

建置高雄港區即時空氣品質推估系統

吳義林 國立成功大學環境工程學系教授
張鴻良 國立成功大學環境工程學系研究助理
楊榮元 國立成功大學環境工程學系研究助理
邱永芳 海洋委員會國家海洋研究院籌備處主任
柯正龍 交通部運輸研究所港灣技術研究中心科長
蔣敏玲 交通部運輸研究所港灣技術研究中心副研究員

摘要

高雄港為國內第一大商港，依據國內外研究顯示，港區空氣污染物排放量對該區域污染排放總量的佔比頗高，尤其是硫氧化物(SO_x)與氮氧化物(NO_x)最為顯著。環保署於 101 年 5 月 14 日增訂細懸浮微粒(PM_{2.5})周界空氣品質標準之 24 小時值與年平均值分別為 35 μg/m³與 15 μg/m³。故高雄港在達成國際優質港與綠色港口之目標中，因應空氣品質之改善與緊急防制應變作業，須

建置高雄港區之即時空氣品質推估系統。本研究係以美國環保署公布之 AERMOD 模式，結合氣象局之氣象觀測資料與臺灣海域船舶自動辨識系統(AIS)之即時船舶動態資料，建置高雄港區之即時空氣品質推估系統，瞭解其一次原生性空氣污染物(如：NO_x 及 SO_x)之增量，其中港區空污排放量推估來源計有船舶、機具、車輛等。

一、前言

世界各國經濟活動互動頻繁且合作密切，遠洋船舶肩負貨運或客運在國際間交流的重任，但伴隨而來的空氣污染物排放問題也愈形嚴重，再加上港口內運輸工具船舶、裝卸設備與重型卡車等污染排放問題，已不容忽視。

高雄港區現有的監測資料來自港區附近環保單位的測站，或是自行委託

民間檢測公司進行移動性的短期監測，亦即透過空氣品質監測車進行監測。如圖 1.1，高雄港附近之環保署空氣品質監測站(紅色三角形)與高雄港之間，都有工廠或工業區，因此其數據較難以代表高雄港區污染排放，對於高雄市周邊的空氣品質狀況。此外，環保署監測項目亦僅針對一般需求或交通源

而設，並非針對港區的影響。另外，空氣品質監測車僅能定期監測，並無法如空氣品質監測站一般，提供長期且連續性的監測數據，因此較難藉此判斷空氣品質的變化，較難掌握各種不同天氣與氣候型態下的污染變化情形。

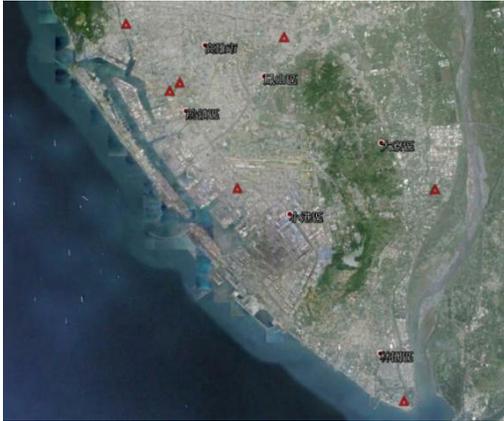


圖 1.1 高雄港鄰近 EPA 空氣品質監測站位置圖

長期以來國內港埠地區空氣污染物未被列入環保管制項目重點，但依據國內外研究顯示，港區空氣污染物排放量對不容忽視，尤其是硫氧化物(SO_x)與氮氧化物(NO_x)最為顯著。此外，為提昇環境品質及維護國人健康，環保署於 101 年 5 月 14 日增訂細懸浮微粒(PM_{2.5})周界空氣品質標準之 24 小時值與年平均值分別為 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 與 15

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；而為了因應細懸浮微粒之管制，環保署於 104 年 11 月 17 日預告「空氣品質嚴重惡化緊急防制辦法」部分修正。另外，在立法 16 年之後，環保署會同經濟部於 104 年 6 月 30 日公告實施「高屏地區空氣污染總量管制計畫」。故高雄港在達成國際優質港與綠色港口之目標中，因應空氣品質之改善與緊急防制應變作業，有必要建置高雄港區之即時空氣品質推估系統。

1991 年美國氣象協會(AMS)及美國環保署(EPA)的科學家為了共同研究地球表面上控制空氣污染物的傳輸模式，組成 AMS/EPA Regulatory Model Improvement Committee(簡稱 AERMIC)，初始目標焦點放在估計工業污染源鄰近周邊的污染程度，發展了 AMERMOD 模式，AERMOD 模式乃美國環保署最新公告之煙流擴散模式，用以模擬惰性空氣污染物於小範圍(50 公里內)之擴散情形。本研究針對高雄港區建置 AERMOD 模擬平臺，結合交通部氣象局之氣象觀測資料與交通部運輸研究所之臺灣海域船舶自動辨識系統(AIS)之即時船舶動態資料，建置高雄港區之即時空氣品質推估系統，以精進深化高雄港綠色港口形象，使之符合國際海事組織(IMO)與歐洲海港組織(ESPO)規範，提升港口國際形象，確保港區環境安全。

二、文獻回顧

1. 混合層高度

AERMOD 模式所需之氣象資料必須有大氣混合層之高度，當污染物排入

大氣邊界層(Atmospheric boundary layer, ABL)後，可經由大氣紊流的作用，在水平及垂直方向上逐漸擴散，若

擴散的時間夠長及無沉降或移除等機制作用，則污染物最終可在大氣邊界層內完全混合。因此，在空氣污染的研究上，習慣將上述之大氣邊界層稱為『混合層』(Mixing layer)。在穩定的大氣環境下，完全混合是很難達成的，此時『混合層』一詞的使用亦較大氣邊界層為佳，因為前者是強調混合的過程而非指結果。Seibert et al(2000)對混合層高度定義：『混合層高度，係指由地面往上至某一大氣層高度，任何被排入或捲入此高度範圍內之污染物或其他物質，可經由大氣對流或機械紊流作用，在大致 1 小時內擴散至此高度範圍內之其他地方』。故若將大氣邊界層僅定義為緊鄰地面紊流主控的高度範圍，則混合層與大氣邊界顯然同義。不過有時大氣邊界層有其他定義，例如當其定義為夜間輻射影響的高度範圍時，此時混合層與大氣邊界層的高度是明顯不同的，在此情況下，大氣邊界層高度通常大於混合層高度。

混合層高度在不同的地區與時間均不相同，影響混合層高度變化的原因包含大氣水平傳輸及日照輻射所引起之對流作用，通常在晴朗無雲的夜晚，混合層高度達到最低，可能僅有數十公尺高，清晨以後因日照作用，大氣在垂直方向之對流增強，混合層高度亦逐漸升高，在午後大氣垂直對流到達最強時，混合層高度可上昇至 1000~2000 公尺，傍晚後因日照減弱及地表輻射冷卻作用，混合層高度會迅速降低。就四季變化整體而言，當中以夏天的日照對流最強，因此平均混合層較高；而冬天則因日照對流最弱，因此平均混合層高度

最低。

混合層高度(Mixing height, MH)為空氣污染模式之重要輸入參數，混合層高度決定了污染物在垂直方向上可以擴散的最大高度，許多空氣品質模式的前處理都必須進行混合層高度的計算，例如傳統的高斯煙流模式，美國環保署之 ISC(Industrial Source Complex)空氣品質模式之輸入必須包括逐時之混合層高度資料，而模式內假設污染物僅能在混合層內擴散，無法穿越混合層高度，因此混合層高度之低估(或高估)將直接導致模式高估(或低估)污染物地面濃度；對於複雜之網格或軌跡空氣品質模式，混合層高度則是估算垂直擴散係數 K_z 之重要參數，垂直擴散係數為污染物在垂直方向上擴散之主要控制機制，一般之空氣品質模式，包括國內在使用之 TAQM(Taiwan Air Quality modeling, 張, 2001)、CMAQ(Community Multiscale Air Quality, 吳, 2001)、CAMX(Comprehensive Air Quality Model, 曠, 2001；陳, 2001)，其模式內部均假設 K_z 在混合層內具有一定的分佈特性。如圖 2.1，在不穩定的大氣條件下，一般是假設在 1/2 混合層高度處，垂直擴散係數為最大，在此高度往上延升至混合層高度， K_z 由最大值下降至零；同理，在 1/2 混合層高度處往下至地面， K_z 值亦由最大值下降至零。由此可知混合層高度之估算錯誤，將致使空氣品質模式有關 K_z 值估算之錯誤，間接導致模式估算結果之誤差。

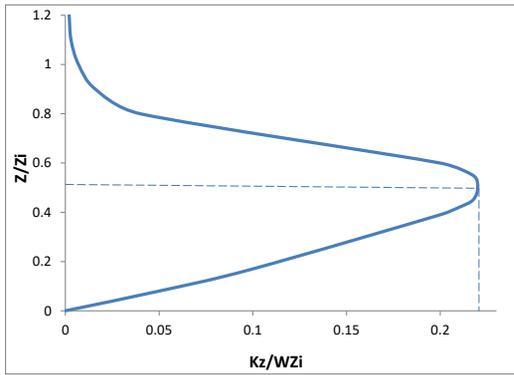


圖 2.1 混合層高度與垂直擴散係數之關係

2. 空污擴散模式

AERMOD 模式屬高斯擴散模式，常被使用於計算污染源下風處的濃度，而由於環境中的空氣污染物來源種類眾多，排放物種又多有重疊，因此國內外普遍作法皆為建立排放清冊，從源頭具體瞭解污染排放的比重。然而眾多的排放量中，不等同於對環境的影響比重，因為污染物從排放源排到大氣後，會受到排放高度、氣流、風速、風向、溫度、濕度、地面輻射……等等各式各樣大氣條件的影響，造成污染物擴散、稀釋、移動或沈降。雖然可以建置空氣品質測站，取得最直接的影響數據，但是監測標的物種通常為最終產物，並無

法釐清來源，因此亦無法知道此期間污染源造成的影響比重。

若要釐清污染源對環境的實際影響，可以間接使用模式模擬的方式進行。目前可行的方式有兩類，一為受體模式，另一為大氣擴散模式。其中受體模式是利用質量平衡的原理，必須先知道各主要污染源的排放特徵組成 (Source Profile)。而大氣擴散模式除了以各污染源作為重要的推估依據外，還需代入各項大氣條件，以模擬污染源排出後擴散至環境中的情形，並呈現出污染物的空間分布情形。如圖 2.2。

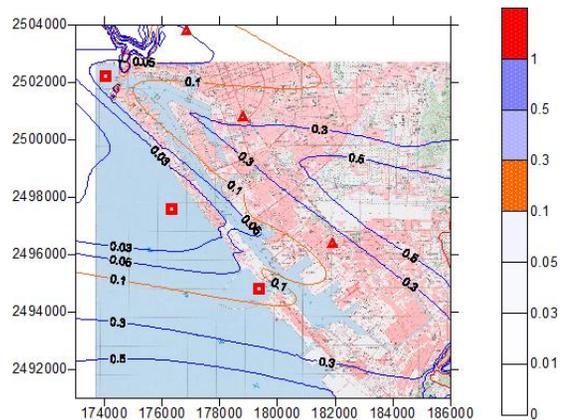


圖 2.2 污染物擴散空間分布示意圖

三、研究方法

本研究之執行流程如圖 3.1，建置高雄港區之地形資料，同時藉由即時下載之地面氣象觀測資料，用以計算大氣穩定度，之後再利用穩定度及其他氣象參數推算混合層高度，以建置執行

AERMOD 模擬所需之氣象資料；另外經由 AIS 系統及勞氏資料庫取得船舶相關資訊，用以推估船舶之污染物排放量，藉此建立模式模擬相關資訊。待模式建置完成後，則能利用此模式系統推

估污染物之即時空氣品質影響。

其中羅氏法為 1973 年 Nozaki 等人所提出之一種利用地面氣象資料估算混合層高度之方法，考慮大氣邊界層上部之大氣運動情況與氣象參數互相有所關聯，因此可用地面氣象資料來估算混合層高度，本方法之優點為不需要探空之氣象資料即可估算，其估算公式如下：

$$L = \frac{121}{6}(6 - P)(T - T_d) + \frac{0.169P(U_z + 0.257)}{12f \times \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)} \dots\dots(3-1)$$

其中：

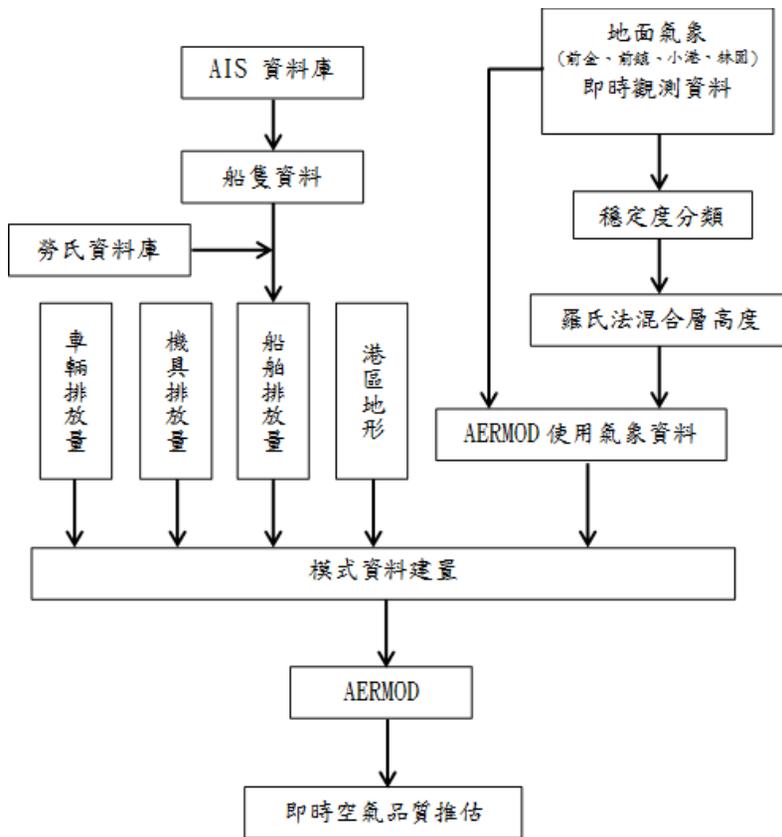


圖 3.1 空氣品質推估建置流程圖

本研究模擬範圍以高雄港為主，及鄰近部分高雄市區之地形高程資料；若為複雜地形則可模擬煙流隨著地形擴散的情形，藉以了解污染物擴散的影響

範圍。其中地表資料運用交通部運輸研究所 2013 年度 UAV 攝影測量所得之地表高程資料，初始網格間距為 5m*5m，因僅有包含高雄港區域，故搭配模式支

援中心提供之 terr200 地形高程資料，補足攝影高程缺值的部分，利用克利金內差修正為 100m*100m 網格，使高程資料能夠遍布模擬範圍。

高雄港區排放量推估計有遠洋船舶、港區船舶、機具、車輛等四種，由於機具、車輛並無即時資料，本研究依 2015 年高雄港區空氣污染擴散與監測系統規劃之研究所建置之機具、車輛排放量使用之；而船舶類排放推估則可透過圖 3.2 排放量推估流程圖推估。

透過 AIS 資料庫抓取船舶 IMO 編號，對應勞氏資料庫中之 IMO 編號，

若有符合之船舶，則再度抓取 AIS 資料中同一船舶之呼號，若同一筆船舶資料中，其 IMO 編號與呼號均相同，則認定勞式資料庫與 AIS 資料為同一艘船；接著撈取勞式資料庫中此一船舶之船舶種類、最大船速、主引擎功率、輔助引擎功率以及鍋爐功率等參數。

其中最大船速搭配 AIS 資料中之船速、航行狀態，以計算該船舶之負載 (LF)，同時抓取之引擎功率再利用引擎排放係數(EF)、燃油校正係數(FCF)以及負載情況，計算船舶排放量。

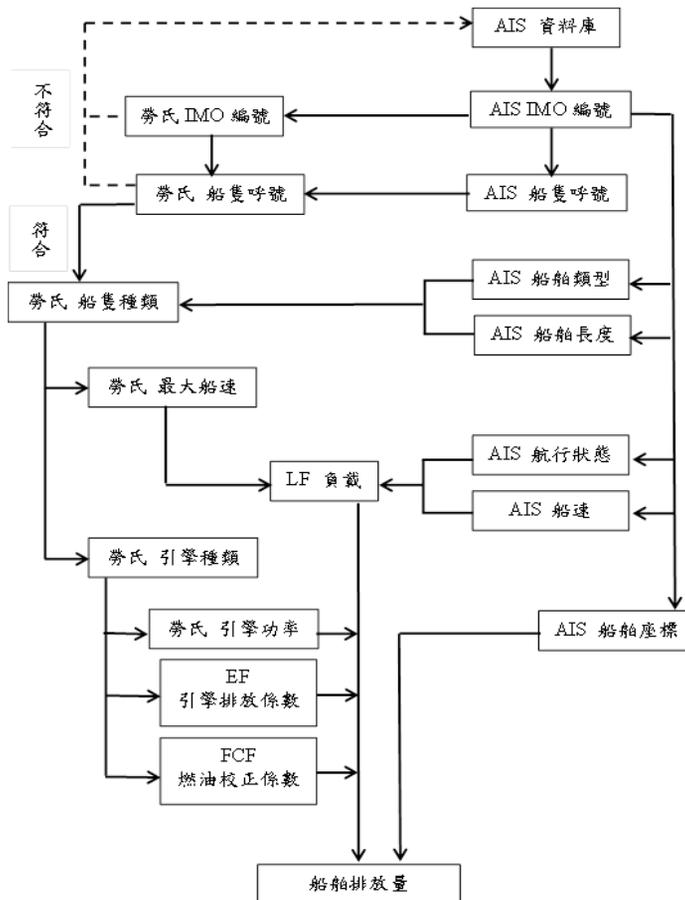


圖 3.2 排放量推估流程圖

1. AIS 資料庫

依據交通部運輸研究所之 AIS 系統，其檔案格式為逗號分隔之 csv 檔案，資料共計有 10 個欄位，依序分別為 IMO 編號、船舶呼號、航行狀態、航速、經度、緯度、船舶類型、船長 A、船長 B 以及記錄時間。

又 AERMOD 模式模擬時，船舶之座標系統須轉換為直角坐標系統，本研究使用之座標系統為 TWD97 座標；故 AIS 資料中之經緯度座標必須另外再做轉換。一般座標轉換公式為一漸進收斂方式，應用上雖然較廣泛，但使用上較不方便；故本研究運用回歸方式，取得高雄港區附近之回歸公式，可直接利用公式轉換座標，應用範圍侷限高雄港區，但精確度以及轉換效率皆有提高。回歸結果如圖 3.3 及圖 3.4 所示，其中 X 軸方向之轉換公式為 $y = -0.0015x^2 + 103.51x + 147095$ ，Y 軸方向之轉換公式為 $y = 110773x - 3313.1$ 。

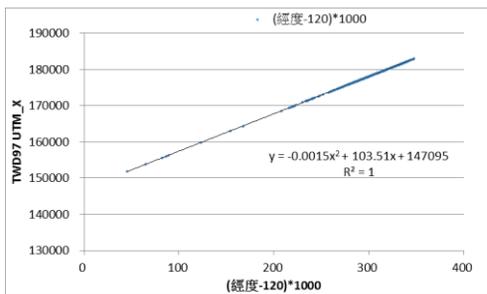


圖 3.3 高雄港區經度座標回歸

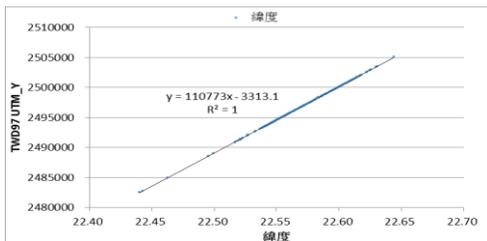


圖 3.4 高雄港區緯度座標回歸

2. 勞氏資料庫

勞氏資料庫格式為 Access 資料庫格式，供 AIS 對照並篩選引擎工率使用，欄位名稱依序為 IMO 編號、呼號、總噸、總長、主船種、引擎數量、轉速、引擎馬力、引擎種類、最大船速、標準貨櫃數、輔助引擎功率、鍋爐功率以及引擎判斷 Tier 之時間。

3. 船舶排放量

由於船舶種類眾多，若依據 California Air Resources Board(CARB) 定義，只要符合下列三項其中一項條件，則歸屬於遠洋船舶類型(Ocean Going Vessel, OGV)：

1. 船舶長度總長(Length Overall, LOA) 400 呎(122 公尺)或以上。
2. 船舶重量總噸位(Gross Tonnage, GT) 10,000 噸或以上。
3. 船舶使用柴油引擎，且汽缸排氣量達 30L 或以上。

遠洋船舶排放量推估公式如下：

$$E = \text{Energy} \times EF \times FCF \dots \dots \dots (3-2)$$

其中：

E：引擎的排放量(g)

Energy：所需要的能量(kW·h)

EF：排放係數(g/kW·h)

FCF：(HFO)燃料校正係數

又排放量推估公式中所需要的能量，可藉由下列公式推估之：

$$\text{Energy} = \text{MCR} \times \text{LF} \times \text{Act} \dots \dots \dots (3-3)$$

其中：

MCR：最大引擎動力(kW)

LF：負載係數

Act：活動量(hr)

因為在船舶註冊資料中如勞氏資

料庫，一般只有少數船舶登記輔助引擎甚至鍋爐的資料，其船舶資料或有缺值的情況產生，因此只能藉由相關研究資料取得各型船舶的船重、最大船速及引擎功率等資料，作為無資料船舶的預設值。

主引擎的排放係數與引擎的製造年份、引擎種類以及引擎轉速的快慢有關，柴油引擎依照引擎的製造年份，2000 年以前由於 IMO 並未規範引擎的環保標準，因此為 0 期引擎(Tier 0)，又 2000 至 2010 年生產的引擎為 1 期引擎(Tier 1)，而 2011 至 2015 年生產的引擎則為 2 期引擎(Tier 2)，共區分為 3 個期別。其中引擎最大轉速又可區分為轉速

低於 130rpm 的慢速引擎(Slow Speed Diesel)以及轉速大於 130rpm，一般則介於 400~2000rpm 之間的中速引擎。另亦區分有氣體渦輪機引擎(Gas Turbine)及蒸汽渦輪引擎(Steam Turbine)兩種。一般船舶使用含硫量 2.7%之重油(HFO)的排放係數，若船舶進港之前即將重油切換為柴油，則需使用柴油之係數，另外再根據硫含量以不同的油料校正係數校正之。船舶引擎使用不同的燃油，其污染排放量會隨之變化，主要為油中含硫量的差異，會造成 SO₂ 的排放量不同，而 SO₂ 又是衍生性粒狀物的主要生成來源，因此連帶會影響 PM₁₀、PM_{2.5} 及 DPM 的產生。

四、研究結果

1. 高雄港附近高程地形之建置

圖 4.1 為已完成之高雄港區 100 m 網格間距地形之等高線圖。由圖中可知，港區外圍靠海處往內陸高雄市區約 8 公里之陸地處，地形高程起伏僅上升約 10 公尺上下，顯現模擬範圍內地形尚屬平坦，唯有西北側之壽山，最大高度 356 公尺，然而模擬範圍內最大高度則為 158.46 公尺，位於 (174700, 2504000)處，東南側竹坑區域，亦有少部分區域超過 100 公尺。

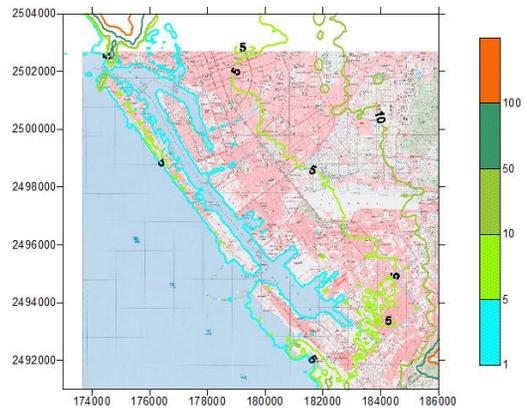


圖 4.1 高雄港附近高程地形

2. 混合層高度比較

當取得地面測站觀測數值後，可先行計算 Pasquill 的穩定度，再依據不同的穩定度結果代入羅氏法公式，以計算混合層高度，在計算混合層高度使用參數中，地表粗糙度為 0.0001 m，地轉角

速度則為 $7.27E-05$ rad/s。若以 2014 年取得之地面測站觀測值，計算各測站混合層的高度，其結果依照穩定度計算之不同，列舉 1 月、4 月、7 月及 10 月結果如圖 4.2。其中 1 月混合層最大高度

介於 800m~2200m 之間，4 月混合層最大高度介於 400m~1400m 之間，7 月混合層最大高度介於 600m~1400m 之間，10 月混合層最大高度則介於 800m~1400m 之間。

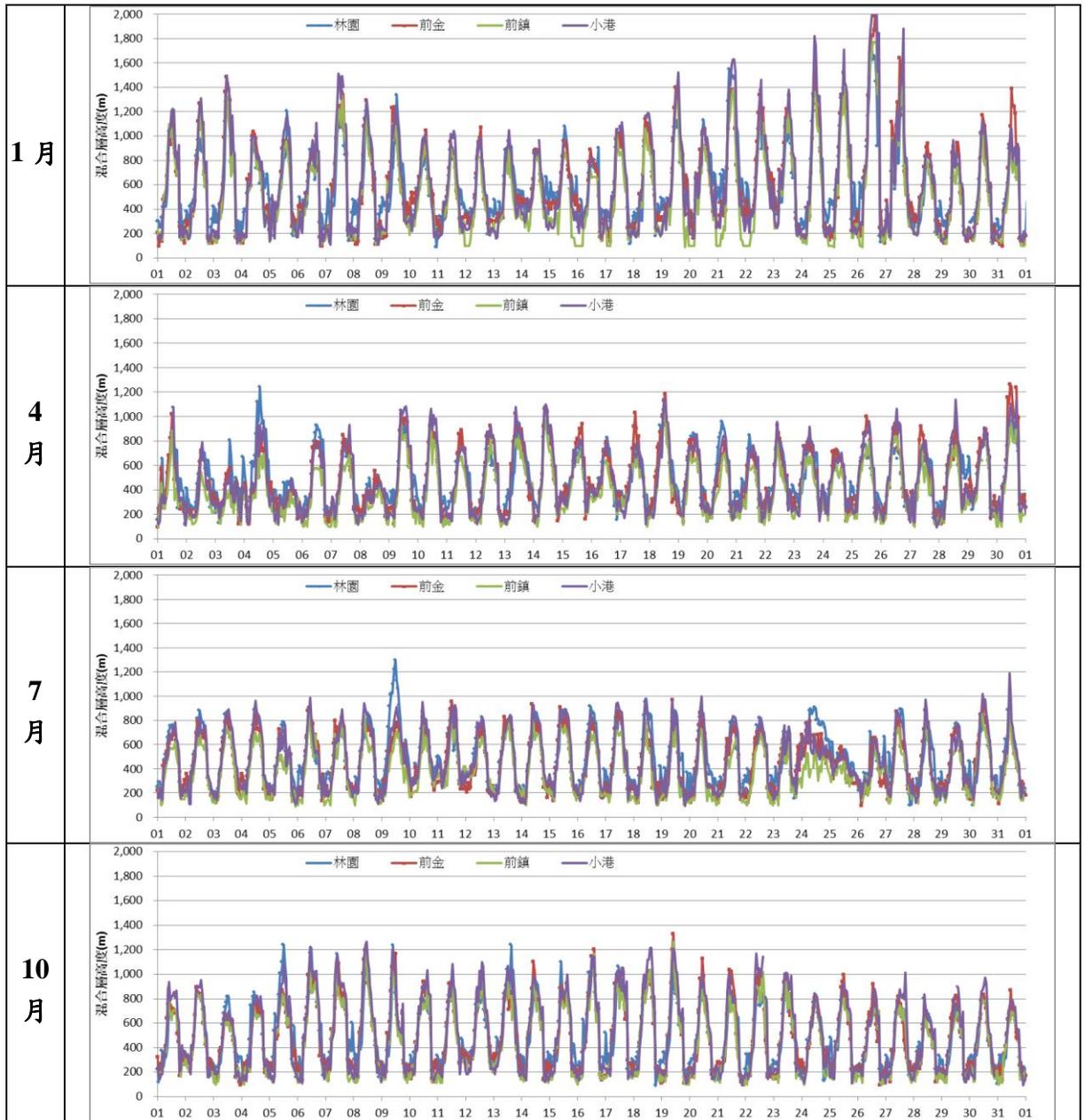


圖 4.2 混合層高度計算比較

3. 日夜變化差異

若將4站之混合層高度全年計算結果，分別將各站同時段之混合層高度平均；同理，亦將 AQMC(空氣品質模式支援中心)全年之同時段結果平均。將平均結果依序由 0 時至 23 時製作成圖，形成日夜變化趨勢圖，結果如圖 4.3。若將混合層推估值定義為 A，AQMC 實際混合層高度為 B，則定義混合層高度差異百分比為 $(A-B)/B$ ，絕對差異百分比為 $(A-B/B)$ 之絕對值，如圖 4.4。混合層日夜變化中，前金混合層最大高度

783.8 m，與實際混合層高度差異值介於 -19.36%~28.82%，差異絕對值則介於 2.82% ~28.82%；前鎮最大高度 686.5m，差異值介於 -32.57%~17.23%，差異絕對值則介於 3.22%~32.57%；小港最大高度 810.7m，差異值介於 -23.85%~26.69%，差異絕對值則介於 0.81%~26.69%；林園最大高度 772.3m，差異值介於 -12.89%~31.89%，差異絕對值則介於 2.19%~31.89%。四站混合層最大高度均發生在 13 時。

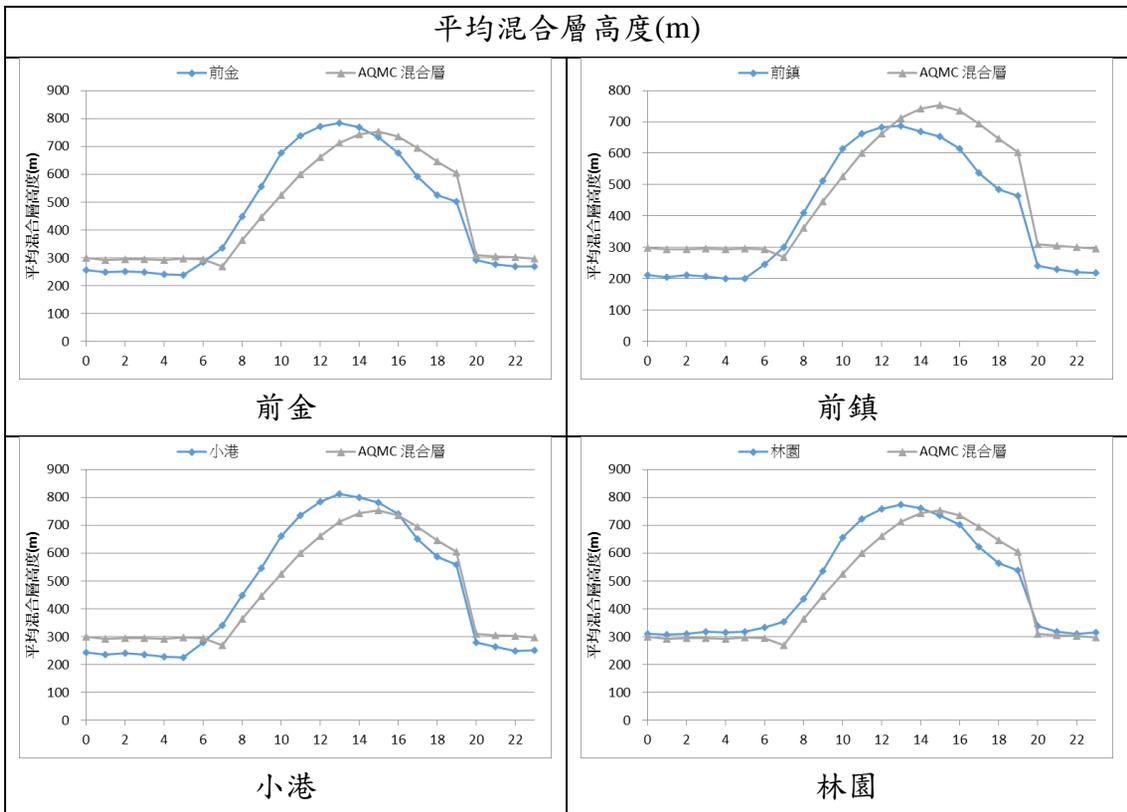


圖 4.3 逐時平均混合層高度

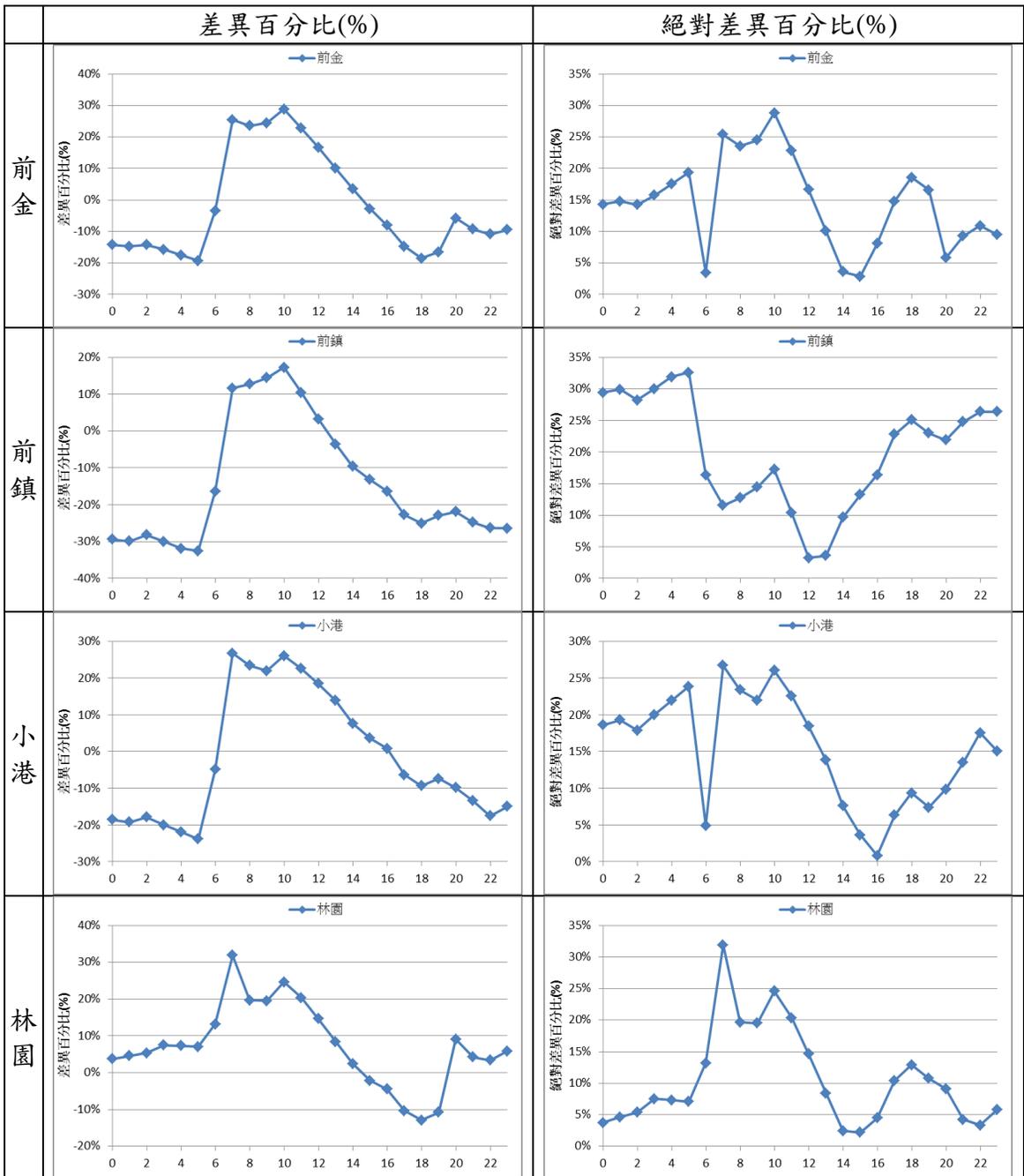


圖 4.4 逐時日夜變化差異比較

4. 季節變化差異

若將四站之混合層高度全年計算結果，分別將各站同月份之混合層高度平均；同理亦將 AQMC 全年之同月份

結果平均，將平均結果依序由 1 月至 12 月製圖成全年變化趨勢圖，如圖 4.5，差異變化則如圖 4.6。混合層季節變化中，前金混合層最大高度 597.0 m，與

實際混合層高度差異值介於 -14.27% ~ 19.06%，差異絕對值則介於 0.36% ~ 19.06%；前鎮最大高度 513.6 m，差異值介於 -28.35% ~ 10.37%，差異絕對值則介於 1.56% ~ 28.35%；小港最大高度 599.0 m，差異值介於 -13.62% ~ 19.19%，差異絕對值則介於 0.40% ~ 19.19%；林園最大高度 605.5 m，差異值介於 -6.57% ~ 20.94%，差異絕對值則介於 0.01% ~ 20.94%。四站混合層最大高度均發生在 1 月。

5. 四站平均

將前金、前鎮、小港及林園四站之混合層計算高度平均，再與 AQMC 所

提供之同一時間混合層高度做比較，其結果如圖 4.7 所示。其中 1 月混合層最大高度介於 800m~2000m，4 月混合層最大高度介於 400m~1200m，7 月混合層最大高度介於 600m~1000m，10 月混合層最大高度則介於 600m~1400m。

混合層日夜變化最大高度 763.3 m，發生於 13 時，與實際混合層高度差異值介於 -17.17% ~ 24.16%，差異絕對值則介於 0.99% ~ 24.16%，如圖 4.8；混合層季節變化中，最大高度 580.2 m，與實際混合層高度差異值介於 -15.69% ~ 17.43%，差異絕對值則介於 0.50% ~ 17.43%，如圖 4.9。

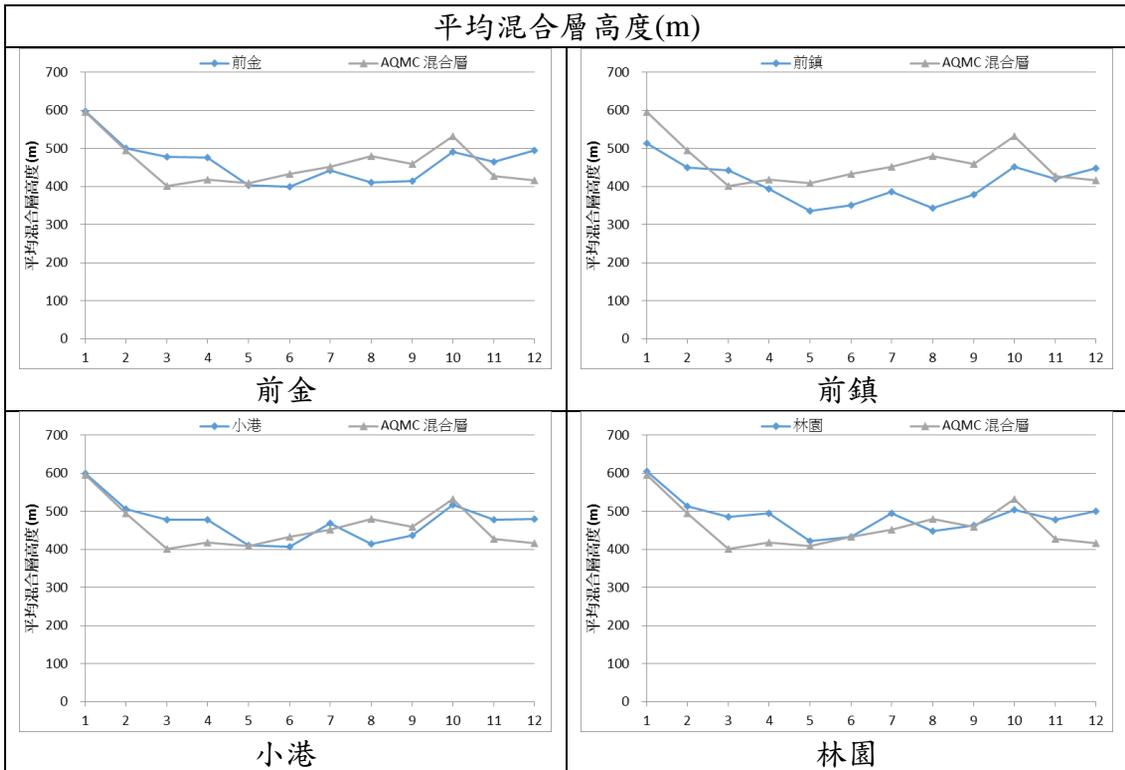


圖 4.5 逐月平均混合層高度

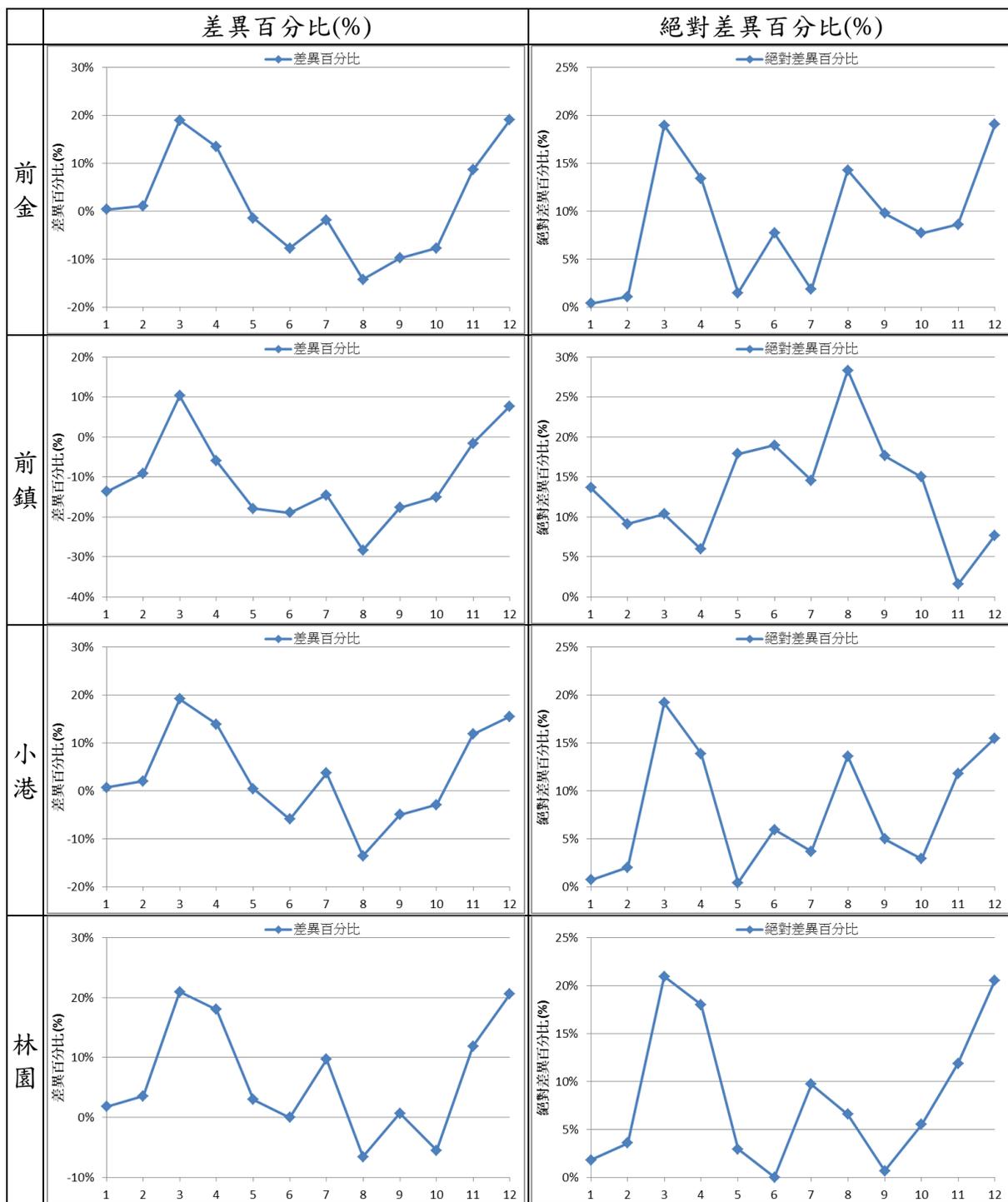


圖 4.6 逐月季節變化差異比較

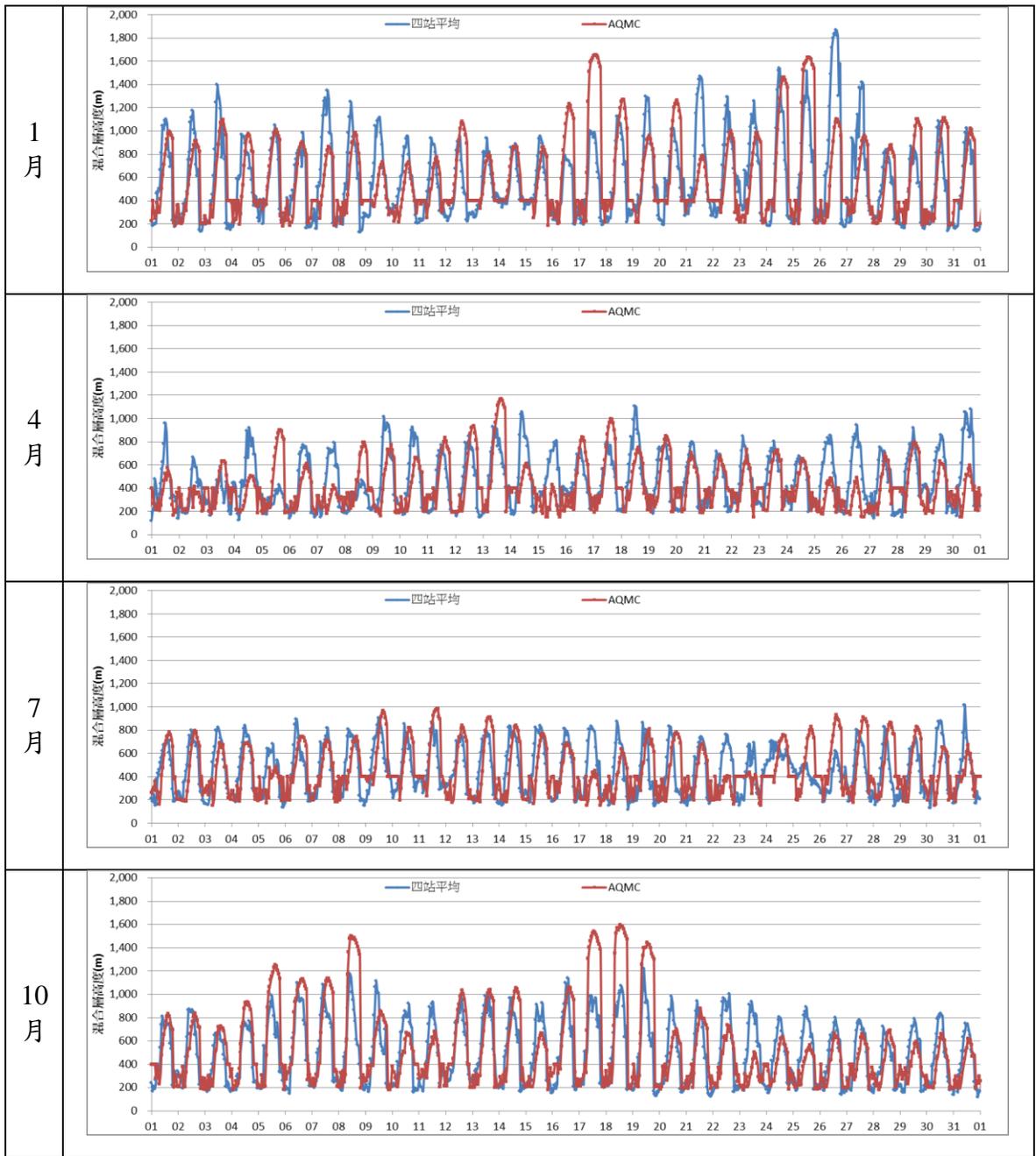


圖 4.7 四站平均混合層高度比較

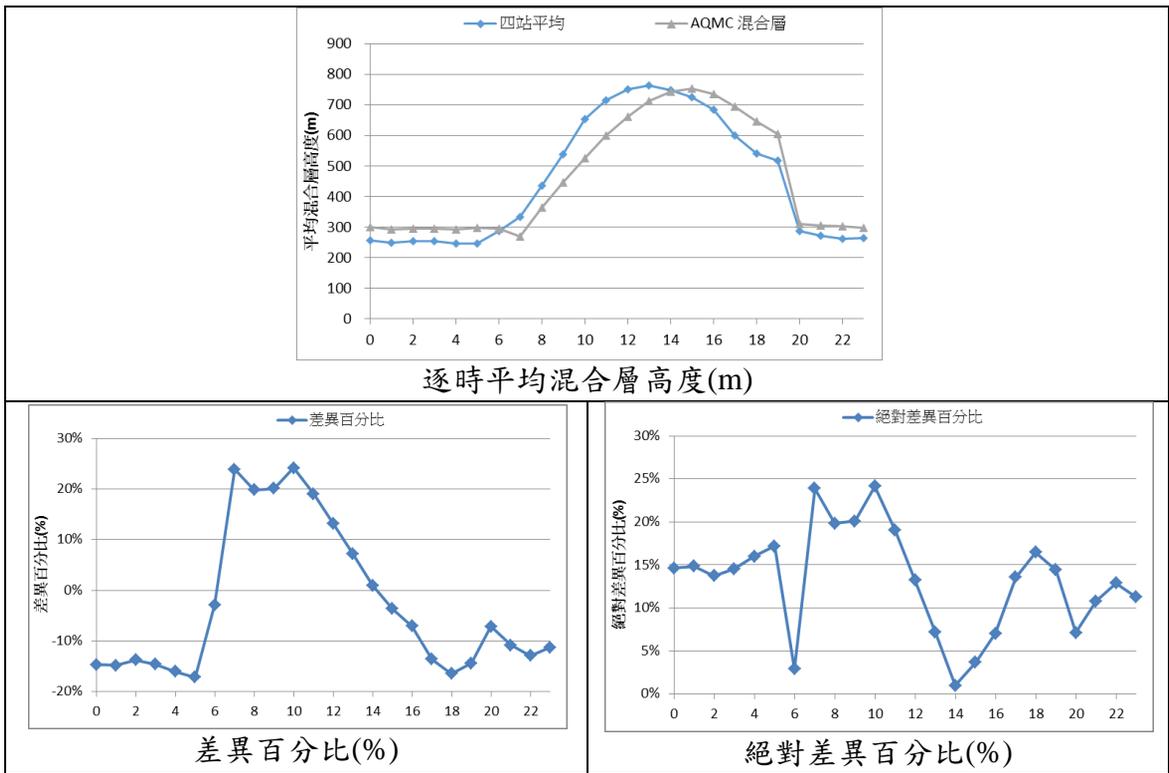


圖 4.8 四站逐時平均日夜變化比較

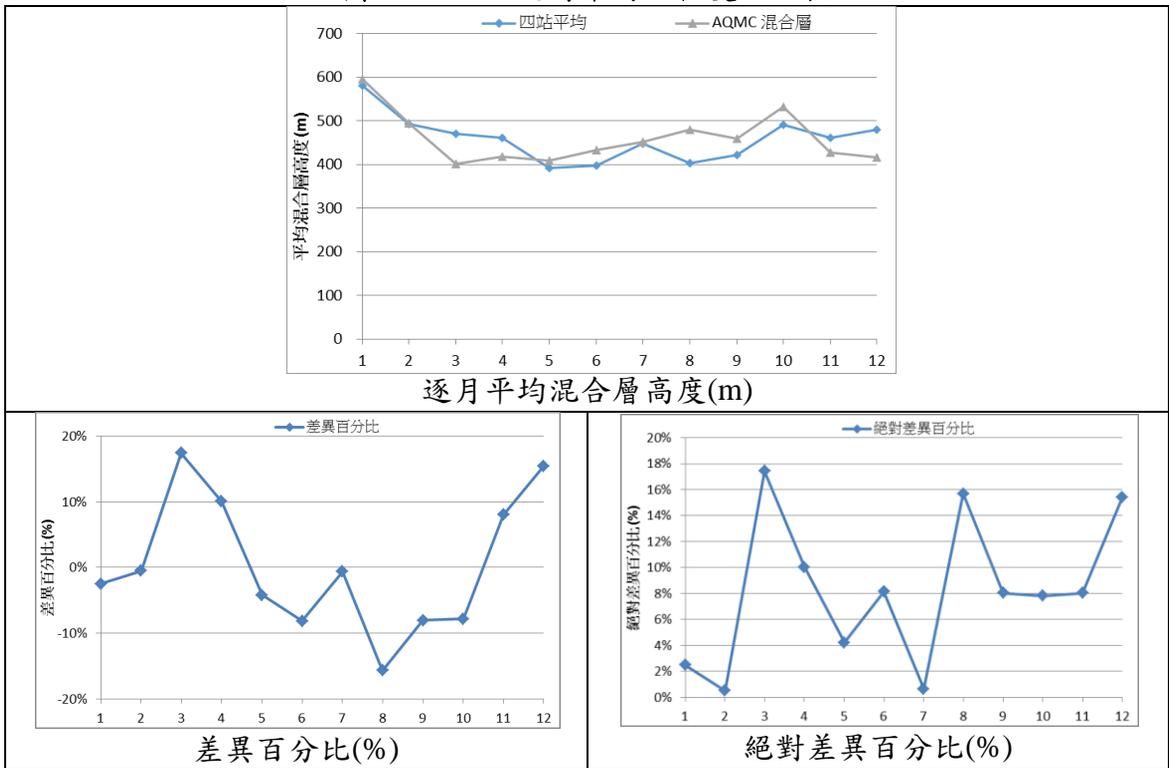


圖 4.9 四站逐月平均季節變化比較

6. 即時推估系統執行結果

即時推估系統模擬結果將於螢幕顯現出各敏感點之推估增量濃度結果，

如圖 4.10，並應用 Surfer 繪圖軟體自動繪製出等值圖，以顯現高污染主要分布及擴散區域，如圖 4.11 及圖 4.12。

```
cmd.exe - 捷徑 - python marine.py
REM00.inp 已經存在！
覆蓋檔案 -> arem00.inp
Stop - Program terminated.

G:\Python27>06aermod.exe
+Now Processing SETUP Information
+Now Processing Data For Day No. 366 of 2016
+Now Processing Output Options

G:\Python27>06autospot.exe
          sitename  UTM_X  UTM_Y  NOx  SOx
          :         :      :      :   :   :
前金     56 : 176823 2583772  .65  .15
前埤     57 : 178811 2580753  2.04  .41
小港     58 : 181894 2496359 35.81  .66
林園     52 : 189468 2486767  2.87  .53
參考點 1 : 174044 2582200  2.33  .55
參考點 2 : 179369 2494801  2.52  .52
參考點 3 : 176310 2497577  2.26  .50
參考點 4 : 180821 2489499  .55  .12
參考點 5 : 168244 2495198  .04  .01
Stop - Program terminated.
```

圖 4.10 模擬推估結果

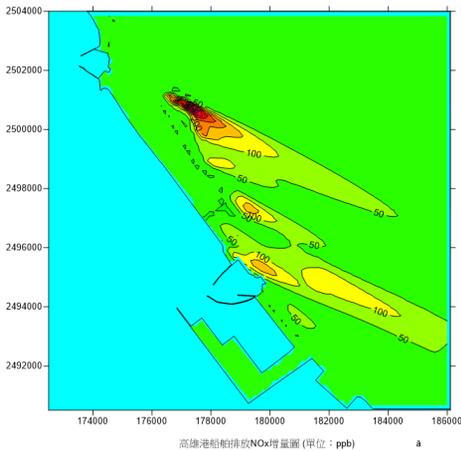


圖 4.11 NO_x 自動繪圖結果

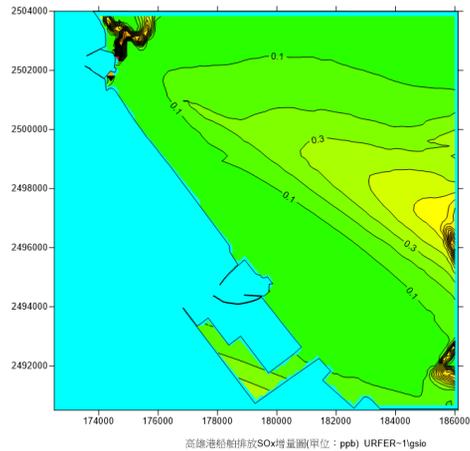


圖 4.12 SO_x 自動繪圖結果

五、結論與建議

1. 四站混合層高度比較，日夜變化最大高度均發生在 13 時，介於 686.5 m ~ 810.7 m，差異值介於 -32.57% ~ 31.89%，而差異絕對值則介於 0.81% ~ 32.57%。
2. 四站混合層高度比較，季節變化最大高度均發生在 1 月，介於 513.6 m ~ 605.5 m，差異值介於 -28.35% ~ 20.94%，而差異絕對值則介於 0.01% ~ 28.35%。

3. 推估最大值大於環保署測值，顯示系統於該時段有高估之情形，其可能原因包括車輛及機具排放量非即時排放量資料與船舶排放量高估等。推估結果後續可供港區空氣品質管制參考。
4. 系統執行時，建議於獨立之主機進行，並連接有線固定 IP 網路，避免網路因素造成系統無法執行。

參考文獻

1. U.S. EPA. (2004) , “AERMOD: description of model formulation”, pp.1-89.
2. U.S. EPA. (2004) , “User’s guide for the AERMOD meteorological preprocessor.”
3. U.S. EPA. (2004) , “User’s Guide For the AMS/EPA Regulatory Model-AERMOD.”
4. Kumar, A., and Dixit, S. (2006) , "Evaluation of the AERMOD dispersion model as a function of atmospheric stability for an urban area." *Environmental Progress* 25(2): 141-151.
5. Faulkner, W.B., and Shaw, B.W. (2007) , “Sensitivity of Two Dispersion Models (AERMOD and ISCST3) to Input Parameters for a Rural Ground-Level Area Source.” *Journal of the Air & Waste Management Association* 58(10): 1288-1296.
6. Zou, B., and Zhan, F.B. (2010) , "Performance of AERMOD at different time scales." *Simulation Modelling Practice and Theory* 18(5): 612-623.
7. Seibert, P., F. Beyrich, S. E. Gryning, S. Joffre, A. Rasmussen, and P. Tercier (2000) Review and intercomparison of operational methods for the determination of the mixing height, *Atmos. Environ.*, 34, 1001–1027.
8. Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., and Agrawal, A. (2007) , Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2005. Starcrest Consulting Group, LLC, Poulsbo, WA, 98370.
9. Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., and Agrawal, A. (2011) , Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2010. Starcrest Consulting Group, LLC, Poulsbo, WA, 98370.
10. Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., and Agrawal, A. (2012) , Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2011. Starcrest Consulting Group, LLC, Poulsbo,

- WA, 98370.
11. Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., and Agrawal, A. (2013) , Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2012. Starcrest Consulting Group, LLC, Poulsbo, WA, 98370.
 12. Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., Muller, R., and Agrawal, A. (2014) , Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2013. Starcrest Consulting Group, LLC, Poulsbo, WA, 98370.
 13. Aldrete, G., Anderson, B., Ray, J., Muller, R., and Agrawal, A. (2015) , Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2014. Starcrest Consulting Group, LLC, Poulsbo, WA, 98370.
 14. Pasquill, F. (1961) , The Estimation of the Dispersion of Windborne Material. Meteorol. Mag. 90, 33-49
 15. Pasquill, F. (1974) , Atmospheric diffusion. John Wiley and Sons, New York. NY.
 16. Pasquill, F. (1974) , Atmospheric Dispersion Parameters in Gaussian Plume Modeling, Part II. Possible Requirements for Change in the Turner Workbook Values, U.S. EPA, EPA-600/4-76-030b.
 17. 吳義林、蔡德明(2001) , 「 The simulation of photochemical reactions in southern Taiwan by Models-3/CMAQ」 , 高雄市空氣品質模式技術研討會。
 18. 曠永銓、張豐藤、鄭清山、林燦銘、莊銘棟(2001) , 「全省性風場建置與全年反軌跡分析」 , 2001 年空氣品質模式技術研討會。
 19. Nozaki K.Y. (1973), “Mixing depth model using hourly surface observations”, Report 7053, USAF Environmental Technical Applications Center.
 20. 曠永銓、許佩蓓(2005) , 「AERMOD 煙流模式在臺灣地區之應用研究」 , 中興工程, Vol.88, pp.55-62。
 21. 交通部運輸研究所(2015) , 「高雄港區空氣污染擴散與監測系統規畫之研究」。
 22. 交通部運輸研究所 (2016) , 「104 年高雄港區空氣污染擴散與監測系統規劃之研究」
 23. 陳茂雄(2016) , 「高雄港區空氣品質影響之模擬分析」 , 輔英科技大學環境工程與科學研究所碩士論文。
 25. <http://www.cwb.gov.tw/V7/forecast/UVI/uviknowledge.pdf>。
 26. https://www3.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm