

科技化污染管理指引手冊

環境部

一、前言

國內環保法規日益嚴謹，針對各類污染源均已訂定明確之污染防制規範，除依法設置污染防制設施外，落實污染防制設施之操作、維護更是有效降低污染排放之關鍵，於是主管機關透過現場稽查方式，督促污染源落實執行污染防制工作，但污染源數量龐大，主管機關受限稽查量能，僅得推廣污染源自主管理措施，以維持污染防制設施有效運作，但實務上仍有部分污染源疏於維護管理污染防制設施，導致空氣污染物質異常排放，造成公害陳情事件，因此，如何運用有限人力預防污染事件發生成為主管機關、業者共同的目標。

此外，近年來物聯網（Internet of Things, IoT）科技迅速發展，將各種感測器與生活所使用的物件連結，並透過網路進行資訊的交流，提供各種服務需求，如智能交通、智能家居、災害監測等，讓生活越來越便利，也逐漸改變了我們的生活型態。若將該技術運用於環境監測管理層面，物聯網一般指結合了感測器、軟體和其他技術的互連設備，能夠通知使用者或者自動化動作之整合系統，得有效提升污染管制能量並縮短污染改善應變時程。

因此，目前國內已有部分公私場所、營建工地或港區將物聯網概念運用於生產製程、營建施工或車輛之污染管理範疇，並統稱為科技化（智慧）污染管理，亦獲得許多實務運用經驗與成果，另一方面，也有許多業者、管理單位或營建業主雖尚未正式導入相關系統，卻已積極評估投入科技化污染管理之可行性，但卻面臨實際著手推動時，科技化污染管理架構不明確之困擾。

鑑此，環保署蒐集目前各縣市推動之科技化污染管理案例及相關自動化監測、控制及動作元件資訊，並依據科技化污染管理之運用層面進行分類編撰本指引，使主管機關或業者投入科技化污染管理時，可參考本指引內容選擇適合自身之科技化污染管理系統。

二、科技化污染管理單元

科技化污染管理系統之最終目標是達成人力運用最小化、污染防制效益最大化，即透過自動化設備取代過往人力採樣檢測、稽巡查檢核、污染通報及污染防制設施操作等項目。因此，科技化污染管理系統之組成元件至少包含三大單位，分別為感測單元、控制管理單元及動作單元，其系統運作方式為，藉由感測單元偵測各項環境資訊傳送至控制管理單元，再由控制單元依據預設邏輯判定應採行之動作後，由動作單元執行對應之動作，構成一基礎運作流程，使用者亦可依據實際污染管理需求，透過三大單元更為複雜之交互運用流程，建構出自動化程度更高之科技化污染管理系統，進一步降低人力需求。

有關科技化污染管理系統三大單位之各類元件說明如下：

(一) 感測單元

感測單元之主要功能為將環境因子轉換為可量化之訊號或數值，環境因子包含：溫度、濕度、風速、空氣污染物質濃度、聲音、震動...等，使得控制管理單元得以由該訊號或數值判斷應執行之動作。目前運用於環境感測常見之元件如圖一所示，其功能說明如下：

1. 空氣品質感測器：

空氣品質感測器係指用來將空氣中之目標污染物質濃度轉換成數據之元件，常見可偵測之空氣污染物種包含：懸浮微粒（PM₁₀）、細懸浮微粒（PM_{2.5}）、臭氧（O₃）、一氧化碳（CO）、二氧化氮（NO₂）、VOCs...等，甚至可加裝溫度、濕度、風速、風向之感測裝置，提供額外之污染來源輔助資訊，並透過內建或連接之通訊模組將數據傳送之控制管理單元。

空氣品質感測器依據使用目的不同，其建置成本及準確度、靈敏度具有一定差異，經常運用於公私場所或營建工地之感測器類型為空氣品質微型感測器，微型感測器以物理光散射原理為主，設置及維護成本相對較低，因此可大量佈設於污染源四周，常作為科技化污染管理系統之感測單元使用。

2. 影像感測器

一般影像感測器係指攝（錄）影系統，可將現場可見光影像轉化為資訊後儲存或透過通訊模組傳送之設備，但針對特殊管制需求亦可採用紅外

線、雷射或其他光譜感測器。影像感測器記錄之影像可傳送至後端控制管理單元，透過影像判釋技術，獲取有助於污染管制之資訊。常見之影像感測器結合圖像判釋系統運用案例包含：車牌辨識系統、空拍影像裸露區域判釋、運輸車輛貨廂覆蓋判釋、黑煙判釋等。

3. 聲音感測器

量測環境中噪音值（分貝（dB））之感測器，並可將量測之訊息傳送至控制管理單元執行預設之動作，或經轉譯後直接將噪音值展示於顯示器上，常見之運用案例為營建工地噪音即時監測看板。

	
<p>空氣品質感測器</p>	<p>影像感測器</p>
	
<p>聲音感測器（右側）</p>	

圖一、感測器

(二) 控制管理單元

控制管理單元係指得以接收感測單元傳送之資訊，並依據程式化設定內容，執行軟體通報或傳送硬體控制指令之系統，另依據使用者需求可額外增加資料統計或展示功能。控制管理單元依據整體系統規模及複雜程度，可分為現地及雲端控制管理系統，說明如下：

1. 現地控制管理系統

直接將判斷邏輯內建或外加於感測單元中，當感測單元偵測之數值達指定條件時，直接傳送指令至動作單元，執行預設之動作，例如噪音感測器偵測到噪音值超標時，直接傳送訊號至警示器發出警示音，或者空品感測器偵測到空氣污染物質濃度超標時，直接觸發集氣設備或換氣風機。此類控制管理系統可無須透過網際網路完成感測、控制、動作一系列流程。

2. 雲端控制管理系統

雲端控制管理系統一般建置於遠端伺服器中，須透過網際網路接收及傳遞控制指令，伺服器可定時或持續接收感測單元傳送資訊（如數值、影像），並依據使用者設定之判斷邏輯執行圖像辨識、軟體通報、資料建檔統計、傳送動作指令等功能，達成感測、控制、動作等基本自動化流程，或更複雜之自動化污染管理、控制流程。

(三) 動作單元

動作單元係指可依據控制管理單元傳送之指令或訊號執行特定動作之元件，例如可程式化之灑水設備、集（排）氣設備等。另亦有部分動作單元結合感測器直接連動，例如洗車台之攔阻設備（自動升降柵欄）、加壓馬達與感測器連動，當感測器偵測到車輛進入洗車台後後，自動放下柵欄並啟動加壓馬達洗車。運用於污染防制常見之動作元件如圖二所示，以下列舉常見之動作元件進行說明。

1. 通報軟體

通報軟體通常與雲端控制管理系統深度整合，當雲端控制管理系統從感測單元獲得之資訊判定達通報條件時，即可透過通報軟體發送訊息，如 E-mail、Line、SMS 簡訊等，將欲傳達之重要訊息傳送至指定人員行動裝置上，由決策者判斷是否須採取應變措施。

2. 警示設備

警示設備係指可連動感測單元或接收控制管理單元傳遞訊息，並發出警示聲音或視覺效果之設備，其功用在於提醒現場作業人員，感測器已偵測到之數值超過設定值，可能須採取對應之措施以避免危害或抑制污染排放。

可實際運用情境包含：如空品感測器偵測到營建工地之懸浮微粒濃度超過預設值時，控制管理單元即啟動警示廣播系統，告知應暫緩擾動作業；或者噪音感測器測得之噪音值超過設定值時，即連動觸發超標顯示器，提醒現場作業人員應該變作業方式，以降低音量。

3.自動灑水設備

科技化管理系統所採用之灑水設備，係指可接收感測單元或控制管理單元傳遞之觸發訊息，並啟動（關閉）水閥或馬達，產生高壓水柱或水霧之設備。主要運用方式為，當空氣品質感測器偵測到空氣污染物質濃度超過設定值時，控制管理單元即傳送觸發訊息至灑水控制設備，執行灑水動作，抑制粒狀污染物質逸散。

4.集（排）氣設備

科技化管理系統之集（排）氣設備，係指可接收感測單元或控制管理單元傳遞之觸發訊息，並啟動防制設施之鼓風機收集、處理空氣污染物質，或啟動風扇強制排（換）氣，降低區域內之空氣污染物質濃度。運用案例如室內空氣品質感測器偵測到二氧化碳（CO₂）濃度超過設定值時，控制管理單元即傳送觸發訊息至排氣設備加速換氣，以降低室內二氧化碳（CO₂）濃度，或營建工地之空氣品質感測器偵測到粒狀污染物質濃度超標時，控制管理單元即傳送觸發訊息啟動集氣設備運作，以降低現場粒狀污染物質濃度。

5.攔阻設備

攔阻設備屬具強制性之自動化管理設備，當接獲感測單元或控制管理單元傳遞之觸發訊息後，可透過放下柵欄或中斷電源方式執行限制動作，例如載運逸散性粒狀物質之運輸車輛離開公私場所時，經控制管理單元判定貨廂未妥善覆蓋防塵網（布）時，即發出訊號要求攔阻設備降下柵欄，避免車輛未妥善覆蓋防塵網（布），導致揚塵逸散。

	
<p>警示設備</p>	<p>通報軟體 (Line 即時通報)</p>
	
<p>自動灑水設備</p>	<p>攔阻設備</p>
	
<p>集(排)氣設備</p>	

圖二、動作單元

三、建置科技化污染管理系統架構

科技化污染管理之目的在於人力運用最小化、污染防制效益最大化，可協助管理者即時掌握污染訊息或自動執行污染防制措施，因此，建置科技化污染管理系統具備二大優勢，第一項優勢為建置完成後投入之管理人力小於建置前，第二項優勢則為系統具備污染即時通報功能或自動化抑制污染排放功能之一，以降低人力運用並提升污染防制效率。

為協助主管機關或業者建置科技化污染管理系統，本章針對各種規模及組合之科技化污染管理系統進行分類，另提供系統建置流程規劃，提供各單位建置科技化污染管理系統之參考。

(一) 科技化污染管理系統分類

科技化污染管理系統係指具污染即時通報功能或自動化抑制污染排放功能之管理系統，通常結合感測、控制管理及動作三大單元，常見之系統架構如下：

1. 自動化污染通報系統

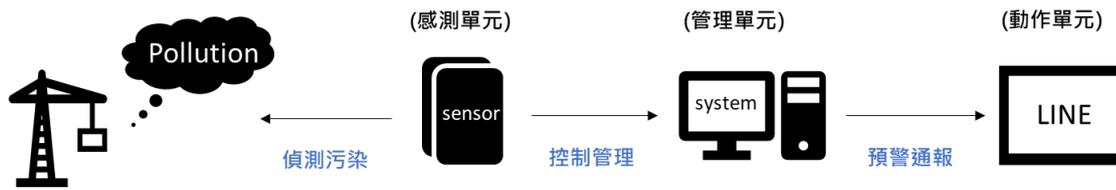
自動化污染通報系統係指具備污染即時通報功能者，此系統架構可即時將感測器數值通報給使用者，但相關應變措施須配合人力執行，適合用於必須倚靠人力應變之污染源，系統架構如圖三所示。

案例一：（空氣品質感測器＋雲端資訊平台＋Line 通訊軟體）

指定場域設置空氣品質感測器，將監測數據透過網際網路傳送至雲端資訊平台，如經判定超出設定值時，即透過 Line 傳送警示訊息，且於雲端資訊平台呈現完整檢測數據，讓使用者即時掌握污染事件，以執行對應之污染防制作為。

案例二：（影像感測器＋現場資訊平台＋Line 通訊軟體）

營建工地於出入口設置錄影監視系統及資訊平台主機，錄影系統將工地出口影像持續傳送給現場資訊平台 AI 判釋軟體分析，如發現運輸車輛駛離工區前未經過洗車台即離場者，立即擷取該車輛影像，於資訊平台建檔，並透過 Line 傳送警示訊息及圖像，讓使用者即時掌握違規對象，立即執行後續管制作為。



圖三、感測單元結合控制管理單元、通報軟體系統架構

2. 自動化污染管理系統

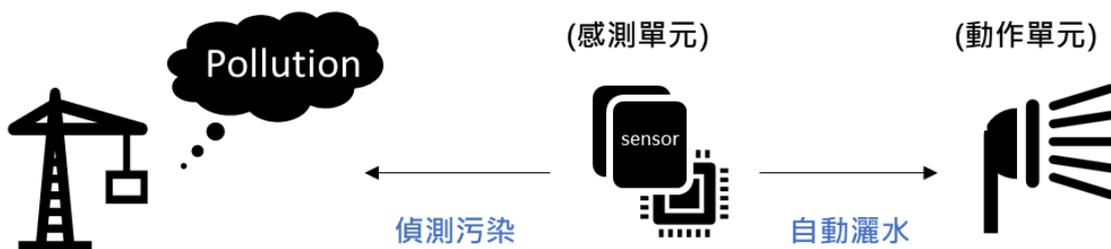
自動化污染管理系統係指具備即時自動化抑制污染排放功能者，此系統架構之優點為系統建置相對快速，但無法同步控制多個動作單元，亦無法將感測器數值即時通報給使用者，適合單一或小型污染源使用，系統架構如圖四所示。

案例一：（空氣品質感測器內建控制管理單元+自動灑水設備）

公私場所或營建工地設置空氣品質感測器（內建控制系統），當偵測到空氣污染物濃度超過設定值時，控制系統即觸發自動灑水設備，使目標污染物濕潤，降低揚塵發生，待空氣污染物濃度下降至設定值以下或設定時間時，控制系統即觸發停止灑水。

案例二：（空氣品質感測器內建控制管理單元+換氣系統）

室內場所設置空氣品質感測器（內建控制系統），當偵測到室內二氧化碳（CO₂）濃度超過設定值時，控制系統即觸發啟動抽排氣風扇，降低室內場所之二氧化碳（CO₂）濃度，待室內場所之二氧化碳（CO₂）濃度下降至設定值以下時，控制系統即觸發停止抽排氣風扇。



圖四、感測單元內建控制管理單元結合動作單元系統架構

3.全自動化污染通報管理系統

全自動化污染通報管理系統係指同時具備污染即時通報功能、自動化抑制污染排放功能者，此系統架構可結合數個感測元件，同時串聯多個動作元件，適合運用於大型場所、工地或複合污染源之整合系統，但系統建置成本相對較高，系統架構如圖五所示。

案例一：（空氣品質感測器＋雲端資訊平台＋自動灑水設備）

公私場所或營建工地設置空氣品質感測器，並持續透過網際網路傳送監測值至雲端資訊平台，當系統發現空氣污染物濃度超過設定值時，資訊平台即透過網際網路觸發自動灑水設備，使目標污染物濕潤，降低揚塵發生，待空氣污染物濃度下降至設定值以下或設定時間時，資訊平台即觸發停止灑水。

案例二：（空氣品質感測器＋雲端資訊平台＋自動灑水設備＋Line 通訊軟體）

公私場所或營建工地設置空氣品質感測器，並持續透過網際網路傳送監測空氣污染物濃度值至雲端資訊平台，當系統發現空氣污染物濃度超過設定值時，資訊平台即透過 Line 傳送警示訊息至使用者行動裝置，並同步透過網際網路觸發自動灑水設備，使目標污染物濕潤，降低揚塵發生，待空氣污染物濃度下降至設定值以下或設定時間時，資訊平台即觸發停止灑水，並同步透過 Line 傳送改善完成之訊息。

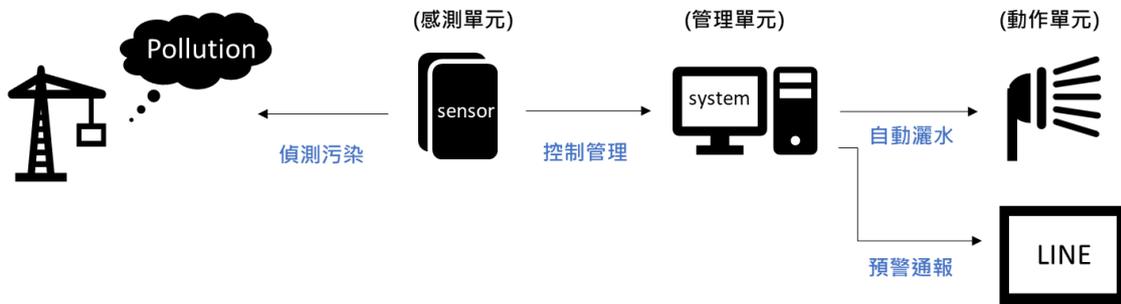
案例三：（噪音感測器＋雲端資訊平台＋警示看板＋Line 通訊軟體）

公私場所或營建工地設置噪音感測器，並持續透過網際網路傳送監測噪音值至雲端資訊平台，當系統發現噪音值超過設定值時，資訊平台即透過 Line 傳送警示訊息至使用者行動裝置，並同步透過網際網路觸發工地現場警示看板，請施工人員停止高噪音作業項目，待噪音值降至設定值以下時，資訊平台再次傳送訊息至使用者行動裝置，告知噪音值已降至設定值以下，且同步透過網際網路停止觸發工地現場警示看板。

案例四：（數台空氣品質感測器＋雲端資訊平台＋數台自動灑水設備）

公私場所或營建工地內有多處物料堆置區，分別於各堆置區設置空氣品質感測器及自動灑水設備，所有空氣品質感測器持續透過網際網路傳送監測空氣污染物濃度值至雲端資訊平台，當系統發現其中一處空氣品質感

測器之空氣污染物濃度超過設定值時，資訊平台即透過網際網路觸發該區之自動灑水設備，使該區之堆置物料濕潤，降低揚塵發生，待該區之空氣污染物濃度下降至設定值以下或設定時間時，資訊平台即觸發該區停止灑水。



圖五、感測單元結合控制管理單元、動作單元系統架構

(二) 科技化污染管理系統建置流程

為確保各單位建置科技化污染管理系統，能夠達成預期之污染管理目標，且不致衍生其他操作問題，建議可按照下列流程，依序評估、規劃，使系統運作順暢並發揮最大污染管制成效。

1. 確認污染源及目標污染物

各場域建置科技化污染管理系統前，應先確認欲管理之污染源是什麼（例如：施工揚塵、施工噪音、車輛黑煙）？或是會產生哪一種污染物質（例如：空氣污染物質、廢水、廢棄物）？確認污染源及目標污染物後，才得以選擇適合之感測單元。

例如：某公私場所或營建工程期望監測施工期間之空氣污染排放情形，同時管制車輛離開工區須先經過洗車，這時就至少需裝設空氣品質感測器及影像感測器，才能達到管理需求。

2. 確認污染管理目的

選定選擇適合之感測單元後，其次應確認欲達到的管理目的是什麼（例如：污染通報、自動化抑制污染排放、警示、記錄監測資料）。來選擇適合之管理單元、動作單元。

例如：某公私場所或營建工程希望監測施工期間空氣污染物濃度超標時，可以自動啟動灑水設備，同時通知工地負責人，該系統就需搭配建置雲端管理平台及自動灑水設備。

3.選定設置點及數量

感測單元如為空氣品質感測器，且設置地點為營建工程採矩陣布點方式者，每個感測器之建議設置間隔為 250~500 公尺，或可於主要施工作業區域設置，例如土方堆置區、開挖作業區、運輸車輛出入口、工區周界敏感受體等，如為公私場所則建議設置於物料堆置區、裝卸作業區、場區主要道路旁、周界敏感受體等。

安裝位置依據用途不同，設置位置也有所差異，如為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，若針對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 公尺以下。

另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，可選擇路燈桿或電桿為安裝選項，但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。

影像監測系統如為 AI 辨識提供影像者，設置地點應注意是否受到周邊光源、陰影、逆光等外在因素影響辨識效果，必要時可搭配照明設備、遮光設備使用，以提高系統辨識率。

4.系統最佳化

所有自動感測元件或動作元件設置完成後都必續經過試運行階段，測試實場運作時可能面臨之各類環境或人為變數是否會導致系統無法正常運作，藉由試運行階段發生之各類系統錯誤樣態，調校出系統最佳化狀態，才得以進入實際運用階段。試運行期間常見微調或測試之項目如下：

- (1) 感測器之預警值，避免預設值過高或過低，產生不預警或預警頻率過高。
- (2) 影像感測器軟體辨識靈敏度、補光燈強度、其它光源及遮蔽干擾，避免外部因素干擾，導致影像辨識率偏低或無法辨識情形。
- (3) 感測器設置位置高度、離污染源距離等，避免距離過遠無法有效偵測。
- (4) 如使用蓄電池者，須測試電池使用時間，避免使用時間不如預期。

- (5) 電子設備耐熱、防水程度，避免設備因曝曬高溫或滲水，導致設備失效。
- (6) 灑水設備啟動時間長度，灑水時間過短無法有效抑制粉塵，過長亦可能導致積水問題。
- (7) 自動柵欄起降速率，避免起降速率過快，造成安全疑慮，或起降速度過慢，影響進出效率。
- (8) 警示器音量、警示看板能見度，避免音量不足，無法產生警示效果，或看板亮度不足、逆光等因素，導致警示看板資訊無法辨識。
- (9) 設備裝置穩定度，需抗強風，避免設備墜落產生公共安全問題。
- (10) 如使用無線網路或行動網路，須測試實際頻寬是否足敷使用，以免影像品質下降、資訊傳遞不連貫，導致後端管理單元無法利用。

5.排定對應人力

不論是哪一種類型之科技化污染管理系統，雖可替代人力於現場蒐集各類環境資訊，並將訊息統計、分析或控制污染防制設施之運作，但最終資訊仍將回歸使用者，或交由管理人員決定後續因應作為，才是有效之污染管理架構。

因此，系統建置期間便應同步預先規劃，當系統於不同時段回傳各類資訊時，應由哪一層級或哪位值班人員負責因應，且配合系統各樣態訂定標準因應流程，使得所有常態性管理人員或臨時人員在接獲系統通報時，都能依據 SOP 順利執行後續因應措施。

6.訂定維護管理計畫

科技化污染管理系統之運作須倚賴許多電子、機械元件，尤其設置於室外環境時，有更多外部干擾因素，可能導致監測設備、動作元件之準確度下降，甚至失去原有功能，因此，須依據各項設備之原廠簡易維護保養規範，排定各設備元件之校正、保養期程，並定期派員巡檢，以確保系統得以順利運行。