監測站間相關性或偏差量的變化趨勢，依據變化趨勢與時間演進的相關反應來判讀群集感測器的衰減趨勢。

3. 以國家監測站為基準，分析群集感測器與國家監測站間相關性或偏差量的長期變化趨勢，依據感測濃度範圍的變化趨勢與時間演進的相關反應來判讀群集感測器的衰減趨勢。
4. 針對距離國家監測站偏遠的感測器，建議可以參考儀器（或參考感測器）與群集感測器進行長期趨勢分析，參考儀器（或參考感測器）的數據品質要求同定期巡檢的要求（詳如5.6節），分析群集感測器與參考儀器（或參考感測器）間相關性或偏差量的變化趨勢，依據變化趨勢與時間演進的相關反應來判讀群集感測器的衰減趨勢。

## 5.6 定期巡檢

為維持感測器的數據品質，使用單位或維運廠商應建立定期巡檢計畫，有效率地管理大量感測器，維運單位可以依據區域環境特性，把感測行為相似的群體歸類成同一個群集，藉由在穩定環境條件中群集感測器行為的一致性，分析出行為異常感測器，解析群集感測的異常特徵，篩選出設備異常或感測偏離的感測器，再配合定期現場巡檢作業，釐清感測器異常原因，評估進行現場巡檢比對校正，或確認故障原因以進行維修保養及設備更新。以符合污染熱區鑑別應用等級需求為例，說明如下：

1. 維運單位應建立常態性數據比對機制，將感測器與附近之國家監測站（建議距離1~2公里以內）、移動式空品監測車或其他符合污染熱區鑑別應用等級性能指標之設備，進行常態性的比對，持續觀察感測器數據變化。建議以每日、每週或每月針對感測器進行群集分析，篩選出疑似設備異常或感測偏離的感測器，必要時進行現場巡檢比對校正。
2. 建議維運單位每3個月至少抽樣10%（感測器維運總數）以上感測器，尤其是群集分析發現的異常設備，優先進行現場巡檢比對，評量的應用分級性能指標至少需包含相對誤差(Error)、決定係數( $R^2$ )、線性迴歸斜率(Slope)。

3. 現場巡檢比對相關作業程序建議如下：

- (1) 依據抽樣異常感測器排定巡檢路線與巡檢期程。
- (2) 巡檢作業前建立巡檢用參考儀器（或參考感測器）品質確認，將參考儀器（或參考感測器）置於國家監測站進行5~7天平行比對，確認符合污染熱區鑑別應用等級需求，評量的應用分級性能指標至少需包含相對誤差(Error)、決定係數(R<sup>2</sup>)。符合污染熱區鑑別應用等級之性能標準，請參考2.2小節表4內容。
- (3) 巡檢人員依據排定巡檢路線，附掛前確認燈桿號及欲比對感測器編號，並進行現場交管及交通錐設置。
- (4) 進行受查感測器外觀及機構內檢查，針對過濾器、進氣流道、感測腔室、風扇及感測元件清理，記錄感測器周邊環境狀態，同時與布建時環境狀態比對，檢查與清理過程拍照並留下紀錄。
- (5) 開啟巡檢用參考儀器（或參考感測器）後附掛於受查感測器旁，參考儀器（或參考感測器）與受查感測器距離在1公尺以內，進氣口應位於相同高度，待平行比對設置完成且感測數據穩定輸出後，即開始進行平行比對，比對時間不得少於12小時。
- (6) 待符合比對時間後依序回收巡檢用參考儀器（或參考感測器）。
- (7) 完成多個批次巡檢作業後的巡檢用參考儀器（或參考感測器），須再置回國家監測站進行5~7天平行比對，確認符合污染熱區鑑別應用等級性能指標後，批次巡檢比對的成果才可納入分析。如巡檢後所用參考儀器（或參考感測器）與國家監測站平行比對不符合標準，所進行的批次巡檢作業皆視為無效，需重新執行巡檢程序。
- (8) 國家監測站濃度低於15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 時，感測器與國家監測站濃度的器差絕對值依兩階段判定：(a)當國家監測站濃度低於或等於9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 時，受查感測器與國家監測站濃度器差絕對值小於或等於8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 即判定符合低濃度性能指標；(b)當國家監測站濃度為10~14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 時，受查感測器與國家監測站濃度器差絕對值小於或等於5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 即判定符合低濃度性能指標。

- (9) 國家監測站濃度高於或等於 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 時，受查感測器與國家監測站相對誤差(Error)須符合污染熱區鑑別應用等級性能指標。符合污染熱區鑑別應用等級之性能標準，請參考2.2小節表4內容。
4. 當感測數據未符合污染熱區鑑別應用之等級性能指標時，應進行感測器校正模式調整或必要之維修作業。建議於完成校正或維修後，選擇特殊時段（如國慶焰火）或特殊空氣品質事件（如火災、沙塵暴、異味或非異味污染陳情等）期間，執行感測數據比對分析。此作法有助於驗證感測器於空氣品質劇烈波動情境下之量測表現，並評估其與周邊感測器數據一致性，以確認校正或維修後之感測器已具備穩定且可用之監測能力。

## 5.7 感測器異常告警管理

感測器功能出現異常狀況或不合理現象時，應做出即時且適當處理，除依據設備原廠操作手冊建議外，並持續追蹤與查察，建立完整的故障排除紀錄，納入自動化異常診斷管理機制。茲說明如下：

1. 透過感測器回傳的數據篩選出異常感測器，根據設定條件（如錯誤碼、機板溫度、數值異常..等），篩選出疑似損壞、異常等有疑慮的感測器。例如：
  - (1) 感測值發生缺值、定值、負值、空值。
  - (2) 回傳損壞狀態設定對應的錯誤碼。例如機板溫度不正常、低電壓告警...等。
  - (3) 感測值超出感測元件規格書定義的運作範圍。
2. 感測器異常狀態通報：可依據檢驗錯誤碼標示該裝置為狀態異常，透過通訊軟體（如 Line、MMS、E-mail）進行告警推播，並產生異常案件通報單，將檢驗錯誤碼感測器資訊詳細記載其中，作為管控異常事件追蹤管理的依據。
3. 異常狀態確認：可依據檢驗錯誤碼初步判定歸屬設備異常、通訊網路異常或電力異常，並產生派修工單，將檢驗錯誤碼感測器資訊詳細記載其中，作為維修處置的參考。

4. 維修進度管控：依據派修工單進行進度管控，透過派工時間、維修進度回報、異常原因、維修項目及修復時間等紀錄追蹤管控維修進度。
5. 維修完成設備復歸：詳實記錄維修紀錄，包含異常發生原因、維修項目與經費、維修處置時間等，建立完整紀錄，作為自動化異常診斷系統參考。

## 5.8 感測器快速查修

依據檢驗錯誤碼初步判定歸屬設備異常、通訊網路異常或電力異常等疑慮狀態後，可先進行遠端重置來故障排除，如果問題無法排除，再進行現場維修處置。茲說明如下：

1. 維運人員根據檢驗錯誤碼初步判斷損壞、異常等疑慮狀態裝置。
2. 異常狀態裝置先進行遠端重置開機，持續觀察。若異常現象重覆出現無法排除，即進行感測器更換修復作業。
3. 維修人員至現場維修處置：
  - (1) 現場確認是否為通訊網路中斷或是電力中斷導致系統故障。如為電力或通訊系統供應中斷，即洽詢相關維運單位協助復歸，並納入異常事件追蹤管控。
  - (2) 現場檢視感測器外觀與內部機構是否異常，一般為感測器被外力刻意破壞或被路燈維護單位誤剪電力配線所致居多。內部機構發生異常主要以進氣口堵塞（如髒污、生物體）以及電池組損壞居多。
  - (3) 經由外觀與內部機構未發現明顯異常時，先進行本地端強制重開機，觀察設備復歸狀態。若問題仍無法排除，即進行感測器更換修復作業。
  - (4) 處置完成後，維運人員將問題原因與處置結果等資訊回報於派修工單內，完成派修程序。

## 5.9 感測器汰換更新

針對感測器快速查修後，無法排除異常的感測器，即刻進行感測器更換作業，茲說明如下：

1. 依據派修工單註明感測器汰換更新，對於感測點位的數據應明確註記感測器設備更換的時間。
2. 為落實循環經濟，廢棄感測器應妥善回收處置，將廢棄感測器拆解評估各項組件之再利用性。針對功能尚存之組件，透過清潔、修復後重複使用或轉作維修備品，以延長產品生命週期；針對損毀或無法修復之組件，應委託合法處理機構，依廢棄物清理法規範辦理廢棄物的回收與最終處置，過程中應特別注意鋰電池之拆卸作業與單獨回收，嚴禁混入一般廢棄物，避免發生火災及造成環境污染的危害。
3. 新的感測器在更換前必須符合 PM<sub>2.5</sub>感測器的建議性能指標所建議應用等級需求。同時為保有與布建區域內群體感測器的一致性，必須通過群體一致性比對驗證。
4. 新感測器的更換程序同感測器布建安裝程序，必須符合施工安全及用電安全等相關規範。並完成施工前、中、後等施工紀錄。

## 第六章 布建後查核作業規則

感測器雖然具備高時空解析度的優勢，但是其感測的準確性與精確性受環境與使用方式所影響，為有效解析感測數據進行智慧化環境治理工具，必須確保感測器持續維持數據品質符合應用目的的性能指標，故在感測器品質管理，除維運單位自主管理感測器出廠性能品質、布建作業、運轉中管理外，使用單位於布建後的第三方查核也至關重要，希望藉由多階層的品質管理，確保感測器的應用目的與數據品質性能指標。以符合污染熱區鑑別應用等級需求，提出第三方查核、召回測試及異常查檢的重點建議說明如下。

### 6.1 第三方查核

環境部（或地方環保局）為查核感測器的維運品質，透過第三方查核進行感測器抽樣查核，篩選受查感測器抽樣至國家監測站平行比對，或攜帶參考儀器進行現地感測器比對。建議每年應定期實施第三方查核（如每年實施1次以上），查核數量應具備抽樣的代表性，查核標準須符合污染熱區鑑別應用等級性能指標，相關作業程序說明如下：

1. 抽樣方案及數量：採隨機抽樣、分類抽樣或運用群集分析抽樣進行感測器篩選，建議查核轄區內總數之3%（含）以上感測器。
2. 查核方案：可分為於國家監測站進行查核及以參考儀器於現場進行區域查核等2種方案，環境部（或地方環保局）可依業務需求挑選合適的查核方案。
3. 查核比對時間進行2~3天（48~72小時）平行比對，感測器以每小時平均值感測資料來計算，參考儀器及感測器比對數據至少2天（含）以上資料。由於環境 PM<sub>2.5</sub>濃度較低時，無法得知實際感測器的數據品質表現，因此查核比對時可排除環境濃度低於10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 紀錄，並建議避免於暑假期間（每年7~8月）執行比對作業。
4. 於國家監測站進行查核比對作業：
  - (1) 採於國家監測站進行查核者，應於查核前，依據受查感測器排定查核期程，並事先通知環境部環境物聯網（IoT 平臺）進行受查感測器數

據下架作業，避免查核過程感測器數據被誤用。

- (2) 感測器由維運單位配合第三方查核團隊拆除感測器，送至指定國家監測站進行平行比對作業，待比對完成後再由維運單位將感測器安裝回原設置地點。
  - (3) 於國家監測站進行查核比對作業的感測器進氣口應盡量接近參考儀器，但需避免阻礙對雙方進氣的影響，可採行每次多個感測器與參考儀器的比對作業。
  - (4) 每一受查感測器與國家監測站進行比對分析，比對受查感測器與國家監測站相對誤差(Error)之數據合格率，作為第三方查核數據品質成果。
  - (5) 於國家監測站比對標準，環境濃度低於 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （含）時，受查感測器與國家監測站濃度的器差絕對值依兩階段判定：(1)當國家監測站濃度低於或等於 $9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 時，受查感測器與國家監測站濃度器差絕對值小於或等於 $8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 即判定符合低濃度性能指標；(2)當國家監測站濃度為 $10\sim 14\mu\text{g}/\text{m}^3$ 時，受查感測器與國家監測站濃度器差絕對值小於或等於 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 即判定符合低濃度性能指標。環境濃度高於 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 時，受查感測器與國家監測站相對誤差(Error)須符合污染熱區鑑別應用等級性能指標。符合污染熱區鑑別應用等級之性能標準，請參考2.2小節表4內容。
  - (6) 在完成第三方查核比對後，進行感測器對水霧的反應時間來評量高濃度延遲反應，對於延遲時間過長之感測器（如3分鐘以上），維運單位應提出性能及機構設計改善方案。
  - (7) 如不符合建議要求者，限期進行感測器校正作業，如果仍無法維持上述標準，即進行感測器汰換更新作業。
5. 以參考儀器於現場進行區域查核作業：
- (1) 參考儀器以符合美國聯邦參考方法(FRM)、美國聯邦等效方法(FEM)或符合環境部品保品管標準的 $\text{PM}_{2.5}$ 儀器為主，可於氣流擾動較顯著的平地區域進行與感測器比對作業，藉此觀察感測器與參考儀器（或參考

感測器) 變化與差異，並探討其可能原因。

- (2) 為確保參考儀器的數據品質，參考儀器於第三方查核前、查核後，皆須放置於國家監測站進行2~3天(48~72小時)平行比對，確認符合污染熱區鑑別應用等級需求，評量的應用分級性能指標至少需包含相對誤差(Error)、決定係數(R<sup>2</sup>)。符合污染熱區鑑別應用等級之性能標準，請參考2.2小節表4內容。
- (3) 完成參考儀器與國家監測站的數據品質比對作業後，參考儀器可搭載不同的移動載具(如移動式監測車)，至現場進行區域查核作業。
- (4) 選定第三方查核區域後，將參考儀器架設於查核區域的中心，參考儀器架設高度必須與受查感測器同高。完成參考儀器架設後，每一受查感測器與參考儀器進行比對分析，比對受查感測器與參考儀器相對誤差(Error)的數據合格率，作為第三方查核數據品質成果。

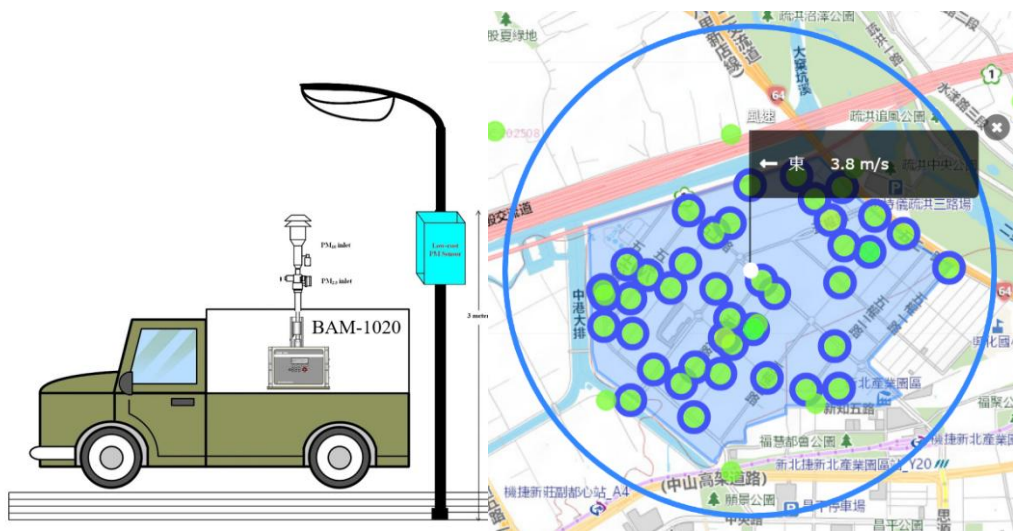


圖3、參考儀器放置高度及位置

- (5) 以參考儀器於現場進行區域查核作業標準，每次為期48小時(含)以上，當參考儀器感測濃度低於15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (含)時，受查感測器與參考儀器感測讀值器差絕對值小於或等於8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 即判定符合低濃度性能指標。參考儀器感測濃度高於15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 時，受查感測器與參考儀器相對誤差(Error)須小於等於50%。
- (6) 如不符合建議要求者，限期進行感測器校正作業，如果仍無法維持上

述標準，即進行感測器汰換更新作業。

## 6.2 召回測試

環境部（或地方環保局）為追蹤通過型式驗證的感測設備性能，透過召回測試來評估各型號、批次或場域的感測器性能變化，作為改善設計、生產組裝、設備安裝及巡檢查核參考依據。

1. 召回測試作業同型式驗證並採重點項目測試，詳如3.3節。
2. 召回測試數量、頻率與測試項目依環境部（或地方環保局）年度需求訂定。
3. 召回測試的查驗目的：確認召回的感測器內部機構與性能符合原布建設備的規格與性能。
4. 召回測試作業程序：針對已布建於場域的運作中的感測器進行抽樣測試，由維運單位協助拆卸給測試單位攜回至實驗室進行召回測試，測試完成後再交還維運單位復歸。
5. 召回測試如發現感測器機構與原實驗室測試不同，維運單位應拆除該型全數感測器，重新依本指引的作業規則執行布建，自判定不合格至確認改善完成的數據為無效數據。
6. 召回測試如發現感測器性能無法符合污染熱區的鑑別應用等級性能指標，維運單位應盡速完成修復調整，重新送實驗室測試，確認完成改善。自判定不合格至確認改善完成的數據視為無效數據。維運單位應全面檢視同型感測器，避免該型號感測器發生類似的異常狀態。

## 6.3 異常查檢

環境部（或地方環保局）針對運行中的感測器持續進行群集分析，依據感測器群集反應異常的感測器進行不定期現場查核比對，據以評估疑似異常感測器的偏移行為。

1. 異常感測篩選：運用群集分析篩選反應不同的感測器，透過長期觀察異常發生的時間特徵與發生頻率來評估需要現場查檢的必要性。

2. 異常查檢的參考儀器（或參考感測器）：須符合或優於受查感測器的應用等級性能指標，或可選用長期附掛於國家監測站的參考感測器，同時進行平行掛測比對。
3. 平行掛測時間：至少要持續觀察異常感測器在群集中的異常反覆行為特徵，分析參考儀器（或參考感測器）與異常感測器發生異常趨勢的一致性及其相對誤差(Error)，據以確認異常高值或異常低值行為是屬於感測器異常或環境異常事件。
4. 如果判定屬於設備異常，則依設備維護程序辦理，自判定不合格至確認改善完成的數據視為無效數據。如判定環境異常，則依循環境執法應用程序辦理。

## 第七章 感測數據公布規則

為提供民眾能正確了解感測數據所代表的意義，本指引依據感測器的應用目的進行分級，其中符合 Level 4 輔助國家監測站參考產出的感測數據可以補充國家監測網絡的感測數據，民眾可直接運用為環境濃度的參考數據；符合 Level 3 個人暴露評估及 Level 2 污染熱區鑑別的感測數據因偏差較大，雖與環境濃度的變化趨勢相當一致，較合適以濃度色階繪製成 PM<sub>2.5</sub> 的濃度地圖，產出的感測數據僅供協助判讀區域環境污染濃度的差異參考。環境部基於環境資料透明開放，推動公私協力共治共創的目標下，訂定感測數據公布規則，欲公布之感測數據應符合污染熱區鑑別應用等級需求。

### 7.1 感測數據即時公布規則

感測器需符合污染熱區鑑別等級，同時落實執行感測器出廠性能品管作業規則、布建作業規則、運轉中管理作業規則及布建後查核作業規則，在符合下列全部要求下，可即時公布感測數據。

1. 感測器型號通過出廠性能品管，在實地場域測試與實驗室測試符合污染熱區鑑別應用等級性能指標。
2. 布建前全數感測器通過一致性比對，運轉中的感測器應落實執行定期維護與定期巡檢作業，並符合污染熱區鑑別應用等級性能指標。
3. 感測器定期進行衰減分析，並落實動態數據校正，當發現感測數據校正後仍無法維持污染熱區鑑別應用等級性能指標，即進行感測器汰換更新，符合標準後才能公布數據。
4. 如第三方查核、召回測試及異常查檢不符合污染熱區鑑別應用等級性能指標，應限期維修改善，符合標準後才能公布數據。

### 7.2 感測註記條件

當發生下列狀況時，因數據不具代表性，故不公布。

1. 感測數據超出型式驗證測試的最高濃度，不公布感測數值，改以超出上限值註記。

2. 因設備故障、實施維修保養或巡檢校正等不具代表性數據，不公布感測數值，改以設備狀態註記。

### 7.3 數據公布權責與義務

1. 維運單位負責提供感測數據，落實執行出廠性能品管作業規則、布建作業規則、運轉中管理作業規則，除須自主定期維護與巡檢外，應透過數據衰減分析及動態數據校正，持續維持感測數據符合污染熱區鑑別應用等級性能指標。
2. 經地方環保局查驗維運單位定期維護巡檢、感測數據衰減分析及動態數據校正等作業與成果紀錄，必要時透過布建後查核，確認感測器符合污染熱區鑑別應用等級性能指標，其感測數據可即時公布。

## 第八章 資料數據中心與應用分析平臺

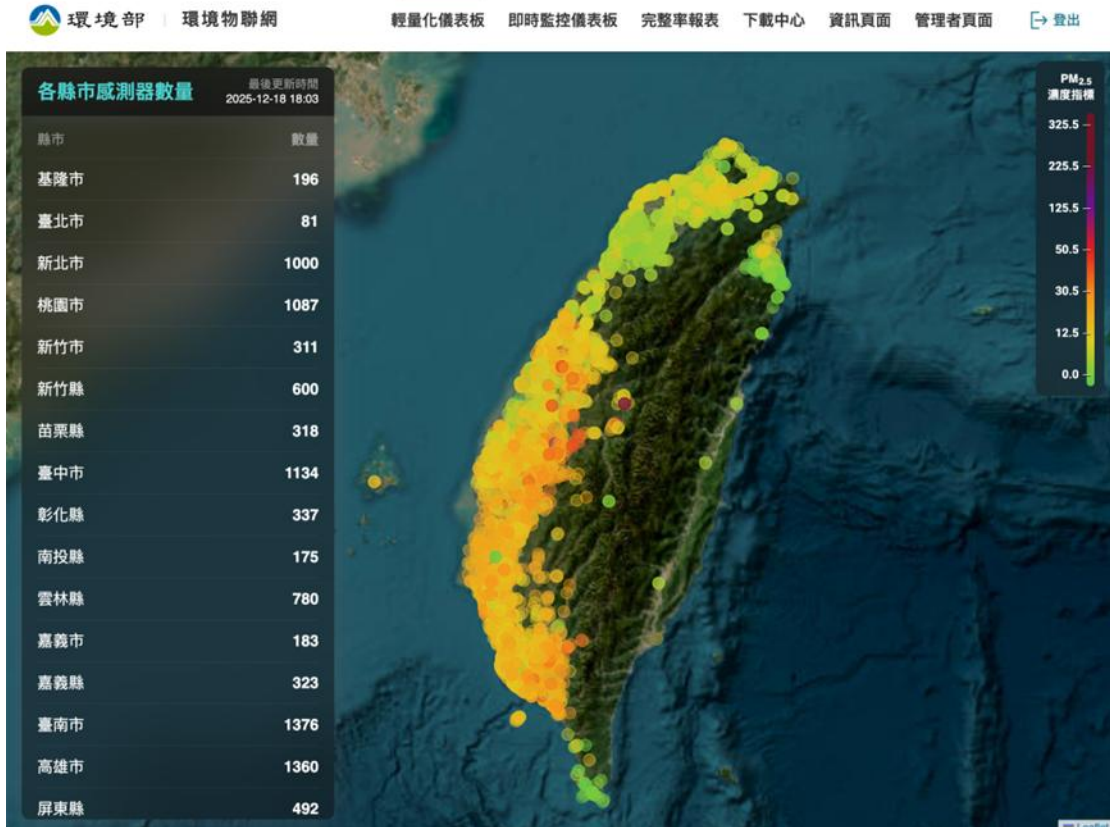
為有效發揮空品感測物聯網的運作效能，針對感測器的出廠性能品管作業、布建作業、運轉中管理作業、布建後查核作業訂定管控與查核要求，確保感測器提供符合數據品質且具代表性的感測數據，再藉由資料數據中心（環境部環境物聯網）的收集、清理與分析，管控各個感測器的運作狀態進行設備異常告警、數據管理、數據倉儲，提供管理者即時掌握感測數據收容狀況。收集的感測數據，則透過感測數據分析平臺（環境部空氣網）呈現在地圖上的感測分布、氣象數據及環境資料，同時提供數據分析工具，解析關切區域的污染熱區、污染時間及可疑列管工廠等。

### 8.1 環境部環境物聯網

環境物聯網（簡稱 IoT 平臺）為環境部的資料數據中心，收集國家級監測站、智慧城鄉空品感測器（中央與地方合辦）、校園空品感測器等。其中智慧城鄉空品感測器以 PM<sub>2.5</sub>、溫度、相對濕度感測為主，數據上傳頻率為1~3分鐘一筆。數據資料中心提供數據品質檢核與清理功能，提供異常如負值、定值、時間重複值等檢核工作，針對數據異常設備以統計表提供給地方環保局及維運廠商，並讓有問題設備數據下架，建立感測設備生命週期管理，避免將有問題數據提供到外界引用。

#### 8.1.1 感測設備管理介面

IoT 平臺提供感測設備狀態儀表板，以直覺式的圖像化管理介面（如圖 4），讓管理者可針對個別感測器及專案感測器進行運作現況分析，可即時查知感測數據收容的完整率，讓管理者能即時得知感測設備異常狀態，以利後續的維修與異常排除。



### 最近一小時 空氣-IoT 之即時完整率

統計區間: 目前時間去掉尾數後再減10分鐘, 之後回溯1小時, 例如: 現在是9:46 -> 統計時間範圍: 8:30-9:30

最後更新時間: 2025-12-18 18:01

單一測項每小時應收筆數: 60

project_id	專案名稱	縣市	合辦裝置數	↓ humidity(%)	pm2_5(%)	temperature(%)
16	雲林縣總專案一	雲林縣	360	99.26	99.26	99.26
6	嘉義縣總專案	嘉義縣	300	97.27	97.66	97.33
25	卡米爾監控系統可用率	其他	1	96.67	96.67	96.67
18	臺北市總專案	臺北市	76	95.83	95.83	95.83
19	新北市總專案	新北市	950	94.81	94.81	94.81
2	新竹市總專案	新竹市	300	94.41	94.68	94.4
24	高雄市總專案	高雄市	1350	92.37	92.37	92.37
9	宜蘭縣總專案	宜蘭縣	150	91.12	91.12	91.12
12	基隆市總專案	基隆市	200	90.99	91	90.99
4	屏東縣總專案	屏東縣	500	90.73	90.74	90.73
11	雲林縣總專案二	雲林縣	400	90.5	90.5	90.5
10	南投縣總專案	南投縣	180	90.46	90.46	90.46
21	新竹縣總專案	新竹縣	606	89.52	89.52	89.52

### 最近一小時 國家測站 之即時完整率

統計區間: 目前時間去掉尾數後再減10分鐘, 之後回溯1小時, 例如: 現在是9:46 -> 統計時間範圍: 8:30-9:30

圖4、環境部 IoT 平臺數據即時傳輸情形監控儀表板

### 8.1.2 設備狀態檢核

感測設備上傳的資料匯入 IoT 平臺後，將由平臺設定的各式檢核規則檢查後，若發現有數值異常的狀況，系統將直接反應出異常裝置，目前針對裝置的異常監控，平臺以每個感測裝置為單位，進行空值、負值、定值、重複分鐘值以上四種狀態的檢核，可透過程式排程與即時檢核方式，如實反應裝置的可能狀態。

表5、感測器異常狀態

異常值	檢測測項	定義	程式處理邏輯
重複分鐘	pm2_5， humidity， temperature	同一分鐘同個 測項超過 1 筆	扣除多餘筆數，不算完整率  (使用者下載不到重複值)
空值	pm2_5， humidity， temperature	數值為空	扣除數值為「空字串、空白、非數字 之筆數」，不算完整率  (使用者下載不到空值)
負值	pm2_5， humidity， temperature	數值為負	扣除數值小於 0 之筆數，不算完整率
定值	pm2_5	連續 12 小時 數值完全相同	扣除連續 12 小時數值完全相同之筆 數，不算完整率

### 8.1.3 設備異常處置流程

當系統透過規則檢核出感測裝置發生異常時，透過統計表提供維運單位檢核。

專...	PM2_5定值筆數	PM2_5負值筆...	PM2_5時間重複值...	PM2_5空值	humidity_零值筆數	humidity_負值筆...	humidity_時間重複...	humidity_空值
25	44262	0	1	0	0	0	1	0
12	45037	0	49391	0	1940118	0	49391	0
18	0	0	7838	0	291511	0	7832	0
19	91170	0	155762	0	2569535	0	155742	0
20	391272	0	105648	0	4401438	0	105168	0
2	37295	0	65888	0	4683841	0	65888	0
21	349017	0	55662	0	543388	0	55124	0
7	10950	0	53982	0	85969	0	53982	0
22	0	0	220388	0	7770098	0	220388	0
3	52408	0	23097	0	410625	0	23097	0
17	61801	0	1275600	0	0	0	1275600	0
10	0	0	52919	0	49972	0	52888	0
11	0	0	40020	0	17918	0	40020	0



圖5、設備異常統計表

## 8.2 環境部空氣網

### 8.2.1 數據呈現介面

空氣網（簡稱 WoT 平臺）為環境部的應用分析平臺，基於感測應用分析及空品關聯氣象數據整合展示需求，並以提高輔助環保稽查的功能，透過視覺化、空間圖像化篩選可用於污染查處業務資料，並結合外部單位可加值運用資料及環境品質資料加以整合分析，提供空品變化趨勢正確判讀，展示高解析度的空品時空地圖，並藉由串接空品及污染源熱區分析關聯資料，視覺化呈現污染潛勢熱區地圖，協助業務需求掌握污染趨勢，追溯污染熱點，同時規劃跨單位環境感測資訊查詢共享機制，使用介面詳如圖6。系統將可提供中央與地方政府使用，協助污染源追蹤查處，同時輔助內部決策分析應用，強化環境治理與智慧稽查能力。



圖6、環境部 WoT 平臺呈現介面

### 8.2.2 感測數據分析技術

WoT 平臺彙整 IoT 平臺的細懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)、揮發性有機物(VOCs)、溫度、相對濕度等環境數據，以分鐘為單位進行監測，透過高可用性、高效能及高運算能力的環境數據分析運作環境，發展「人工智慧空氣污染潛勢熱區分析」技術，可提供「污染潛勢區位分析、空污事件自動分析、空污足跡重現地圖」等主要分析服務（詳如圖7所示）。全自動進行空氣污染的推估、告警，透過即時的訊息(LINE)通報，讓稽查人員從過去被動式參與、單方面的接受報告結果，到現在能主動出擊，更有效率地查處污染。

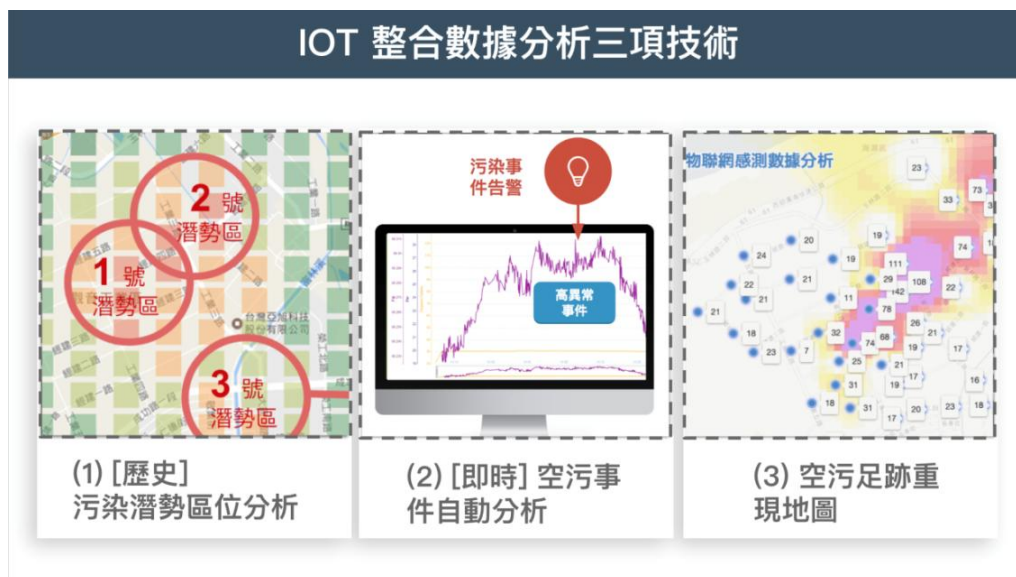


圖7、IoT 整合數據分析三大技術

1. 污染事件判定：污染告警事件分析依照時間異常（例如：單一感測器數值1小時內大於標準差2.7倍）、空間異常（例如：單一感測器數值於區域內其他感測器感測數據大於標準差2.7倍）及數據異常（例如：數值高於 $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）判定為異常，依照異常發生次數及持續時間判定事件污染程度，依據目前執行經驗之標準如下。
  - (1) 高污染事件：相對異常之次數超過20次，且持續時間超過20分鐘，1公里內發生異常的感測器達4顆以上，排除低於 $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （含）之 $\text{PM}_{2.5}$ 感測值。
  - (2) 中污染事件：相對異常之次數超過15次，且持續時間超過15分鐘，1公里內發生異常的感測器達4顆以上，排除低於 $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （含）之 $\text{PM}_{2.5}$ 感測值。
  - (3) 低污染事件：相對異常之次數超過10次，且持續時間超過10分鐘，排除低於 $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （含）之 $\text{PM}_{2.5}$ 感測值。
  - (4) 突發事件（如火災事件）：紀錄連續時間內鄰近空品感測器有依序高值反應的行為，作為單一突發事件，需符合以下之一條件。
    - A. 符合高污染事件判定條件，且事件持續時間超過60分鐘（含），事件中超過30%的時間， $\text{PM}_{2.5}$ 感測值高於 $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （含），模擬持續性的污染情形（如火災後持續悶燒的狀態）。
    - B. 符合低污染事件判定條件，且 $\text{PM}_{2.5}$ 最大感測值超過 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ （含），模擬短時間內快速發生的突發空污事件（如火災剛發生的狀態）。
2. 污染潛勢區位分析：主要透過感測器群集分析特性，搭配區域風向、風速等資訊，當從上風到下風處出現濃度趨勢變化時，透過污染事件與環境風向的加權運算，進行污染潛勢熱區分析。目前每週自動產生各縣市污染潛勢熱區並提供地方環保局參考。
3. 空污事件自動分析：主要透過人工智慧進行時空序列異常（時序分析法）偵測模型，當特定時間、空間顯現異常特徵，將自動判讀為異常事

件產生，並產生告警推播。

4. 空污足跡重現地圖：主要將上述污染濃度出現的時空特徵，以地理資訊視覺化方式紀錄呈現並可重複撥放，提供地方環保局參考空污足跡出現的位置，結合該區域廠商申報或排放資料特性，可決定是否啟動稽查作業。

### 8.2.3 輔助智慧稽查功能

1. 污染事件回溯與告警：WoT 平臺提供即時72小時感測數據回放及告警事件列表功能，藉由時間軸的操作進一步了解短時間內空品變化趨勢，並可利用告警事件列表了解每個事件時、空狀況，且結合民眾陳情資料整合展示（如圖8），同步掌握民眾需求，有效解決污染事件。

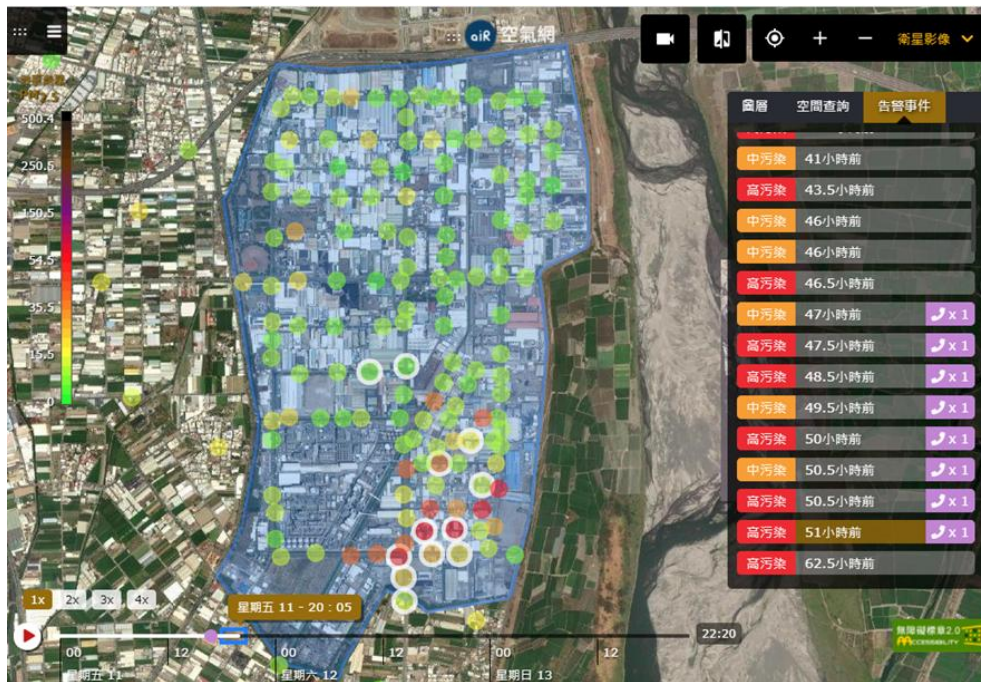


圖8、污染事件告警與回溯

2. 智慧稽查3階段6步驟：WoT 平臺依據熱區限縮範圍、異常事件驗證、時段分析、工廠勾稽、鎖定工廠周邊感測點，最終結合科技儀器進行智慧稽查，發展進階為空氣污染智慧稽查6步驟（如圖9）。透過環境感測物聯網協助找出污染熱區等線索，打擊污染犯罪及追繳不法利得。感測數據分析也在工安事件（火災、爆炸）、露天燃燒事件及民眾陳情案件等發揮實際驗證及應變預警功能。



圖9、IoT 輔助環保稽查3階段6步驟

3. 輔助稽查應用介面：WoT 平臺可精確掌握所有歷史數據，透過大數據處理及人工智慧，有效實現稽查步驟中「熱區限縮範圍」、「疊合異常事件驗證」、「時段分析」及「鎖定工廠周邊感測點」等4個步驟。污染潛勢圖藉由分析感測數據、風向、風速等資訊，初步歸納可疑地區，進一步藉由疊合異常事件產生污染熱力圖，最後透過異常事件與感測數據日曆圖，有效進行時段分析，相關資訊整合後皆有助於計畫性稽查的時空資訊整合，實現限縮範圍。



圖10、WoT 平臺輔助稽查工具介面

4. 深入稽查分析介面：利用 WoT 平臺初步完成範圍限縮後，可利用環境感測數據應用輔助系統鎖定工廠周邊感測點。該系統提供使用者彈性框選感測器功能，並整合感測數值、異常事件及氣象資料，進行週間綜合分析，提供使用者更加細緻限縮範圍的功能，實現六大流程的目標鎖定。

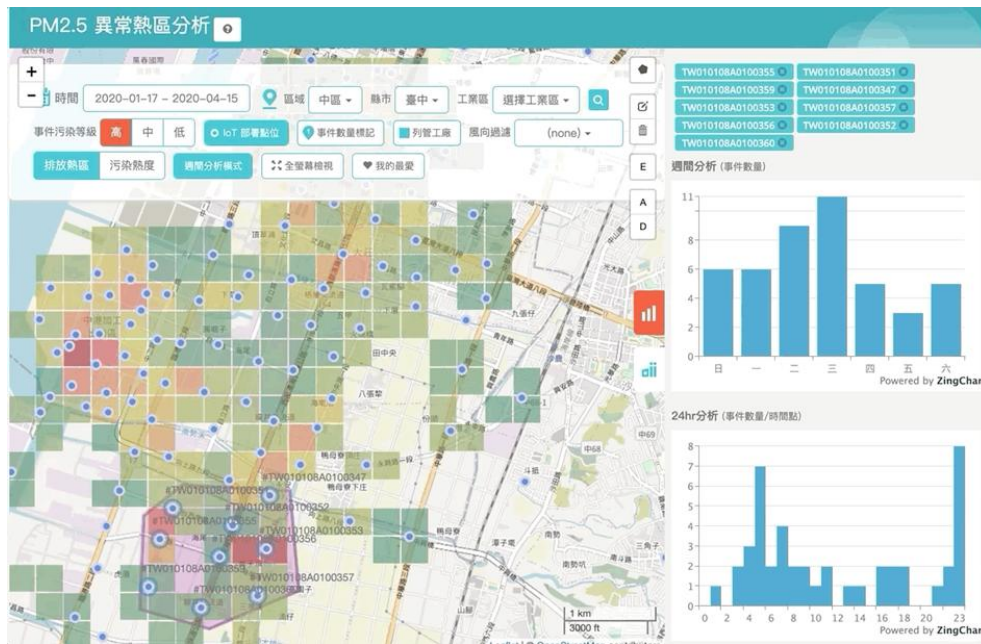


圖11、深入稽查分析介面

5. 有鑑於異味污染於陳情事件中佔有相當高比例，中央與地方合辦感測器運用加裝揮發性有機物(VOCs)感測元件，感測數據亦同步回傳環境部 IoT 平臺。VOCs 數值經過演算法轉換後，紅點位代表感測器相對異常數值越高，同時可知感測器位置、時間區段內感測器的週間、24小時與風向分析，強化範圍限縮精準度。

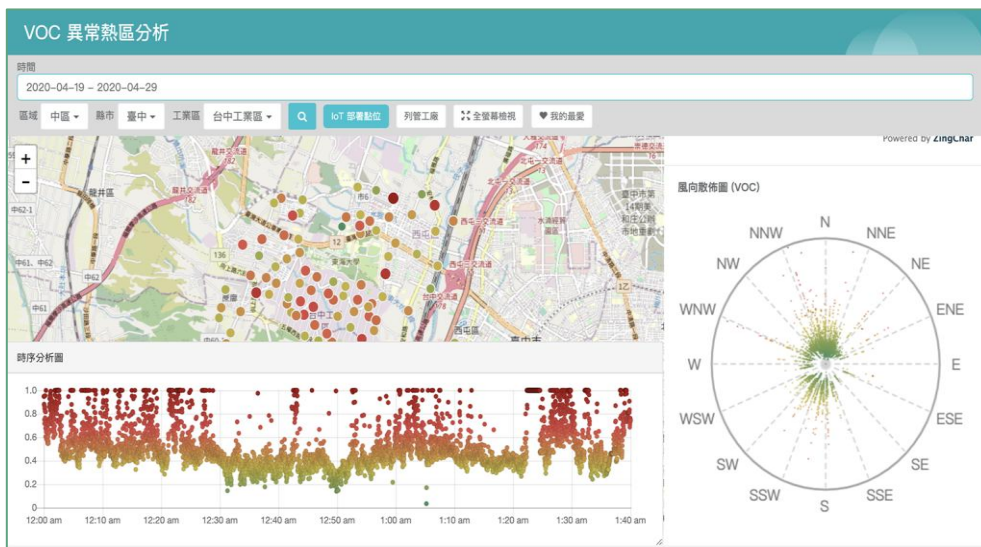


圖12、VOCs 異常熱區分析介面

6. 輔助環保稽查：藉由 WoT 平臺提供污染物類型、污染熱區及時段等資料，針對可疑對象進行資料收集及比對，例如：許可證狀態與許可內容

確認、申報資料比對、稽查及告發紀錄等，篩選出可疑產業及業者，再輔以科學儀器如紅外線熱顯像儀(FLIR)、3D 光學雷達、傅立葉轉換紅外線光譜儀(FTIR)等，進行科學採證後，將上述分析結果擬定督察稽查專案執行環境執法。

## 第九章 感測數據應用分析

高時空解析度的感測器，觀察微環境的空品變化為其主要優勢，透過感測器在時間與空間維度上的變異行為，分析感測器群體與氣象條件的相關性，可有效解析污染發生的時空軌跡。加入環境物聯網告警群組，可有效掌握關注區域即時狀況，高污染告警事件發生時，告警群組將即時推播訊息，包含感測資訊、氣象資訊、鄰近列管工廠資訊等，相關人員獲知訊息後，如發生地點為上述關注區域或民眾陳情熱區，可速派稽查人員至現場確認狀況並將確認結果回傳至告警群組，以確保對異常區域掌控，解決民眾陳情問題。對於環境治理、智慧執法、突發事件及天氣系統影響的空品應用具備關鍵性的成效，以下簡要說明各應用分析的方法。

### 9.1 工業區熱區分析輔助智慧執法

運用布建在工業區及周邊社區的感測器數據，分析感測器在時間區段的變異行為與群集感測器在空間上的變異特徵，在與氣象條件的比對下，可以限縮污染來源的熱區。藉由分析污染熱區的時間變化，歸納污染行為的時間週期，掌握污染的特徵（詳如圖13）。環境部將整個 AI 熱區分析功能建置在環境部空氣網（WoT 平臺），提供給環保稽查單位輔助智慧執法的科技工具。

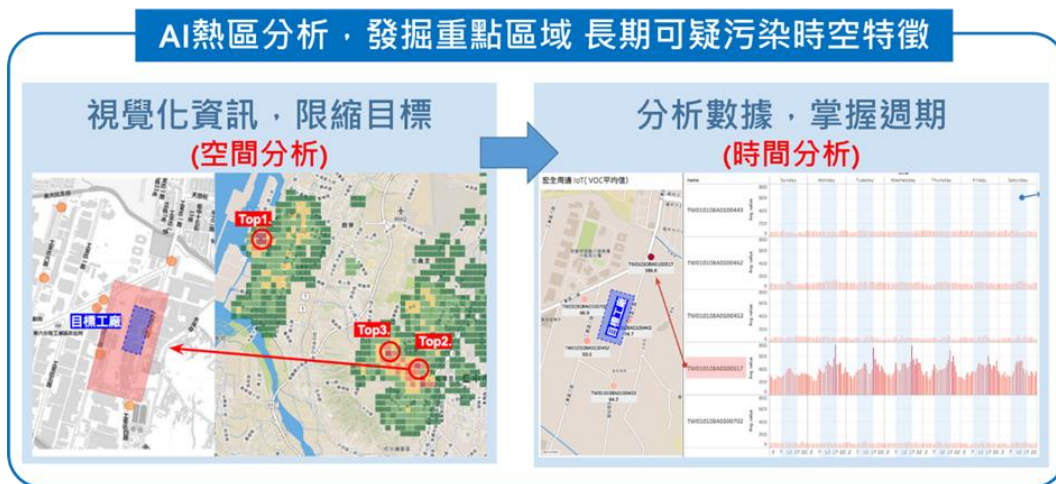


圖13、感測數據透過 AI 熱區分析掌握污染特徵

以往環保稽查單位的稽查流程有三大階段，第1階段初步稽查是依據既定排程或民眾舉發的案件，針對特定對象進行資料勾稽與現場巡查；第2階段深度稽查是針對初步稽查所發現的可疑對象鎖定目標進行密集監控，確認不法排放行為的特徵與具體事證進行蒐集，擬定現場稽查計畫，並協調檢察官與警察單位合作打擊非法；第3階段檢警環合作出擊，前往不法排放點現場舉發惡意工廠，取得非法直接證據。

經由空品感測物聯網輔助環保稽查的協助下，透過感測數據的污染熱區分析，協助環保稽查單位聚焦高污染源發生區域，再協助環保稽查單位針對可疑工廠的周邊感測器深入分析污染排放的行為特徵，協助確認不法目標，全時提供有效佐證資訊，降低環保稽查單位的人力負荷，達成輔助智慧環境執法的效能。透過環境感測物聯網協助找出污染熱區等線索，打擊污染犯罪及追繳不法利得，確實驗證物聯網科技工具的實際功能（詳如圖14）。

**行動感測器輔助，精準執法深度稽查，裁罰不肖廠商。**



圖14、驗證感測器輔助環境智慧執法

**9.2 感測器輔助釐清跨區域性之污染來源**

國家空氣品質監測站主要用於評估大範圍空氣品質狀況，其設置位置在高度與周邊遮蔽物上皆有一定限制，因此相對不易直接反映局部污染源的即時影響。過往當國家監測站出現與當時天氣系統條件不相符的異常高濃度數值時，往往難以即時釐清其發生機制與污染來源。隨著空氣品質感測物聯網逐步建置完成，若以國家監測站作為分析節點，並結合周邊密集分布之空品感測器，即可透過高時空解析度的數據，協助掌握污染生成與擴散的時序與空間軌跡，進而輔助釐清跨區域性污染來源。

以109年3月8日為例，當日20時朴子測站 PM<sub>2.5</sub>濃度達51 µg/m<sup>3</sup>，顯示異常高值；其後於23時，安南測站與臺南測站亦分別出現 PM<sub>2.5</sub>濃度高達67 µg/m<sup>3</sup>及78 µg/m<sup>3</sup>的情形。進一步比對空品感測物聯網資料後發現，污染訊號係由朴子測站北側逐步向南傳遞。經與雲林縣消防局查證，確認當日19時雲林縣水林鄉萬興村一處飼料工廠發生火警，且在風勢助長下，煙霧向南方擴散，最終影響嘉義與臺南地區空氣品質（詳如圖15）。

綜合上述案例可知，透過感測數據進行區域性空氣品質分析時，可採取以國家監測站為核心，由近至遠建立多層次感測器子集，並結合地理條件（例如：同區域或跨區域）、人為因素（例如：固定或移動污染源）及氣象條件（例如：風速與風向）等資訊，分析不同感測器子集之污染變化趨勢，以辨識污染來源。此作法不僅可補足國家監測站在空間覆蓋上的監測盲點，亦有助於判斷國家監測站是否因設備或環境因素產生異常高值，同時驗證空品感測物聯網在污染溯源上的應用能力。

此外，為提升針對跨區域污染事件的解析能力，建議可導入氣象數值模式（如 WRF，Weather Research and Forecasting Model）進行分析，特別是在風速微弱、大氣擴散條件不佳的「靜穩天氣」下，局部環流（如海陸風切換、山谷風效應）對污染物之累積與輸送具關鍵影響。透過將高密度感測數據與氣象模式耦合，可大幅強化對於細微空間風場與污染變化之解析精度，協助判定污染來源係屬境外移入、鄰近縣市跨區域輸送或在地排放積累，進而優化區域空氣品質管理與應變決策之準確性。

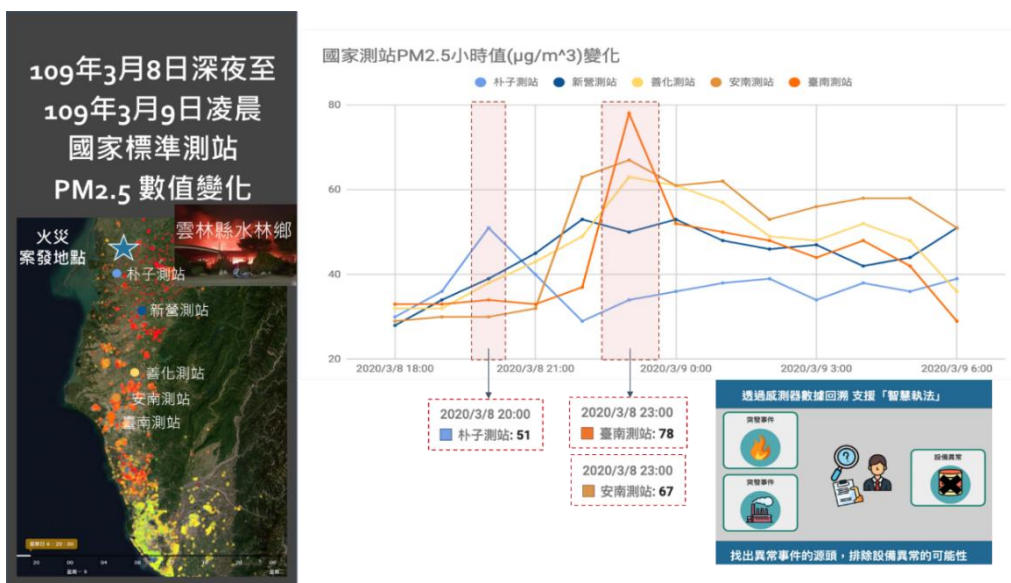


圖15、感測器輔助國家監測站異常高值溯源

### 9.3 感測數據輔助突發環境事件分析

人為因素造成空品不良的原因包含固定污染源與移動污染源的排放外，火災或化學品洩漏事故所造成的突發性污染範圍與影響時間對於環境的衝擊也相當大，感測數據對於掌握突發性的環境異常事件具備即時的辨識能力，亦可分析縣市內、跨縣市、境內污染或境外污染的污染傳輸行為。

1. 異常事件溯源分析：在區域感測器發生污染事件的推播開始，透過大數據分析與氣象資料的結合，可明顯呈現發生異常環境事件的移動軌跡，透過空污足跡回溯的功能，可以預判出污染事件的概略起始點，在與消防救災單位或環境事故應變體系確認後，可以有效連結災害事故點、污染物類型與感測數據的時間與空間相關性。
2. 影響範圍分析：依據異常事件的發展，感測器提供在地微環境的空污數據，依據區域內的風向與風速，搭配感測數據的濃度變化，可以繪製出在空間上的污染梯度，並透過污染告警的推播功能，提供救災單位或在地民眾即時環境資訊，對於污染區域的移動與演變，也可藉由氣象的預報資訊進行推估與預警。
3. 影響時間分析：在持續的感測資訊收集下，藉由環境感測濃度的變化趨勢及災害現場的救災進度資訊，結合氣象資料的演算，可以推估微環境受污染事件的影響時間，除了提供在污染範圍內民眾自主健康防護的警示外，同時提供救災單位評估高污染區域緊急應變措施及疏散撤離計畫執行參考依據。



圖16、感測數據輔助突發環境事件分析

## 9.4 感測數據輔助回應民眾陳情

由於感測器體積小、價格便宜且安裝簡易，可以透過適當的偽裝，針對特定的關切區域或民眾陳情的熱點進行全時的監控。以往對於民眾陳情的異味事件，環保單位在接獲報案後，派遣稽查人員攜帶設備至現場量測採樣，往往錯過高濃度污染的時空條件，除了造成環保稽查單位無效的資源投入外，也無法針對民眾陳情提供有效的回應。現在針對此類事件的建議做法，

可以在民眾陳情區域布建臨時感測器，透過事先評估陳情區周邊可疑的污染來源，再分析事件發生的盛行風向與風速，規劃合適的感測點位進行機動布建，運用時間、空間及氣象條件的關聯性分析，持續調整臨時感測器的布建點位，由數據分析搭配其他高階儀器，可有效限縮可疑工廠，降低環保稽查人力，具體回應民眾有感的陳情需求。



圖17、感測數據輔助回應民眾陳情

## 9.5 感測數據輔助掌握突發意外事件

空品感測物聯網在既定的感測任務中進行數據分析，提供感測區域全時的空品資訊。解析的感測資訊除了 PM<sub>2.5</sub>外，還可以同步觀察 VOCs 的感測資訊，輔助研判污染物的類型與異常徵兆。以109年3月12日發生於苗栗市中華路的案件為例，地方環保局為了監控列管工廠的污染排放行為，布建空品感測器進行長期數據分析，由於在事發前一周發現 VOCs 感測數據持續有突發性高值發生，為釐清高值發生的原因，於當天派遣稽查人員攜帶 FID（火焰離子化偵檢器）至周界工廠進行巡查，並針對發現 VOCs 高值的感測點進行現勘，稽查人員抵達事發點即發覺現場參雜瓦斯氣味，FID 偵測顯示環境有 21.9 ppm，經尋找污染來源及量測人孔蓋，顯示達到儀器上限 10,000 ppm，立即通

報消防局至現場協助救災，消防隊使用四用氣體偵測器量測現場可燃性氣體達99%，立即灑水降溫。經聯繫中油公司確認有瓦斯管線於事故區域路面下方，在中油公司關閉瓦斯管線及消防局增派消防車警戒後，中油公司工程人員進行路面開挖，尋找瓦斯管線洩漏點進行搶修，即時阻止一件可能的氣爆事件。再次驗證空品感測物聯網擔任區域公共安全的預警與防護功能。

**透過觀察週期性感測器異常高值，結合現場稽查，達到預防效果**

2家新聞(中天、大愛) · 5家平面媒體 · 超過10個網路媒體報導

中國時報\_苗栗感測器立大功·揪瓦斯外洩.....  
 自由時報\_苗栗縣政府環保局運用空品感測器·意外阻止可能氣爆的公安事件.....  
 聯合報\_苗栗縣環保局使用空品感測器·及時阻止了一場可能發生的氣爆意外.....

**視覺化週期性分析**

夜間人為活動少掌握可疑樣態週期性發生





圖18、輔助掌握突發意外事件

## 9.6 感測器輔助掌握大環境天氣系統影響空品

空氣中的污染物往往伴隨著風移動，風速越大能帶走更多的污染物，風速越小，污染物則越容易留在原地，影響當地空品。除了風速的影響外，受到地形的阻擋與不同來向的風對於污染物的傳輸亦息息相關，例如同樣的東北風，迎風面及背風面的風場變化即有所不同。而擁有複雜地形的臺灣，不同季節吹著不同方向的盛行風，也連帶影響臺灣各地的空品變化，感測器的即時數據變化，忠實呈現天氣系統與地形所造成的污染現象。

以容易發生 PM<sub>2.5</sub>高濃度事件的氣象條件及區域為例，分析以往的監測資料，PM<sub>2.5</sub>達 AQI 100以上空品不良的天氣型態主要有高壓影響（東北季風）、高壓迴流及弱綜觀等三種天氣型態，其大氣擴散條件受地形影響，在不同天

氣型態下影響的範圍亦有所變化。秋冬季當受高壓影響吹東北季風時，南部地區因位於東北季風尾流弱風區，在此天氣條件中較容易發生高污染事件。而高壓出海至高壓迴流時，當大環境風場逐漸轉為東風，使得中南部地區位於背風面，平均風速較低，降雨量也偏少，因而不利於污染物擴散和沉降（詳如圖19）。第三種為弱綜觀天氣型態，由於未受大尺度天氣系統影響，污染物濃度升高原因主要來自於本土地區排放及累積。此天氣型態臺灣各區域風場主要由海陸風環流主導，本土排放污染物受海陸風影響在西半部進行區域傳輸，使得污染物持續在西半部地區累積，不利於污染物擴散，因此高污染事件較容易發生。



圖19、感測器輔助掌握冬季天氣系統影響空品的行為

## 9.7 感測數據輔助重污染氣候因應措施

雖然影響空品變化因素很多，但透過感測數據分析可歸納出空品不良時間及空間分布特徵，以臺灣為例，大環境的高污染事件日往往發生在特定的天氣型態，受到天氣系統、大氣擴散效應及地形條件，綜合境外污染物及本地排放的各種污染源加成所影響。

環境部為因應秋冬空品不良發季節，透過空品預報分析，提示各地區與各地方環保局應變工作重點，規劃空品不良應變作為與督導查核對象，以及搭配強制性策略、彈性策略、獎勵性策略及誘因性策略，透過共同防禦、掌握先機、超前佈署、預為規劃、確實執行以及滾動調整等方式，中央與地方環保單位攜手解決秋冬季節空品不良問題。

在長期收集空品感測物聯網感測資料下，分析在重污染天氣來臨期間可能的污染熱區好發範圍，納入地方環保局優先督導查核對象，同時比對列管污染源(PRTR)、固定污染源連續監測資訊(CEMS)，評估優先執行降載減排的對象，在提升高污染天氣空品預報能力及微環境污染熱區分析技術的結合下，評估與調整嚴重污染氣候之應變措施，逐步實現智慧環境管理的目的。

## 第十章 感測器進階應用

固定式 PM<sub>2.5</sub>感測器的布建作業已推動多年，透過累積大量高空間及時間解析度的 PM<sub>2.5</sub>數據，有效掌握工業區、社區或交通熱區等地區的空氣品質，補足國家監測站無法提供空氣品質資訊，成為地方環保局執行稽查、污染溯源與風險掌握的重要依據。隨著感測器技術成熟，PM<sub>2.5</sub>感測應用可由固定的形式，延伸搭載至不同移動載具，提供移動式的感測服務，開發更多元的應用情境。在空氣品質預報模擬的應用上，感測器提供大量的 PM<sub>2.5</sub>數據，結合既有的衛星觀測、大氣化學傳輸模式及 AI 校正技術，改善模式空間解析度，提升對短時變化與突發排放的預報能力。

### 10.1 移動式感測器應用

固定式 PM<sub>2.5</sub>感測器可隨時監測小尺度的環境污染，透過長時間連續量測所累積的大量資料，結合大數據分析技術，有效解析不同地區在時間與空間上的污染變化，協助地方環保局掌握污染趨勢，並作為監控固定污染源（如工業區、科學園區）及疑似不法排放行為的重要依據。然而，受限於用地用電取得同意的便利性及布建或維運經費的不足，既有固定式感測器仍難以全面涵蓋民眾實際生活與活動範圍。為補足上述固定式感測器的不足，可導入高機動性的移動式感測器，安裝於不同移動載具執行巡航作業，依據任務需求彈性調整監測路線與時間，迅速進入固定感測器無法覆蓋的區域。

移動式感測器於巡航時，應牢固固定於移動載具上（如工業強力磁鐵或其他置具），避免於行進間造成鬆脫或掉落，若搭載無人機進行巡航，除確認設備是否牢固固定外，應依交通部「遙控無人機管理規則」辦理相關註冊、操作及飛航規定，以確保作業合法與飛航安全。由於風速與車速會影響移動式感測器的監測結果，因此無法直接將固定式感測器安裝於移動載具上進行監測作業，必須透過機構改良讓氣流能夠穩定的進入移動式感測器內進行監

測，以確保監測的數據品質。由於移動式感測器的高機動性，特別適合用於火災、化學事故等突發污染事件的影響範圍評估，或發掘潛在污染熱區。整體而言，透過結合國家監測站、固定式與移動式感測器，可形成互補的空氣品質監測體系，國家監測站扮演著核心與基準性的角色，固定式感測器提供穩定且長期的基礎監測，移動式感測器則補強空間彈性與即時應變能力，協助地方環保局更精準掌握污染分布，提升污染防制、稽查與環境治理的效能，提供民眾更舒適的生活環境。

## 10.2 輔助空氣品質預報模擬應用

現行空氣品質預報主要以大氣化學傳輸模式(CTM)為基礎，透過氣象資料、污染排放資料庫、地形條件等資訊，模擬污染物的生成與傳輸，產生區域或全國尺度等大尺度的預報結果。然而，化學傳輸模式仍面臨多項限制，例如排放資料庫之時間及空間解析度不足導致局部地區排放難以迅速反映，並且對於小尺度的氣象特徵亦不易呈現；此外，面對突發污染事件或劇烈氣象變化時，預報結果具有不確定性，同時需仰賴高成本國家監測站資料進行校正，且當監測密度不足時，預報精度也會受到影響。

隨著感測器大量布建，高時空解析度資料成為預報模式的改善依據，感測器可提供街道之社區等小尺度的污染濃度變化資訊，捕捉國家監測站容易忽略的局地排放與短時間變化，有助提升推估污染排放與模擬近地面污染濃度之精準度。另外，透過資料同化技術、AI 機器學習校正等動態調整，感測器資料將可有效與大氣化學傳輸模式結合，進而改善模式空間解析度、增強對局部污染事件的反應能力，並且提高預報準確度。整體而言，雖然感測器無法取代傳統預報模式，但能提升既有模擬預報的準確度，透過結合感測器資料與化學傳輸模式，可使我國空氣品質預報兼具科學性、精準度與即時性，以支援更完善的污染防制與決策應用。此外，國家監測站長期累積的氣

膠化學成分觀測資料，可作為污染特性解析與趨勢評估的重要基礎，透過結合高空間與時間解析的感測數據，運用統計推估、模式模擬或機器學習方法，進一步分析不同場域之暴露風險評估，作為民眾健康影響與污染改善政策研擬之參考依據。

## 參考文獻

1. 空氣中懸浮微粒(PM<sub>2.5</sub>)檢測方法-手動採樣法，NIEA A205.11C，行政院環境保護署，2012年。
2. 行政院環境保護署，環境品質感測物聯網發展布建及執法應用計畫，民國106年。
3. 工業技術研究院，環境物聯網感測裝置驗證設施及品保作業制度建置維運計畫，環保署期末報告，民國106年。
4. 工業技術研究院，107年環境品質感測物聯網推動及專案管理計畫，環保署期末報告，民國107年。
5. 工業技術研究院，108年環境品質感測物聯網推動及專案管理計畫，環保署期末報告，民國108年。
6. 工業技術研究院，109年環境品質感測物聯網推動及專案管理計畫，環保署期末報告，民國109年。
7. 工業技術研究院，110年環境品質感測物聯網推動及專案管理計畫，環保署期末報告，民國110年。
8. 工業技術研究院，111年環境品質感測物聯網推動及專案管理計畫，環保署期末報告，民國111年。
9. 臺灣PM<sub>2.5</sub>監測與控制產業發展協會，108年度空污感測器比對校正及巡檢計畫，環保署委辦計畫期末報告定稿。
10. 臺灣PM<sub>2.5</sub>監測與控制產業發展協會，109年度空污感測器巡檢及數據比對校正分析計畫，環保署委辦計畫期末報告定稿。
11. 臺灣PM<sub>2.5</sub>監測與控制產業發展協會，110年度空污感測器巡檢及數據比對校正分析計畫，環保署委辦計畫期末報告定稿。
12. 臺灣PM<sub>2.5</sub>監測與控制產業發展協會，111年度空污感測器巡檢及數據比對校正分析計畫，環保署委辦計畫期末報告定稿。
13. 戰勝PM<sub>2.5</sub>：越來越多的疾病可能與空污有關，黃郁揚、黃麗煌，民國108年。
14. 空氣品質感測器測試服務平台。<https://airsensortest.blogspot.com/>
15. 環境部空氣品質監測網。  
[https://airtw.moenv.gov.tw/cht/Encyclopedia/AirSensor/AirSensor\\_2.aspx](https://airtw.moenv.gov.tw/cht/Encyclopedia/AirSensor/AirSensor_2.aspx)
16. US EPA, 2014, Air Sensor Guidebook, EPA600/R-14/159.  
<https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/how-use-air-sensors-air-sensor-guidebook>
17. iScape. Summary of Air Quality sensors and recommendations for application. iScape project D1.5, February 2017.

18. Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition: overview of topic and future applications (世界氣象組織, 2018)  
[https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2018\\_Low-cost-sensors\\_WMO.pdf](https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/2018_Low-cost-sensors_WMO.pdf)
19. Duvall, R., Clements, A., Hagler, G., Kamal, A., Kilaru, V., Goodman, L., & Dye, T. (2021). Performance Testing Protocols, Metrics, and Target Values for Fine Particulate Matter Air Sensors: Use in Ambient, Outdoor, Fixed Sites, Non-Regulatory Supplemental and Informational Monitoring Applications. US EPA Office of Research and Development.
20. 美國加州南岸空氣品質管理局感測器測試結果。  
<https://www.aqmd.gov/aq-spec/evaluations/summary-table>



環境部

Ministry of Environment

臺北市中正區中華路一段83號

TEL：(02)2311-7722

<https://www.moenv.gov.tw/>