

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

大氣邊界層污染物之繫留探空監測與擴散傳輸模式分析

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-029-003-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：東海大學環境科學系

計畫主持人：程萬里

計畫參與人員：陳冠宇、薛鼎翰、蔡佳珊

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

大氣邊界層污染物之繫留探空監測與擴散傳輸模式分析

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 93- 2211- E- 029- 003-

執行期間： 93年 8月 1日至 94年 7月 31日

計畫主持人：程萬里 教授

共同主持人：

計畫參與人員： 陳冠宇、薛鼎翰、蔡佳珊

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：東海大學環境科學系暨研究所

中 華 民 國 94 年 10 月 31 日

摘要

近年來，中部地區之都市化發展與工商業之復甦，都市人口密度增加，工廠及汽機車所排放之空氣污染量也日益增加，其污染物受地形、地貌、溫度、海陸風環流及混合層高度低等氣象條件之影響下，容易造成中部地區空氣品質之惡化。

本研究計畫於中部地區進行不同季節之繫留探空監測，收集不同季節之垂直大氣環境之氣象資料及不同高程空氣樣本，其中包括氣壓、溫度、相對溼度、風速風向之氣象因子及 O₃、NO_x、NMHC、SO₂、CO 之污染物濃度分布情形，同時與台中市西屯監測站之逆溫儀(Meteorological Temperature Profiler version 5, MTP5-HE)監測當時大氣環境之溫度垂直剖面，利用 Holzworth 法，推估中部空品區之混合層高度變化。此外，配合中尺度氣象模式(Fifth-generation Penn. State/NCAR Mesoscale Model, MM5)、台灣空氣品質模式(Taiwan Air Quality Model, TAQM)及近年來澳洲聯邦科學與工業研究發展組織(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, CSIRO)研發的空氣污染模式(The Air Pollution Model, TAPM)進行氣象場的模擬，與實際監測數據比對分析，以輔助了解中部空品區於不同季節之大氣特性下，大氣邊界層與污染物濃度間之關係。

經模式模擬結果顯示，MM5 與 TAPM 於水平氣象場模擬部份，春季風速與觀測值之相關係數皆可高達 0.82，標準偏差介於 0.92~2.04，IOA 值介於 0.58~0.77；溫度方面，相關係數皆可高達 0.93 以上，標準偏差介於 0.99~4.12，IOA 值介於 0.52~0.95。秋季風速與觀測值之相關係數皆達 0.66 以上，標準偏差介於 0.91~2.92，IOA 值於 0.31~0.80 間；溫度方面，相關係數皆可高達 0.86 以上，標準偏差介於 1.63~3.33，IOA 值介於 0.67~0.93。垂直方向之模擬，TAPM 可掌握與實際監測之變化。MM5 與 TAPM 於不同季節所模擬混合層高度之不同，造成污染物濃度之嚴重程度亦有不同。由模式模擬探討中部地區之大氣環境，可以彌補觀測資料之不足外，可了解大氣環境及台灣地區地形之複雜性。

關鍵字：混合層高度、繫留探空監測、第五代中尺度氣象模式、台灣空氣品質模式、空氣污染模式

Abstract

In recent years, central Taiwan has become more urbanized and industrialized. As the population density has increased, so has the level of anthropogenic pollutants, especially from industrial and motor vehicle emissions. The transportation and diffusion of such pollutants, which usually cause the air quality to deteriorate, are determined by meteorological factors, such as wind direction, wind speed and mixing height.

In this study, we used a tethersonde to monitor air pressure, temperature, humidity, wind direction and speed and we collected air samples at different heights which were analyzed for concentrations of O₃, NO_x, NMHC, SO₂ and CO in different seasons. We used a Meteorological Temperature Profiler (MTP5-HE), which is a new instrument for monitoring the temperature profile and estimating the mixing height variation in selected seasons. We also simulated the synoptic weather systems with the Pennsylvania State University/NCAR fifth generation Mesoscale Model System (MM5), and with the air pollution model (TAPM), and simulated the air quality with the Taiwan Air Quality Model (TAQM). Then, we analyzed and compared the data from the Taiwan Environmental Protection Administration (TEPA) with the results of the tethersonde monitoring and model simulations.

For horizontal meteorological simulations, the wind speed of the MM5 and TAPM in spring in central Taiwan presented good agreement, and the correlation values both reached 0.82, with the standard errors and IOA values between 0.92~2.04 and 0.55~0.77, respectively. For the temperature aspect, the correlation values of these models reached 0.93; the standard errors and IOA values were 0.99~4.12 and 0.52~0.95, respectively. In autumn, the correlation values of wind speed simulated by models were better than 0.66; the standard errors and IOA values were 0.91~2.92 and 0.31~0.80, respectively. For the temperature aspect, the correlation values of the models reached 0.86; the standard values and IOA values were 1.63~3.33 and 0.67~0.93, respectively. The TAPM provided good vertical wind and temperature field simulations. The MM5 and TAPM estimated the mixing heights for different seasons, which also affect the extent of air pollution. After comparing the results obtained with the models and observations, we found that the models can compensate for observation failure and help researchers understand the complexity of the atmospheric environment and topography in central Taiwan.

Keywords: Mixing height, tethersonde, MTP5-HE, MM5, TAQM, TAPM

第一章 前言

1.1 研究目的

隨都市繁榮興起與工商業之發展，工廠及汽機車所排放之空氣污染物於近地面層，因地形、地貌、風場、溫度及混合層高度等氣象條件而影響於大氣環境內之傳輸擴散。其中，風場包括風向及風速，將決定空氣污染物於大氣中傳送之方向、距離及傳輸速率；而垂直溫度及混合層高度則影響空氣污染物於垂直方向之擴散能力，當混合層高度低時，將導致近地面空氣污染物不易垂直擴散，而降低空氣品質。在中部地區空氣污染逐漸嚴重之情形下，又因大氣垂直剖面結構數據之缺乏及混合層高度資料之不足，對於中部地區之複雜地形所導致無法做完善的解釋，而影響空氣品質預報的準確性，因此，本研究計畫利用垂直探空監測，蒐集大氣垂直氣象結構數據(包括風向、風速、溫度及相對濕度等氣象因子)及污染物於不同高度之分布情形，並使用模式模擬大氣環境及污染物傳輸情形，以提供完善之混合層高度變化及污染物擴散之研究。

1.2 研究目標

本研究團隊於中部地區適當之地點釋放繫留探空儀，實地測量當時大氣環境垂直結構，了解混合層高度之變化及污染物濃度垂直分佈；另外，環保署於 2003 年起，在台中市西屯監測站，新增架設溫度垂直剖面監測儀(Meteorological Temperature Profiler version 5, MTP5-HE)，即時監測當時大氣環境之溫度垂直剖面，將可利用垂直溫度之變化而推估混合層高度。同時，本研究團隊亦將使用中尺度氣象模式(Fifth-generation Penn. State/NCAR Mesoscale model, MM5)、台灣空氣品質模式(Taiwan Air Quality Model, TAQM)及近年來澳洲聯邦科學與工業研究發展組織(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, CSIRO)研發的空氣污染模式(The Air Pollution Model, TAPM)進行氣象場的模擬，與實際監測數據比對分析，以輔助了解中部空品區於不同季節之大氣特性下，大氣邊界層與污染物濃度間之關係。

第二章 文獻回顧

都市地區所排放之空氣污染物，其傳輸及擴散作用通常都在行星邊界層(Planetary Boundary Layer, PBL)中進行，行星邊界層通常指地表以上至 1000 公尺以下的對流大氣部份，其中包括自地表面起至 30 到 50 公尺之表面層、因白天對流發展之混合層及夜間輻射冷卻造成逆溫層等，隨高度增加，受地面摩擦影響小，至邊界層上方為自由大氣層，在 300 至 500 公尺高度之混合層中，常發生風速隨高度急遽增加且風向呈現順時鐘旋轉之大氣現象，稱此層面為艾克曼層(Ekman layer)。邊界層下之氣流受到盛行風向及地表磨擦的作用，地面排放之空氣污染物則主要受限於 100 公尺以下之大

氣所影響(Ouattara and Robert, 2002; Seinfeld and Pandis, 1998; Stull, 1988)。日間因對流混合層高度及夜間會因為逆溫層的存在，使污染物於垂直方向的擴散能力有重大的影響；氣流垂直的運動主要受到下列四項因子的作用：

1. 地表面因太陽日照加熱所產生之垂直對流。
2. 水平氣流之輻合或輻散作用。
3. 水平氣流遇地形之抬升作用。
4. 當氣團中水氣之凝結釋放潛熱，此氣團之浮力增加而上升。

行星邊界層中之混合層泛指日間受太陽輻射加熱產生之熱力作用(Thermodynamic)造成向上之旺盛對流所達之高度，該高度即為近地表空氣污染物於垂直擴散之上限。夜間則因地表輻射冷卻所造成之輻射逆溫(Radiation Inversion)現象抑制了污染物於夜間垂直向的混合，而只剩機械力(Mechanical)的混合作用(Fatogoma and Jacko, 2002; Stull, 1988)。

混合層頂高度可由大氣垂直溫度剖面結構加以判斷，當大氣垂直溫度結構出現明顯逆溫現象時，造成大氣為下冷上熱之情形，使當時之大氣難發生垂直交換之現象，即大氣呈現穩定之狀態，而此逆溫層高度即為大氣垂直擴散頂點，亦即混合層頂之高度；若混合層之高度降低，往往使污染物不利於大氣環境中擴散與稀釋，而導致空氣品質之惡化，許多嚴重空氣污染事件與當地發生近地面或低空持續性的逆溫現象有關(Seinfeld and Pandis, 1998; 彭啟明與林松錦, 1995; 陶等, 1995; 張等, 1992)。

混合層高度具隨時間及空間變化之特性，除了有日夜變化外，亦會受到地形、距海遠近、季節性及天氣型態等因素之影響顯著(Cheng, 2002; Cheng et al., 2001; Ulke and Mazzeo, 1998; Helmig et al., 1995; 姜等, 1994; Myrick et al., 1994; 李清勝, 1992; McElroy and Smith, 1991; 林等, 1990)。亦有學者指出大氣穩定度對混合層厚度之影響非常大，其將大氣穩定度簡單的區分為不穩定、中性以及穩定三大類，發現大氣不穩定時混合層厚度最大，中性次之，而穩定時混合層厚度最小(孟慶珍與馮藝, 1996)。受高壓系統影響之下，混合層高度較低，抑制污染物的垂直擴散能力，容易導致近地面污染物高濃度事件之發生；許多嚴重空氣污染事件與該區發生地面或低空發生持續性之逆溫現象有關，因夜間逆溫層使高空之污染物無法向下傳送，地面污染物也被侷限於逆溫層下，不利污染物擴散與交換，因而容易導致空氣品質惡化(Helmig et al., 2002; Gerd and Platt, 2002; Cheng, 2001a; 林能輝, 2000; Seinfeld and Pandis, 1998; Katsoulis, 1996; Kassomenos et al., 1995; Ziomas et al., 1995; Liu et al., 1994)。

量測混合層高度有許多方式，如無線電高空探測儀、氣象鐵塔、聲波量測、繫留探空儀和氣象衛星等，但這些觀測方式仍有無法精確連續觀測之困難，如常見的無線電高空探測儀需要發射探空氣球(Radiosondes)至高空無法連續性監控；聲波量測產生噪音之妨害，遇到降水或強風時，易造成其系統誤差之發生；繫留探空儀(Tethersonde)雖可提供連續監測，但其設置深受當地氣候、天氣型態及監測地點之限制，如：飛機飛行航區、都會區、強風及劇烈天氣等狀況(Cheng, 2001b; Cheng, 2000; Hayden et al., 1997; Pisano et al., 1997)。逆溫儀之設置較不受到環境影響，相較於其他觀測技術亦有較廣之操作範圍，並且無輻射逸散之優點，可攜帶於郊區進行試驗。環保署於近年來，新引進逆溫儀之技術，設置於台北、台中、高雄測站進行混合層高度之量測。

由澳洲聯邦科學與工業研究發展組織所研發之TAPM已應用於許多國家進行環境影響評估，其模式模擬結果可針對於當地空氣品質防治方面提供重要的參考資訊，同時，此模式可應用於氣象因素與空氣污染物兩者間相互關係與驗證評估(Hurley et al., 2005; Physick et al., 2004; Ortega et al., 2004; Luhar and Hurley, 2003; Hurley et al., 2003; Hurley et al., 2002)、中小尺度天氣現象之探討以及可配合多種模式與實際觀測

結果之比對(Luhar and Hurley, 2004 ; Edwards et al., 2004 ; Soriano et al., 2003; Physick and Noonan, 2000; Seaman , 2000)。

第三章 研究方法

為了瞭解大氣邊界層中之大氣垂直結構與污染物傳輸情形，本研究團隊選擇於中部內陸草屯地區進行繫留探空監測(圖 1)，同時，利用中央氣象局及環保署等單位之氣象及污染物監測數據，建立中部地區之大氣環境資料庫，另以模式模擬，輔助分析台灣中部地區污染物與氣象因子之關係。

3.1 繫留探空儀 (Tethersonde)

本研究選擇不同季節釋放繫留探空設備於離地表 1000 公尺的高空，執行釋放繫留探空監測必須連續 3 天以上，進行監測時，每 3 小時釋放一回。繫留探空設備於不同高程收集氣象數據並採集氣狀污染物，將有利於瞭解當地大氣垂直結構及污染物垂直分佈之情形，其監測項目包含氣象資料(風向、風速、氣溫、相對溼度、氣壓等)以及空氣污染物濃度(O₃、NO_x、NMHC、SO₂、CO 等)垂直剖面變化，繫留探空監測設備包括：繫留氣球、繫留探空儀、強化抗拉力線、氣體採樣幫浦、氣體採樣袋、絞盤、氣象分析電腦、空氣污染物分析儀，儀器設備及裝置如圖 2。目前已有多位專家學者以繫留探空監測的方式，深入探討大氣垂直結構與空氣污染物濃度分布之相互關係。本研究團隊於國內成功釋放繫留探空已有多多年之經驗，而採樣流程細分如下：

1. 於中部空品區中選定具代表性之監測地點。
2. 在不同之高程進行氣體抽氣採樣，將樣品帶至地面並以空氣品質分析儀量測氣體採樣帶中各污染物濃度。
3. 隨繫留氣球上升之同時，繫留探空儀將紀錄各高層之氣溫、相對溼度、風向、風速、高度、氣壓等氣象數據，並於地面目測當時之雲量、降雨、雲狀、能見度等之氣象條件並加以記錄。

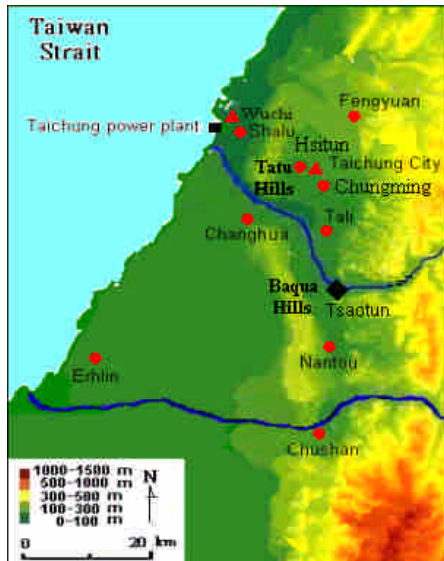


圖 1. 中部地區環保署空品測站及氣象監測站位置

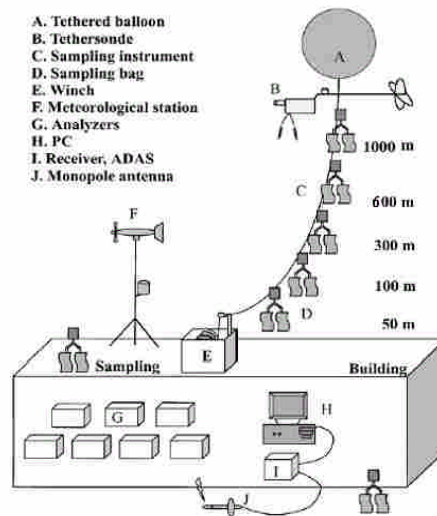


圖 2. 繫留探空架構圖

3.2 地面氣象場與污染物資料庫之建立

收集彙整環保署於中部地區之空氣品質監測站及中部氣象局測站之氣象及污染物監測資料(表 1.)，建立中部地區區域氣象及污染物網格資料庫，另外，本研究團隊加入三個自設測站(新社、四箴及雙冬)及繫留探空監測點，利用上述各測站之資料進行污染物整體改變趨勢之分析，用以評估目前中部空品區狀況。

表 1. 中部地區氣象及污染物監測站資料來源

Department	Monitoring station
EPA (Taiwan)	Fengyuan, Shalu, Tali, Chungming, Hsitun, Chunghua, Hsenhsi, Erhlin, Nantou, Chushan
Central Weather Bureau	Taichung, Wuchi

3.3 混合層高度(Mixing Height)之估算

混合層頂高度可由大氣垂直溫度之結構加以判斷，於一般大氣環境中，溫度會隨高度遞減，若當垂直溫度呈明顯隨高度增加(逆溫現象)時，此時之高度為大氣垂直擴散之頂點，即混合層頂之高度。當混合層高度降低時，此大氣處於靜力穩定狀態，將不利於近地面層之污染物擴散與稀釋。本研究利用台中市西屯空氣品質監測站之氣溫垂直剖面監測儀器之觀測資料，以 Holzworth 估算法求取中部空品區之混合層高度：

1. 氣溫垂直剖面監測儀(Meteorological Temperature Profiler)： MTP5-HE 之原理即透過分子氧吸收光譜中心熱輻射之技術來量測大氣環境之溫度垂直剖面，此技術亦可視為微波遠端遙測。氣溫垂直剖面監測儀主要之長處在於儀器操作範圍廣泛(於起霧、下雪和雨天天候等狀況下亦可進行)，且無輻射洩漏之虞並具備自動校正，當儀器連續操作時，操作成本較低。MTP5-HE 可用來測量地表至高空 1000 公尺溫度剖面的遙測儀器，其規格如表 2。此儀器常應用在大氣傳輸與穩定度之測定研究上，以增進對逆溫層現象的瞭解，因此對於空氣污染程度之診斷分析有相當大的幫助。

2. Holzworth Method (Holzworth, 1967)：利用垂直溫度剖面變化估算，其定義為以地表之乾絕熱線與中性層之垂直溫度變化線的交點之高度，即混合層高度，亦可稱為乾絕熱法。

表 2. MTP5-HE 之規格

Specifications	
Altitude range	0 – 1000 m
Altitude resolution	0~100 m/50 m, 100~400 m/ 70 m, 400~600 m/ 80 m, 600~1000 m/ 120 m
Measurement cycle	600 sec (minimum)
Accuracy for adiabatic Accuracy for inversion	0~500 m / ± 0.3 °C, 500~1000 m/ ± 0.4 °C 0~500 m / ± 0.8 °C, 500~1000 m/ ± 1.2 °C
Central measurement frequency	56.7 GHz
Receiver sensitivity	0.1 °C (1 second integration time)
Number of measurement angle	30 (varying interval from 0-90°)
Power requirement	200 VAC or 110 VAC 50-60 Hz
Power consumption	200 W (max) 60 W (nominal)
Ambient temperature range With insulating jacket option	-20 °C to + 50 °C -40 °C
Operating conditions	Rotating cover self-cleans deposition
Calibration	Self-calibrating relative to ambient air temperature sensor (included) and internal radiometer reference load
Dimensions (normal) MTP 5, excluding power supply	25 cm (diameter) 60 cm (length) 20 kg (weight)
Typical motor operating life-time	In excess of 3 years (10 min. scans)

3.4 空氣污染模式(The Air Pollution Model, TAPM)

本研究所使用之研究工具為澳洲聯邦科學與工業研究發展組織(Commonwealth

Scientific and Industrial Research Organisation, CSIRO)所屬之大氣研究部門研發之空氣污染模式，其設計於可用於一般個人電腦平台並結合了氣象及空氣污染物擴散傳輸模擬之三維巢狀網格式，藉由使用者圖形化介面進行模擬設定，適用於 Windows 98/ME/NT4/2000/XP 等作業系統，並輸入模式所需之資料，如綜觀氣象場、污染物排放量、背景濃度資料及土地利用資料，便可簡單及快速完成模式驅動。TAPM 模式主要可分為兩大模組：一為氣象模組，TAPM 為一不可壓縮、選擇性非靜力或靜力狀態、具追隨地勢垂直座標之三維氣象模擬組，同時，可選擇參數化條件，如雲雨之微物理過程、亂流關閉、都市之植被覆蓋、土壤型態及輻射通量，其模擬範圍包括風速、風向、溫度、壓力、降雨、混合層高度及亂流等氣象因子。另一為污染物模組，TAPM 使用尤拉網格式(Eulerian Grid Module, EGM) 建立空氣污染物濃度預測方程式，並且可選擇污染物關係方程式加以說明反梯度通量，加入拉格朗日粒狀物模組(Lagrangian Particle Module, LPM)於污染物模組中，推算近污染源濃度，TAPM 模式中不但具有軌跡模組計算之功能，在化學模組裡，可針對 PM、NO、NO₂、O₃ 及 SO₂ 等主要污染物物種進行半經驗光化機制或沉降機制之模擬，包括乾、濕沉降過程，於點源部份，亦可將煙流浮力及動能影響加入考慮(Hurley, 2002)。

TAPM 模式於氣象模組所使用之基本參數分別為地勢高度、植被、土壤型態、海表面溫度以及綜觀氣象場資料等。地形高度資料以及植被與土壤型態資料採用美國地質觀測站(US Geological Survey, USGS)之地球資源觀測系統(Earth Resources Observation Systems, EROS)的主動分散式檔案中心(Distributed Active Archive Center, DAAC)資料，其經緯度間隔為30秒(約為1公里)；海平面溫度資料則採用美國國家大氣研究中心(US National Center for Atmospheric Research, NCAR)所提供之全球月平均海面溫度資料，其經緯度間隔約為1度(約為100km)；而綜觀氣象場觀測資料則由CSIRO 模式氣象資料庫所提供，其為全球分析與預報系統(Global Analysis and Prediction, GASP)資料，數據資料為每6小時一筆，經緯度間隔為0.75-1.00度(約為75公里至100公里)。污染物模組所需之污染源排放資料則採用中鼎顧問公司所建立以2000年為基準之台灣空氣污染物排放數據資料庫5.1版(Taiwan Emission Data System, TEDS-5.1)，排放源分為點源、線源及面源，空間解析度為1公里×1公里，污染物物種包含SO_x、NO_x、TSP、THC、PM₁₀、CO 等。

3.5 中尺度氣象模式 (Fifth-generation the Pennsylvania State University/NCAR Mesoscale model, MM5)

於氣象場之模擬，選取近年來國內外皆普遍使用且發展成熟之第五代中尺度數值模式第三版，此模式為美國賓州州立大學(the Pennsylvania State University)與國家大氣科學研究中心(NCAR)所共同發展之三維靜力/非靜力多重巢狀網格式氣象模式；在此所使用的版本為 version 3.6。

本研究所使用之綜觀氣象分析資料為歐洲中程天氣預報中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)所提供，其解析度為 2.5 度×2.5 度；海平面溫度資料則由美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)所提供。

3.6 台灣空氣品質模式(Taiwan Air Quality Model, TAQM)

台灣空氣品質模式乃針對東南亞地區之空氣品質及乾沉降現象評估所發展之模

式，環保署於 1993 年提供協助，支持由台大環工所引進美國環保署「酸沉降評估計劃」(National Acid Precipitation Assessment Program, NAPAR)所發展之「區域酸沉降模式」(Regional Acid Deposition Model, RADM)系統，並加以修改使其適用於台灣地區；而第二代「台灣空氣品質模式」遵循第一代模式之精神，並參考美國 SARMAP Air Quality Model (SAQM)裡更先進之數值方法而修正原有之模式，並加入台灣本土之排放資料、光化反應常數及天氣條件等而發展而成的三維猶拉式網格模式(劉遵賢等，2002)。

第四章 結果與討論

本文選取不同季節之繫留探空監測、中部地區氣象及污染物監測與模式模擬結果進行比較，並探討於產生高臭氧濃度事件之季節性大氣結構。本研究選取監測與模擬案例為 2003 年 4 月 18 日至 21 日春季期間及 10 月 9 日至 14 日秋季期間，模式之解析度設定如表 3。

表 3. 各模式之網格解析度、水平網格數及垂直層數

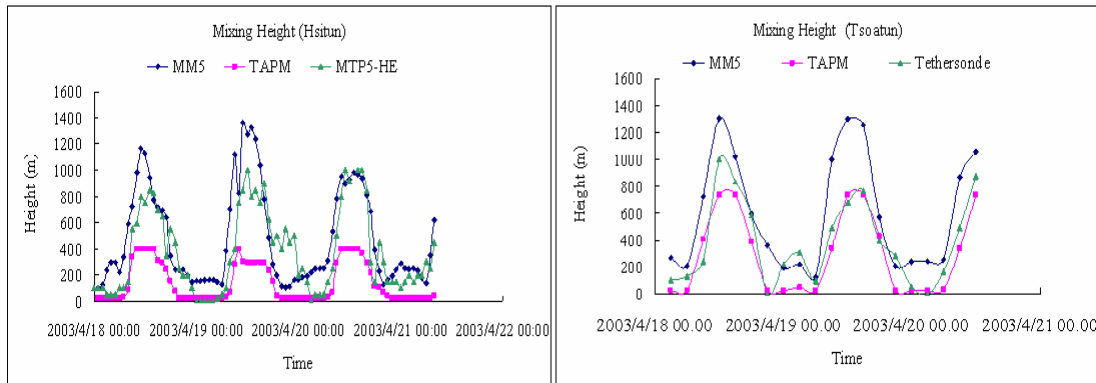
MODEL	NEST	RESOLUTION(km)	NX*NY	NZ
TAPM	D1	10	80*80	25
	D2	3	80*80	
	D3	1	80*80	
MM5	D1	81	91*73	24
	D2	27	91*91	
	D3	9	79*100	
	D4	3	49*55	
TAQM	D1	81	85*67	15
	D2	27	85*85	
	D3	9	73*94	
	D4	3	43*49	

4.1 混合層之監測與模擬分析

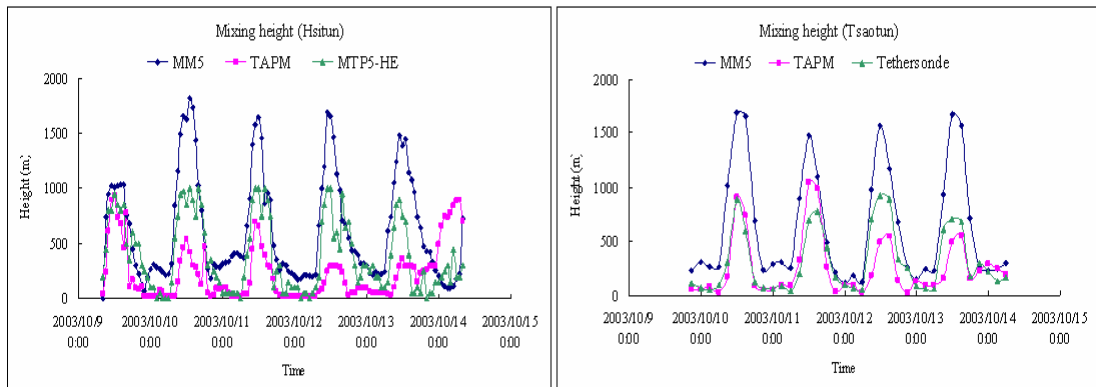
白天地表面因受到太陽輻射加熱下，產生旺盛之垂直熱力對流，其所達到高度即為混合層高度，並也是地面污染物於垂直方向擴散之頂點。由於中部地區地形複雜，邊界層發展會受到地表植被與氣象條件之影響而有所變化(張能復與胡人傑，1998)。本研究將繫留探空儀所監測之垂直氣象數據及逆溫儀監測，利用 Holzworth 法推估混合層高度，並與模式計算結果進行比較。

透過本計劃針對 2003 年春季與秋季於中部草屯地區釋放繫留探空儀及西屯測站逆溫儀之監測結果與 MM5 及 TAPM 模式結果進行比對(圖 3)；於春季案例之 4 月 18

日中午，草屯站混合層高度比西屯站略高數十公尺，MM5 及 TAPM 模擬結果也呈現相同的情形，但 MM5 所呈現的高度比觀測結果高估 200 公尺，TAPM 則低估 200 公尺。4 月 19 日中午，西屯站之混合層發展高度達 1000 公尺，草屯站之混合層最高高度為 600 公尺，MM5 模擬結果仍高估，TAPM 則低估，但在內陸地區，TAPM 呈現較佳的結果。4 月 20 日中午之混合層高度可達 1000 公尺，MM5 所呈現之趨勢幾乎與觀測值相同。於秋季之 10 月 9 日中午，西屯站混合層高度約為 1000 公尺，MM5 及 TAPM 也皆掌握與觀測值相同之結果。



(a) 春季



(b) 秋季

圖 3. 混合層之觀測與模擬於(a)春季與(b)秋季兩季之比較

10 月 10 日，西屯站及草屯站混合層發展高度皆可達約 1000 公尺，MM5 模擬結果高估約 600 公尺，最高達約 1700 公尺，但 TAPM 與觀測值呈現相同的日夜變化趨勢。於 10 月 12 日開始，西屯站及草屯站之 TAPM 的模擬混合層最高高度分別約為 400 公尺及 500 公尺，但沿西屯之 MM5 模擬混合層最高高度比草屯站略高約 100 公尺。整體上，混合層之 MM5 模擬結果呈現明顯的高估，而 TAPM 則低估，其主要原因可判斷為模式之解析度之不同所致。

4.2 水平氣象場之監測與模擬比對

在此選定 2003 年 4 月 18 至 21 日以及 10 月 9 日至 14 日分別為春季與秋季之模擬案例，將 TAPM 之網格設定推算出中部地區氣象站與空氣品質監測站之位置，輸出 10 個測站逐時模擬值，並與測站觀測值及 MM5 進行比對分析。

為了驗證模式模擬結果之可信度，本研究將氣象觀測值與模式模擬值進行一致性指數 IOA (Index of agreement) 之評估，其公式如下，IOA 定義方式使其數值介於 0 與 1 間，若 IOA 為 1 時，則呈現完美之一致性；若 IOA 為 0 時，則呈現完全不一致性。

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O_{mean}| + |O_i - O_{mean}|)^2}$$

，其中 P_i 為模擬值， O_i 為觀測值， O_{mean} 則為觀測值之平均值， n 為觀測值與模擬值之總時數 (Willmott et al., 1985; Hurley et al., 2002)。

(1) 春季

於風速方面如圖 4，4 月 18 至 19 日各測站之最大風速約為 4 m/s 以下，但 MM5 與 TAPM 所呈現之最大風速則為 4~6 m/s。20 日，梧棲站與西屯站之最大風速可達 6 m/s，其他測站之最大風速則為 5 m/s 以下，MM5 與 TAPM 模擬結果與觀測有相同之變化，最大風速為 6 m/s，如表 4，模式於各測站之平均風速皆略大於觀測值，MM5 之相關係數為 0.55~0.82，IOA 值介於 0.58~0.85，而 TAPM 之相關係數為 0.66~0.82，IOA 值介於 0.47~0.80。

於溫度部份如圖 5，4 月 18、19 日，沿海地區如梧棲、沙鹿、二林及豐原站之最高溫度約為 27 度以下，而內陸地區因都市及人口集中影響下，最高溫度約可達 30 度，同時，日夜溫差大，南投及竹山地區日夜溫差可達 8 度，20 日各地溫度皆上升，最高溫度可達 33 度左右。MM5 則可以有效掌握最低溫度，但最高溫度仍低於觀測值；TAPM 則與觀測值有相同之變化趨勢，並且可以掌握大致之最高溫度，但仍有些站呈現高估之情形。如表 5，MM5 模擬各測站溫度之相關係數為 0.69~0.93，IOA 值介於 0.54~0.88；TAPM 之相關係數為 0.62~0.94，其 IOA 值介於 0.76~0.95。

(2) 秋季

於風速方面如圖 6，10 月 10 日，除了梧棲測站之最大風速可達約 10 m/s，其他測站則為 5 m/s 以下，但 MM5 與 TAPM 於沙鹿及梧棲站呈現之最大風速約 8 m/s。11 日至 14 日，各測站之最大風速介於 2 m/s~8 m/s，MM5 與 TAPM 模擬結果皆可有效掌握觀測值之變化趨勢，尤其是 TAPM。如表 6，模式於各測站之平均風速皆略大於觀測值，MM5 之相關係數為 0.44~0.66，IOA 值介於 0.58~0.77，而 TAPM 之相關係數為 0.36~0.79，IOA 值介於 0.31~0.80。

於溫度部份如圖 7，梧棲、沙鹿、忠明及豐原站之最高溫度約為 31 度以下，而其他測站之最高溫度約可達 32~34 度間，大里、南投及竹山地區日夜溫差最大可達 10 度左右。MM5 於秋季之模擬結果顯示，其可以有效掌握最高溫度及最低溫度之變化趨勢；TAPM 亦能顯示出內陸地區日夜溫差變化大之特性，但於 10 月 12 日至 13 日，日夜變化不明顯，最高溫度呈現明顯之低估情形。如表 7，MM5 模擬各測站溫度之相關係數為 0.81~0.94，IOA 值介於 0.80~0.94；TAPM 之相關係數為 0.71~0.86，其 IOA 值介於 0.67~0.91。

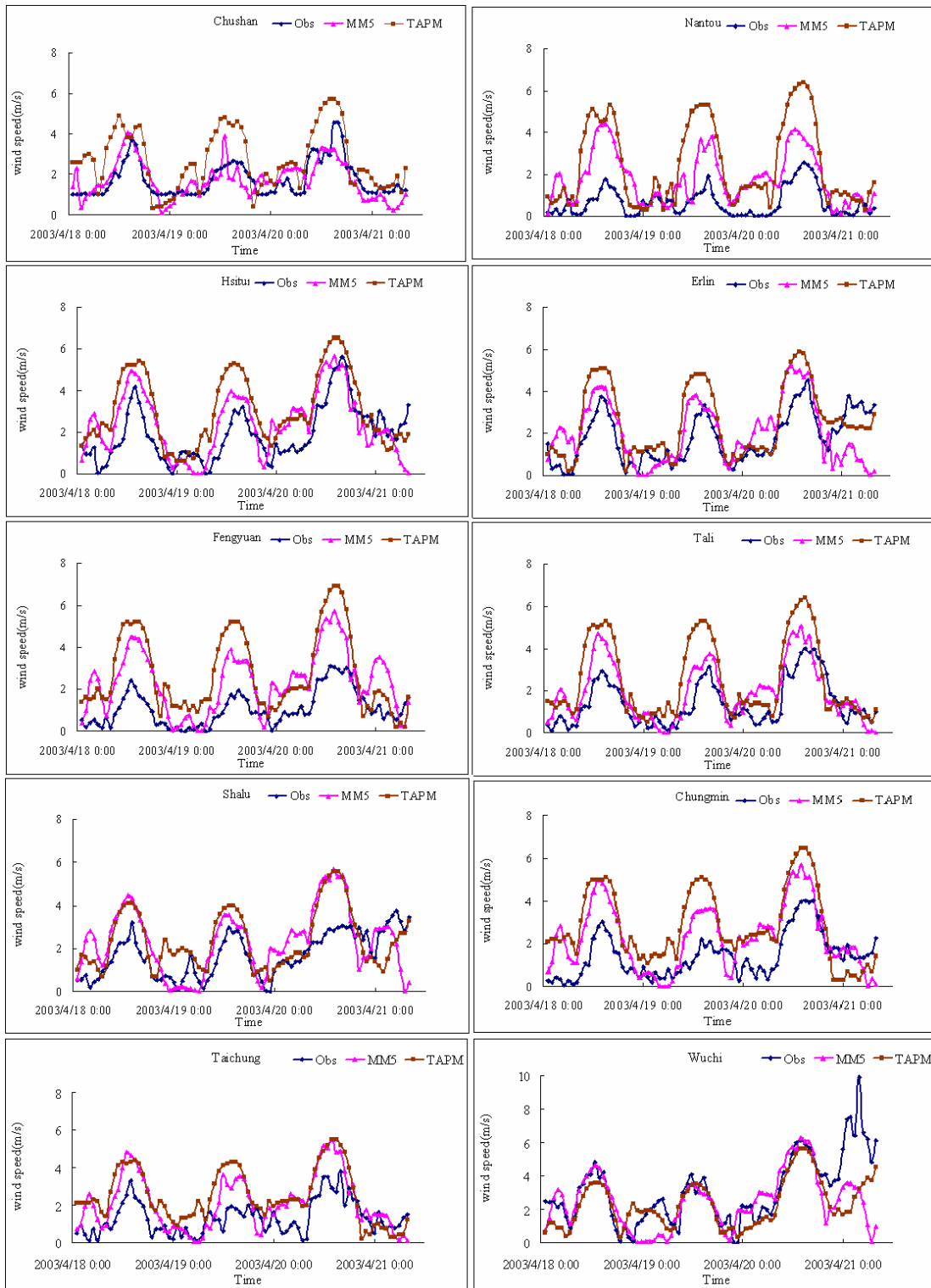


圖 4. 2003 年 4 月 18 日至 21 日之中部地區氣象站及空氣品質監測站與模式模擬之風速時間序列

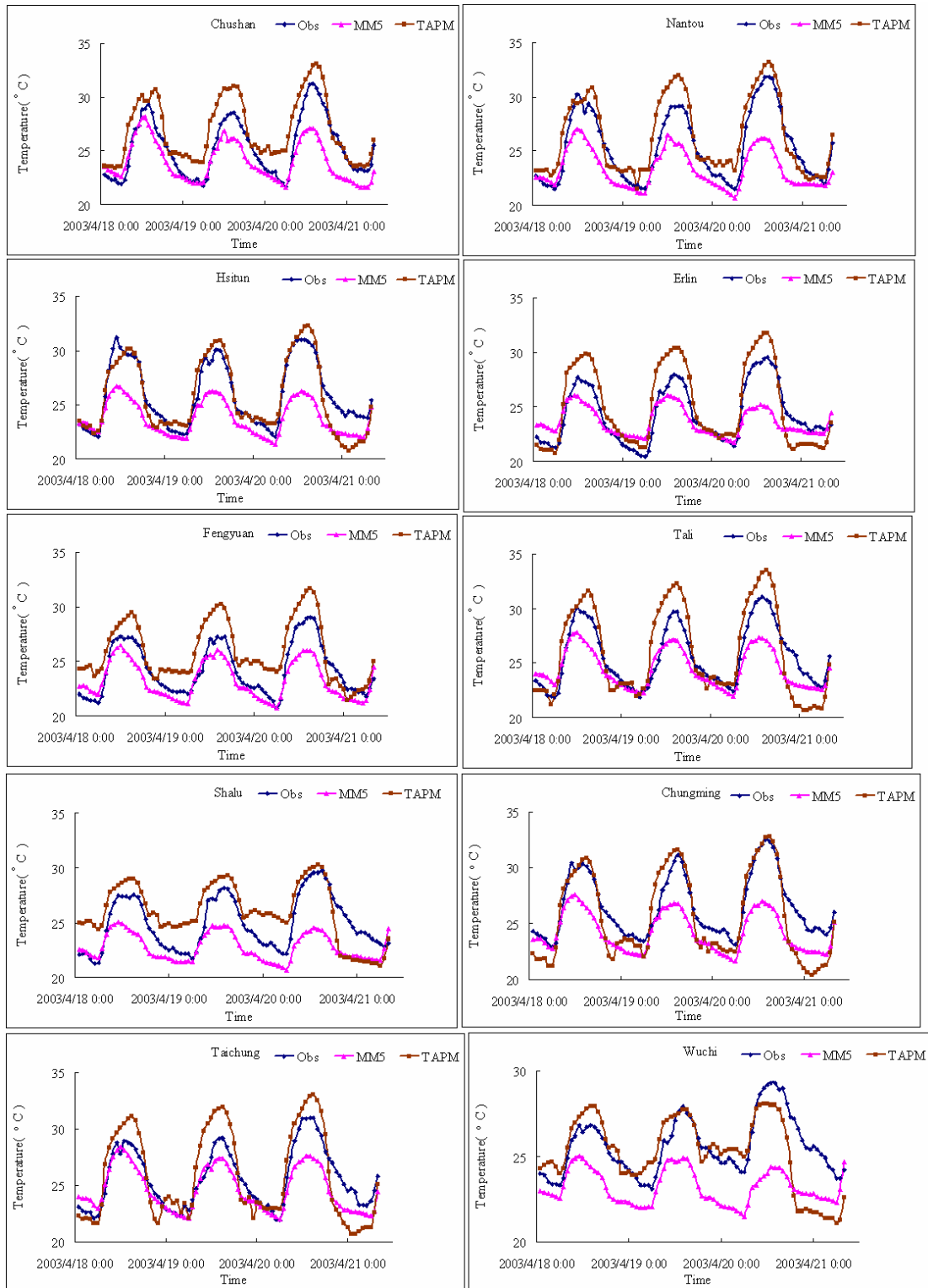


圖 5. 2003 年 4 月 18 日至 21 日之中部地區氣象站及空氣品質監測站與模式模擬之溫度時間序列

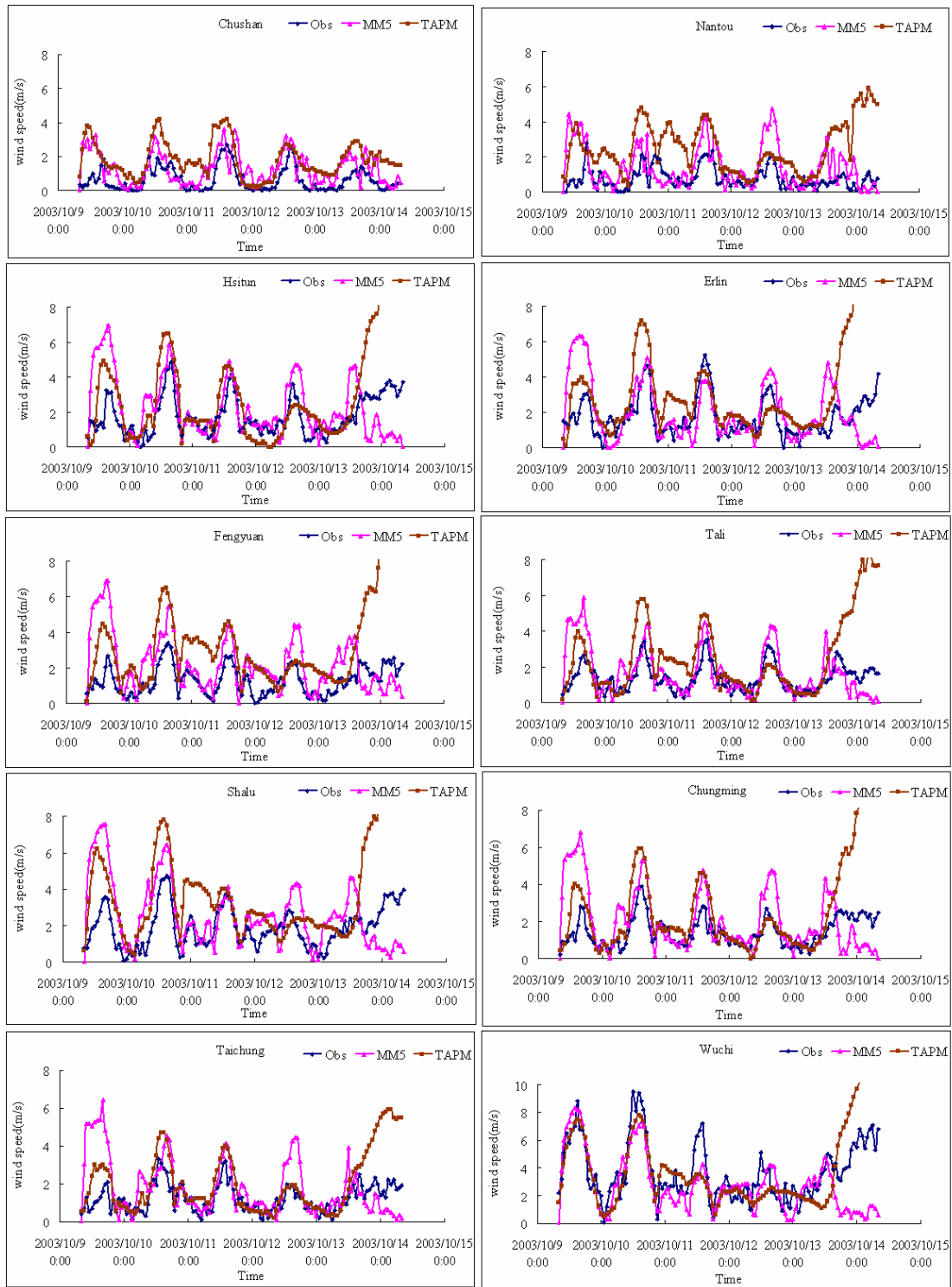


圖 6. 2003 年 10 月 9 日至 14 日之中部地區氣象站及空氣品質監測站與模式模擬之風速時間序列

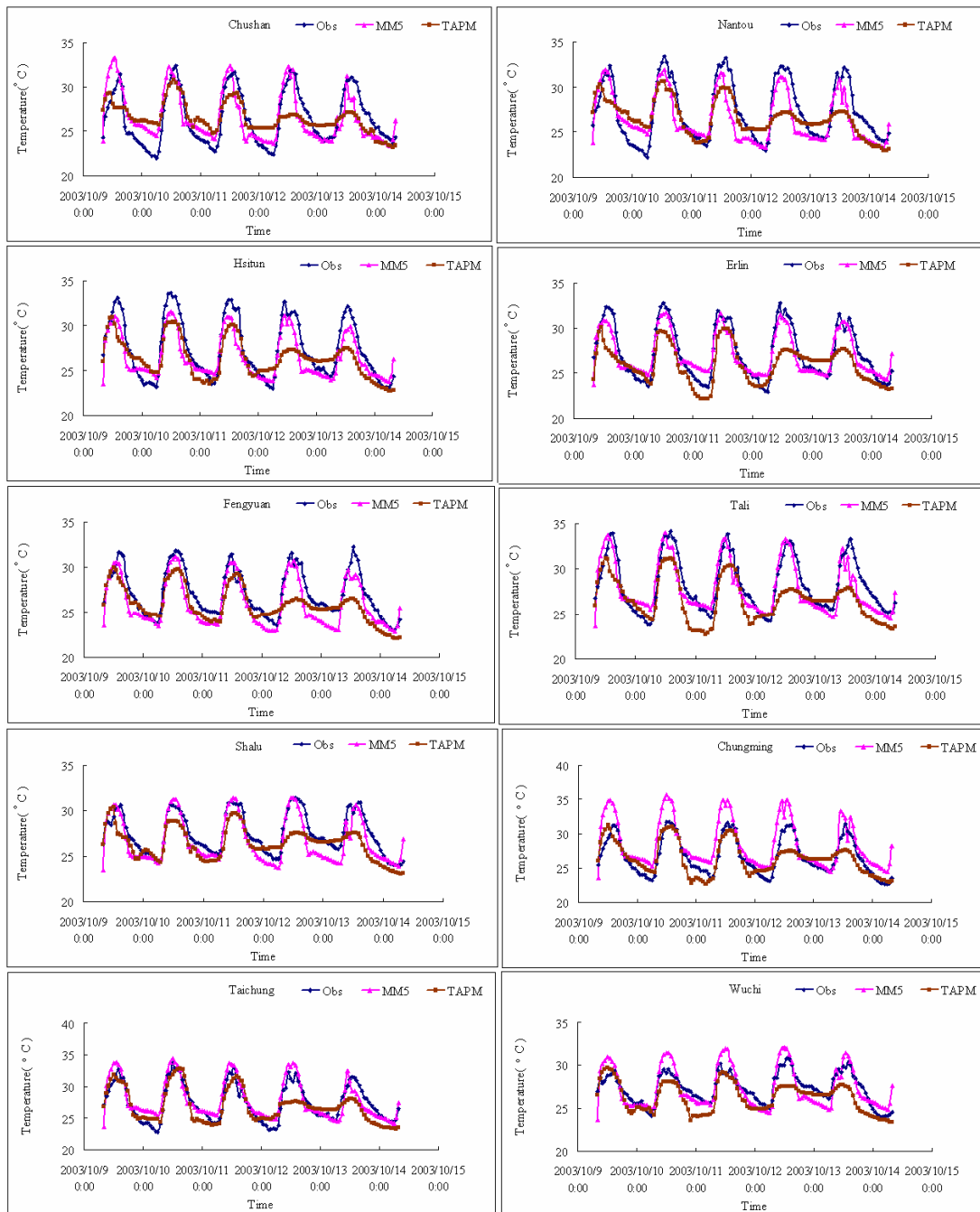


圖 7. 2003 年 10 月 9 日至 14 日之中部地區氣象站及空氣品質監測站與模式模擬之溫度時間序列

表 4. 春季中部氣象站及空品監測站與模式模擬之風速統計分析

Stations\	AVG_ OBS	AVG_ m1	AVG_ m2	STD_ OBS	STD_ m1	STD_ m2	CORR_ m1	CORR_ m2	IOA_ m1	IOA_ m2
Shalu	1.71	2.35	2.39	1.02	1.50	1.35	0.58	0.66	0.69	0.72
Erlin	1.77	2.07	2.55	1.20	1.46	1.67	0.55	0.80	0.74	0.80
Fengyuan	1.08	2.35	2.76	0.83	1.46	1.87	0.80	0.82	0.64	0.56
Hsitun	1.91	2.42	3.06	1.31	1.52	1.70	0.70	0.76	0.81	0.75
Tali	1.41	1.96	2.54	1.08	1.37	1.84	0.82	0.82	0.85	0.73
Nantou	0.64	1.82	2.47	0.67	1.22	1.97	0.70	0.81	0.58	0.47
Chushan	1.76	1.74	1.75	0.89	0.92	2.04	0.68	0.79	0.82	0.72
Chungming	1.44	2.30	2.84	1.03	1.51	1.70	0.71	0.67	0.74	0.63
Taichung	1.32	2.11	2.49	0.89	1.43	1.41	0.73	0.69	0.73	0.64
Wuchi	3.09	2.48	2.29	2.00	1.63	1.39	0.58	0.70	0.73	0.77

OBS= observation, m1=MM5, m2=TAPM, AVG= Average, STD= Standard bias, CORR= Correlation Coefficient, IOA = Index of agreement

表 5. 春季中部氣象站及空品監測站與模式模擬之溫度統計分析

Stations\	AVG_ OBS	AVG_ m1	AVG_ m2	STD_ OBS	STD_ m1	STD_ m2	CORR_ m1	CORR_ m2	IOA_ m1	IOA_ m2
Shalu	24.91	22.77	25.98	2.42	1.24	2.57	0.81	0.70	0.65	0.80
Erlin	24.33	23.65	25.10	2.62	1.28	3.67	0.82	0.93	0.77	0.92
Fengyuan	24.24	23.24	25.92	2.34	1.70	2.74	0.90	0.89	0.87	0.84
Hsitun	25.93	23.76	25.76	2.96	1.59	3.42	0.93	0.92	0.73	0.95
Tali	25.59	24.49	26.04	2.80	1.78	4.12	0.91	0.90	0.85	0.91
Nantou	25.35	23.35	26.36	3.15	1.78	3.48	0.90	0.94	0.88	0.95
Chushan	25.26	23.98	26.94	2.69	1.87	2.94	0.87	0.92	0.84	0.88
Chungming	26.53	24.22	25.67	2.77	1.77	3.91	0.90	0.92	0.72	0.91
Taichung	25.60	24.63	25.91	2.61	1.93	3.96	0.90	0.90	0.88	0.90
Wuchi	25.58	23.20	25.23	1.67	0.99	2.06	0.69	0.62	0.54	0.76

OBS= observation, m1=MM5, m2=TAPM, AVG= Average, STD= Standard bias, CORR= Correlation Coefficient, IOA = Index of agreement

表 6. 秋季中部氣象站及空品監測站與模式模擬之風速統計分析

Stations\	AVG_ OBS	AVG_ m1	AVG_ m2	STD_ OBS	STD_ m1	STD_ m2	CORR_ m1	CORR_ m2	IOA_ m1	IOA_ m2
Shalu	1.90	2.27	3.80	1.12	1.45	2.80	0.44	0.68	0.66	0.53
Erlin	1.80	1.74	3.28	1.15	1.36	2.66	0.52	0.54	0.73	0.50
Fengyuan	1.32	2.02	3.33	0.81	1.23	2.33	0.50	0.64	0.61	0.42
Hsitun	1.81	1.97	2.97	1.14	1.41	2.92	0.40	0.79	0.66	0.64
Tali	1.38	1.54	2.62	0.78	1.14	2.17	0.66	0.56	0.77	0.45
Nantou	0.80	1.36	2.55	0.58	1.13	1.46	0.52	0.36	0.58	0.31
Chushan	0.66	1.23	1.77	0.71	0.91	1.04	0.66	0.77	0.71	0.63
Chungming	1.49	1.79	2.66	0.80	1.35	2.43	0.48	0.75	0.64	0.54
Taichung	1.26	1.54	2.47	0.75	1.17	2.14	0.51	0.70	0.66	0.51
Wuchi	3.57	2.43	3.85	2.04	1.65	2.84	0.48	0.71	0.67	0.80

OBS= observation, m1=MM5, m2=TAPM, AVG= Average, STD= Standard bias, CORR= Correlation Coefficient, IOA = Index of agreement

表 7. 秋季中部氣象站及空品監測站與模式模擬之溫度統計分析

Stations\	AVS_ OBS	AVG_ m1	AVG_ m2	STD_ OBS	STD_ m1	STD_ m2	CORR_ m1	CORR_ m2	IOA_ m1	IOA_ m2
Shalu	27.39	26.60	26.22	2.29	2.44	1.65	0.92	0.84	0.93	0.82
Erlin	27.12	27.02	25.81	2.96	2.30	2.08	0.94	0.85	0.80	0.67
Fengyuan	26.93	25.80	25.56	2.59	2.59	1.87	0.93	0.82	0.92	0.81
Hsitun	27.20	26.39	26.06	3.30	2.34	2.03	0.94	0.86	0.92	0.83
Tali	28.11	27.70	26.25	2.99	2.71	2.28	0.88	0.83	0.93	0.79
Nantou	27.23	26.26	26.28	3.28	2.55	1.89	0.85	0.79	0.88	0.79
Chushan	26.47	26.31	26.35	3.04	2.63	1.63	0.81	0.71	0.89	0.75
Chungming	26.52	28.32	26.07	2.77	3.33	2.27	0.90	0.86	0.86	0.91
Taichung	27.24	27.70	26.15	2.93	2.94	2.35	0.90	0.81	0.94	0.85
Wuchi	27.25	27.33	26.17	1.81	2.38	1.68	0.88	0.82	0.92	0.82

OBS= observation, m1=MM5, m2=TAPM, AVG= Average, STD= Standard bias, CORR= Correlation Coefficient, IOA = Index of agreement

4.3 垂直氣象場之監測與模擬比對

本文利用 Tethersonde 於台灣中部內陸地區進行春季及秋季之繫留探空監測，並且選擇發生污染物濃度較高時之氣象場，與 TAPM 模擬結果進行比較，如圖 8、9 所示。

(1) 春季

4 月 19 日 0900LST，由 Tethersonde 監測結果顯示，風速隨高度遞增，至約 600 公尺處，風速達最大值約 4 m/s，600 公尺以上則隨高度增加而減少，而 TAPM 於地面 10 公尺風速約 2.5 m/s，並且隨高度增加而遞增，至約 300 公尺處，其最大風速約 3.2 m/s，於 400 公尺起則風速隨高度增加而遞減。實際風向則於近地面至 300 公尺為西北風，300 公尺以上為西風，TAPM 模擬結果則為 700 公尺以下呈現西北風，700 公尺以上則轉為西風。於垂直溫度變化，地面實際溫度為 25°C，並隨高度增加而遞減，TAPM 亦有相同之趨勢變化，但其溫度則略高實際溫度 1°C。

於 2100LST，實際地面風速為 1 m/s，隨高度增加至 250 公尺處，最大風速約為 3.5 m/s，於 250 公尺以上，風速隨高度增加而減少，TAPM 於近地面之風速約為 1 m/s，風速隨高度增加而遞增，至約 250 公尺處之最大風速為 2.2 m/s，250 公尺以上，風速隨高度增加而遞減，至 700 公尺，風速遞減為 1 m/s。實際風向於近地面呈現東北風，自約 50 至 400 公尺處，呈現西北風，400 公尺以上，隨高度增加而順時鐘旋轉呈現

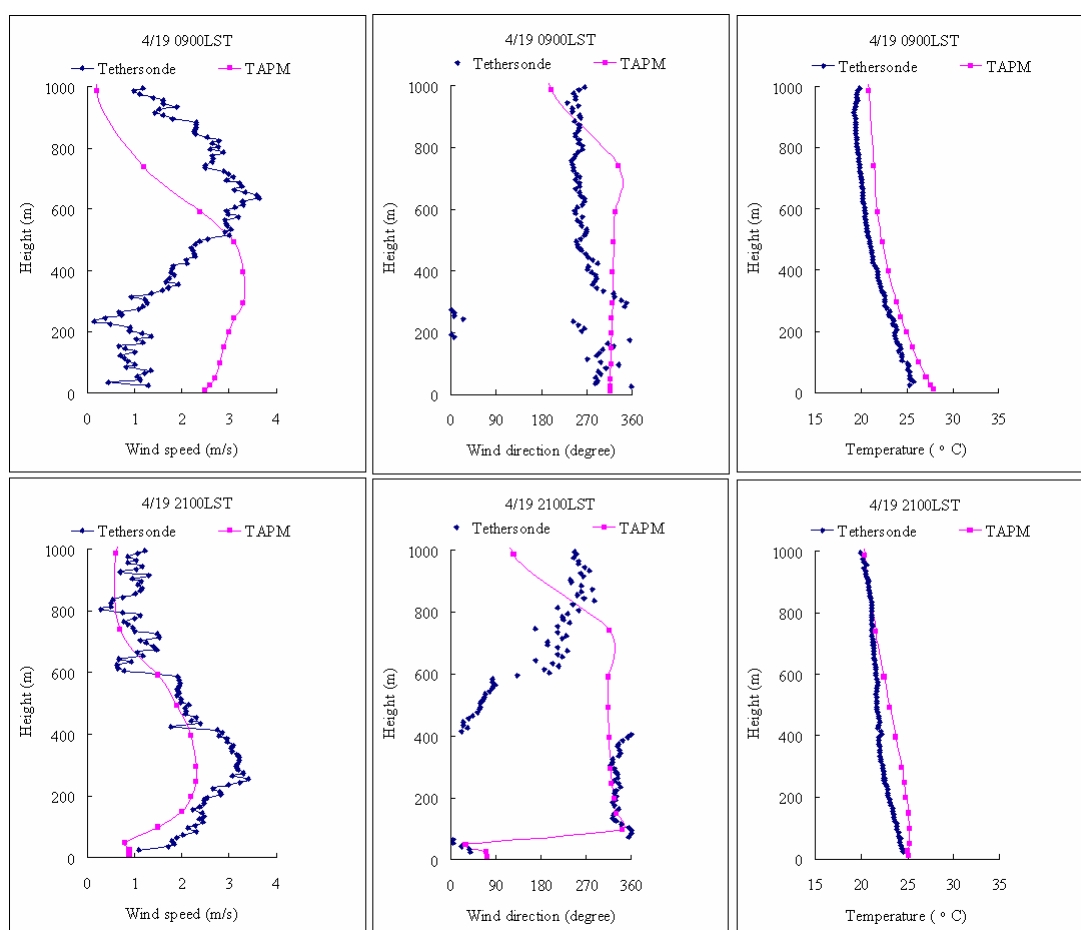


圖 8. 2003 年 4 月 19 日 0900LST 及 2100LST 之繫留探空監測與模式模擬

西風，TAPM 之風向於近地面為東北風，於 50 公尺至 700 公尺處，轉為西北風，700 公尺以上，隨高度增加而轉呈東風。垂直溫度變化上，近地面實際溫度為 25°C，隨高度增加而遞減，但於約 300 公尺至 800 公尺處，溫度遞減之變化相當小，於 1000 公尺處之溫度約為 21°C 左右，TAPM 於近地面溫度亦為 25°C，自地面至約 300 公尺

處，溫度變化小，自 400 公尺，溫度隨高度增加而遞減，至 1000 公尺處之溫度同樣為 21°C。

(2) 秋季

於 10 月 10 日 0900LST，實際風速由近地面 2 m/s 隨高度至 150 公尺處遞減為約 0.5 m/s，並且自 150 公尺隨高度增加而增加，至 400 公尺處，最大風速達約 4.5 m/s，於 400 公尺以上，風速隨高度增加而逐漸遞減，TAPM 之近地面風速約 2 m/s，風速隨高度增加而遞減，但其變化小，1000 公尺處仍為約 2 m/s。實際風向則於 100 公尺下呈現東風，100 公尺以上則轉為東北風，TAPM 則自近地面至 700 公尺處呈現西北風，700 公尺以上偏轉成北風。垂直溫度變化之部分，近地面實際溫度約為 27°C，溫度隨高度增加而遞減，但於 300 至 400 公尺之高度，溫度略為增加，呈現微弱之逆溫現象，自 400 公尺起，溫度又開始隨高度增加而降低，TAPM 之近地面溫度約為 29°C，TAPM 之溫度隨高度之遞減率大於實際觀測之溫度遞減率。

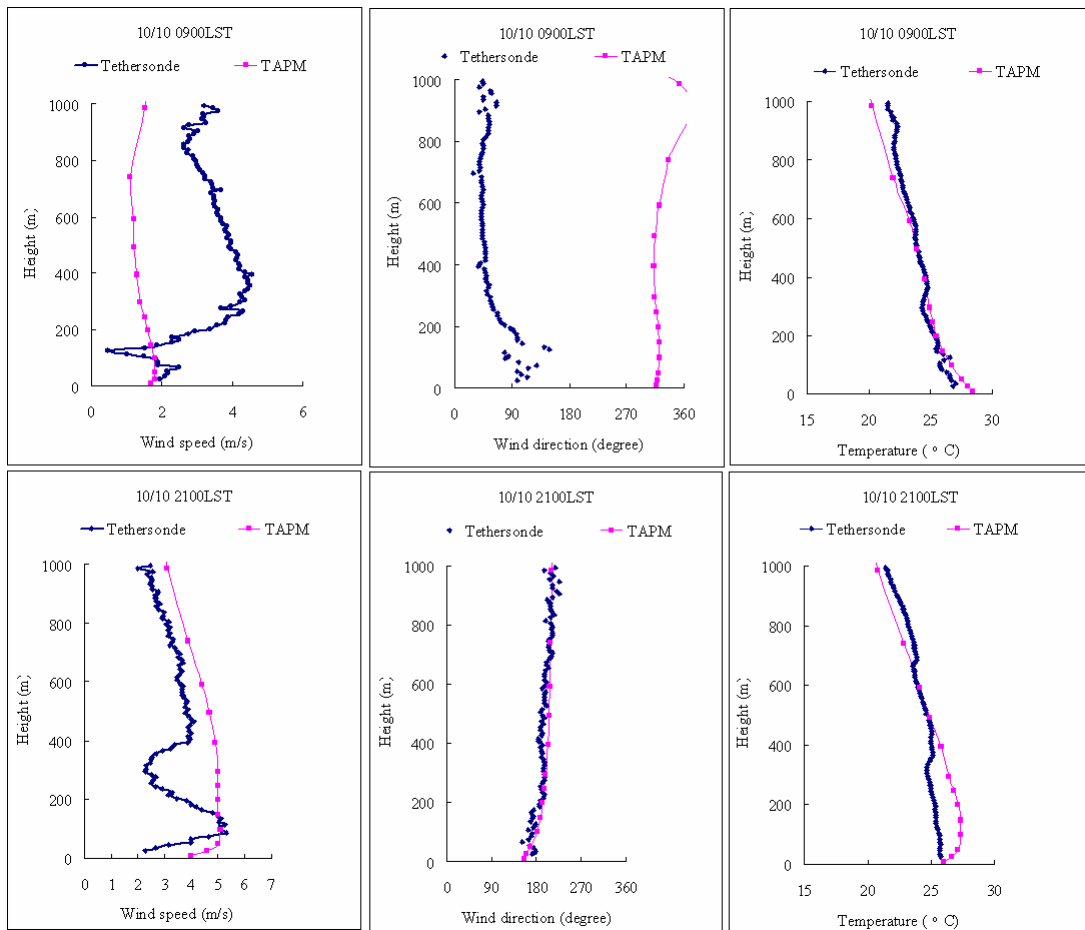


圖 9. 2003 年 10 月 10 日 0900LST 及 2100LST 之繫留探空監測與模式模擬

於 2100LST，近地面之實際風速約為 2 m/s，隨高度增加至 100 公尺處時，最大風速約達 5 m/s，自 100 公尺，風速隨高度增加而減小，至 1000 公尺處，風速約為 2 m/s，TAPM 之模擬風速於近地面約為 4 m/s，於約 50 至 300 公尺處，出現最大風速 5 m/s，300 公尺以上，風速隨高度減小，於 1000 公尺時，風速約為 2.5 m/s。近地面之實際風向由南風隨高度增加轉呈略偏西南風，TAPM 之模擬風向與實際觀測結果幾乎

雷同。垂直溫度變化方面，近地面溫度約為 26°C，溫度隨高度增加而遞減，但在 350 至 400 公尺及 700 至 725 公尺之高度，皆呈現逆溫現象，於 1000 公尺之溫度約為 23°C，TAPM 之垂直溫度模擬結果顯示，地面溫度約為 26°C，自近地面至約 150 公尺處，呈現逆溫現象，自 150 公尺以上，溫度持續隨高度增加而降低，至 1000 公尺之溫度約為 22°C。

4.4 臭氧之監測與模擬

經 TAQM 及 TAPM 進行中部地區春季與秋季之臭氧濃度模擬與各測站監測結果比對。於 2003 年 4 月 18、19 日中午，大里、南投及竹山地區之最大臭氧濃度監測值可達 100 ppb 以上，如圖 10 示，其他地區之最大臭氧濃度值約在 80 ppb 以下，臭氧濃度向內陸地區而增加之趨勢，並且呈現白天濃度高，夜間濃度低之日夜變化趨勢，20 日，各地區之最大臭氧濃度值趨於緩和，其中唯有竹山最高約達 90 ppb，其他地區則約在 60 ppb 以下。於 TAQM 模擬結果顯示，各測站之最大臭氧濃度值皆在 60 ppb 以下，竹山站於 18、19 日之模擬結果如同監測結果，呈現最為嚴重之地區，日夜變化趨勢也掌握相當好。TAPM 模擬結果，各地區之最大臭氧濃度均大於 100 ppb，雖然也可呈現臭氧濃度之日夜變化，但最低臭氧濃度仍比實際監測值高約 40 ppb，導致其高估之原因可能與混合層高低或污染物排放資料之完整性有關。

於 2003 年 10 月 9、10 及 11 日中午，忠明、大里、南投及竹山地區之最大臭氧濃度值約為 90 ppb 以上，尤其南投地區之臭氧濃度更可達 120 ppb，其他地區之最大臭氧濃度約為 80ppb 左右，12 日起，各地區之最大臭氧濃度值降低，約為 80 ppb 以下，如圖 11 示。經 TAQM 模擬結果顯示，於 10 月 9、10 日之最大臭氧濃度呈現較低值，除了竹山站最大臭氧濃度值達 80 ppb 外，其他地區之最大臭氧濃度值約為 40 ppb，但於 11 日起，TAQM 則大致掌握每日之最大臭氧濃度值及日夜變化趨勢，尤其是大里及二林站。TAPM 之臭氧模擬結果，各地區之臭氧濃度值皆呈現低估之情形，最大臭氧濃度值約為 50 ppb，同時，南投及竹山站於 9-12 日之臭氧濃度日夜變化趨勢掌握性較好，12-14 日則較不明顯，導致其低估之可能原因與混合層高度或污染物排放資料之完整性有關。

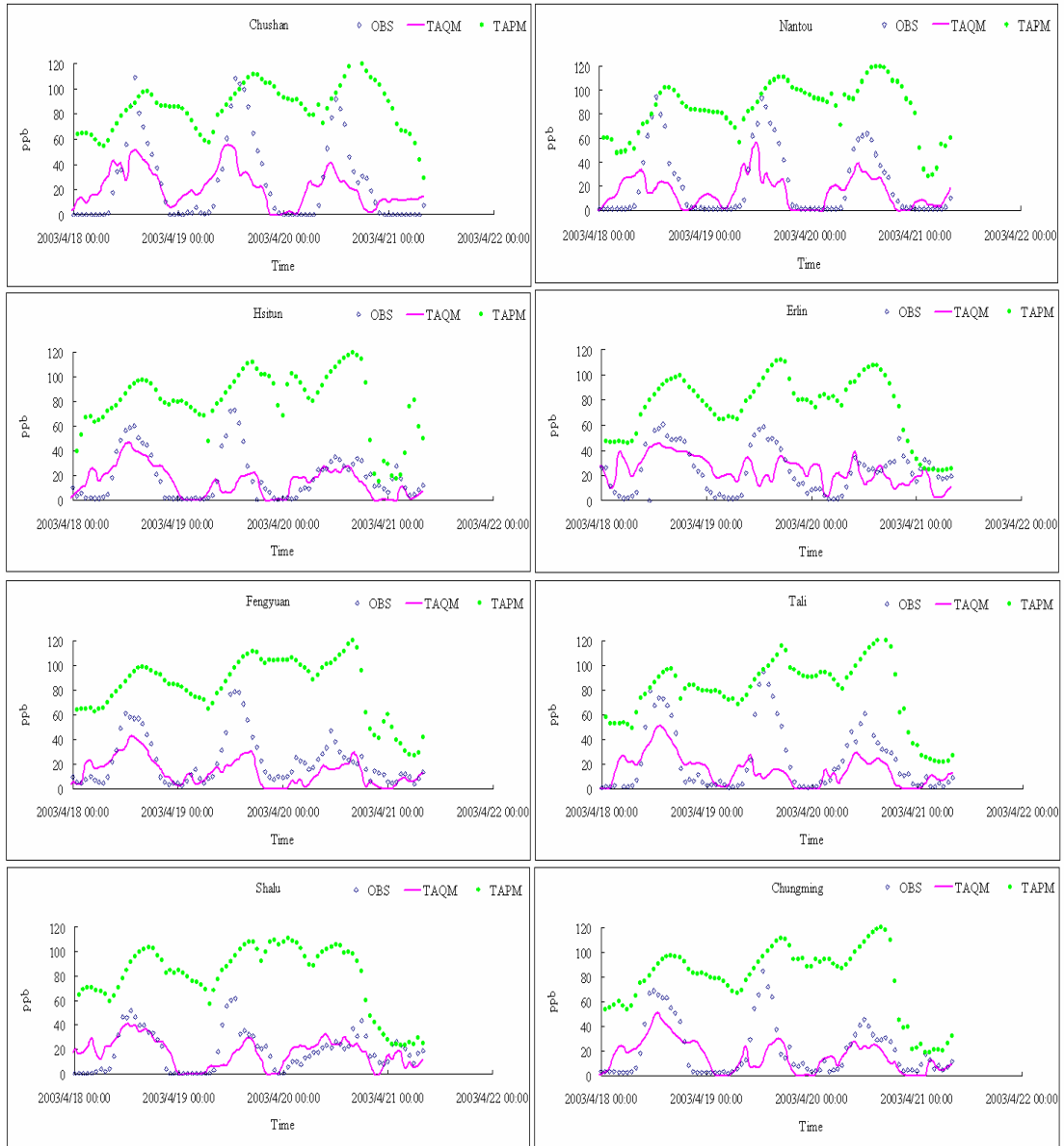


圖 10. 2003 年 4 月 18 日至 21 日之中部地區空氣品質監測站與模式模擬之臭氧濃度時間序列

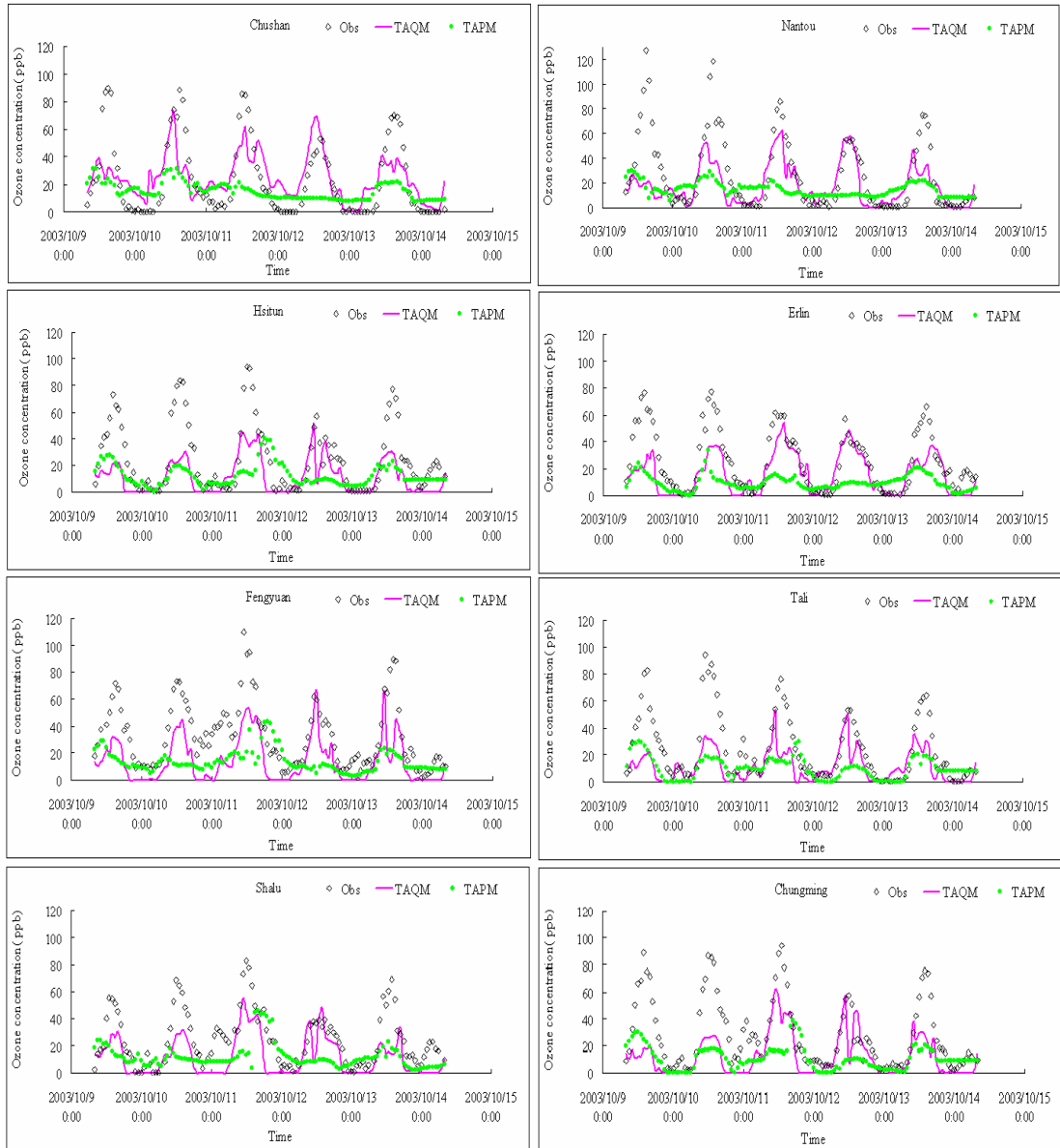


圖 11. 2003 年 10 月 9 日至 14 日之中部地區空氣品質監測站與模式模擬之臭氧濃度時間序列

第五章 結論與建議

經由模式模擬之結果顯示，MM5 於春季及秋季呈現之白天混合層高度皆為 1200 公尺以上比實際觀測結果略高 200 公尺，夜間則降至約 200 公尺左右，若配合污染物而言，將有利於污染物垂直方向之擴散或稀釋；風速方面，春季所呈現各測站之 IOA 值介於 0.58~0.85，秋季之 IOA 值介於 0.58~0.77；溫度方面，春季之 IOA 值介於 0.54~0.88，秋季之 IOA 值介於 0.80~0.94。TAPM 於春季之白天混合層高度比秋季要低約 300~500 公尺，以污染物而言，秋季較有助於污染物之垂直擴散或稀釋，在風

速方面，春季各測站之 IOA 值介於 0.47~0.80，秋季各測站之 IOA 值介於 0.31~0.80；溫度方面，春季各測站 IOA 值介於 0.76~0.95，秋季之 IOA 值介於 0.67~0.91。整體而言，TAPM 與 MM5 於內陸地區之模擬，因地形因素而較難以掌控，於風速方面皆為高估之情形。TAPM 於垂直氣象模擬結果，雖然整體趨勢隨高度變化與觀測結果接近，但無法像觀測值一樣急劇變化，此因為繫留探空監測之垂直解析度相當小，其每 10 公尺一筆觀測數據，但 TAPM 最小垂直解析度僅為 40 公尺，因此無法掌握如觀測結果般之變化劇烈，故呈現較平滑曲線。

臭氧為光化學反應產物，其日變化為一單峰型，最高濃度往往出現於約在中午 12 時至午後 3 時，同時，經環保署空氣品質監測資料顯示，由於中部地區地形特殊，污染物受地勢與風場影響向內陸地區累積之現象，模式呈現之初步結果可模擬與實際臭氧濃度日變化之趨勢，MM5 與 TAPM 於不同季節所模擬混合層高度之不同，造成污染物之嚴重程度亦有不同；於春季，TAPM 之混合層高度比較低，可能造成地面污染物濃度高估；秋季，TAPM 之混合層高度提高，污染物濃度則為低估之情形，但仍無法精確掌握高臭氧濃度值，此原因可能為固定及線污染源物排放之排放量不健全所致。

參考文獻

- Cheng, W-L., 2002. Ozone distribution in coastal central Taiwan under sea-breeze condition. *Atmospheric Environment*, 36, 3445-3459.
- Cheng, W-L., Pai, J-L., Tsuang, B-J., Chen, C-L., 2001. Synoptic patterns in relation to ozone concentrations in west-central Taiwan. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 78, 11-21.
- Cheng, W-L., 2001a. Spatio-temporal variations of sulphur dioxide patterns with wind conditions in central Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 66, 77-98.
- Cheng, W-L., 2001b. Synoptic weather patterns and their relationship to high ozone concentrations in the Taichung Basin. *Atmospheric Environment*, 35, 4971-4994.
- Cheng, W-L., 2000. A vertical profile of ozone concentration in the atmospheric boundary layer over central Taiwan. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 75, 251-258.
- Edwards, M., Hurley, P. J., Physick, W. L., 2004. Verification of TAPM meteorological predictions using sodar data in the Kalgoorlie region. *Australian Meteorological Magazine*, 53, 29-37.
- Fatogoma, O., Jacko, R. B., 2002. A model to estimate mixing height and its effects on ozone modeling. *Atmospheric Environment*, 36, 3699-3708.
- Gerd, H., Platt, U., 2002. Observations of BrO and its vertical distribution during surface ozone depletion at Alert. *Atmospheric Environment*, 36, 2481-2489.
- Hurley, P. J., Physick, W. L., Luhar, A. K., 2005. TAPM: a practical approach to prognostic meteorological and air pollution modeling. *Environmental Modeling and Software*, 20, 737-752.
- Hurley, P. J., Manins, P. C., Lee, S. H., Boyle, R., Ng, Y. L., Dewundeghe, P., 2003. Year-long, high-resolution, urban airshed modeling: verification of TAPM predictions of smog and particles in Melbourne, Australia. *Atmospheric Environment*, 37, 1899-1910.
- Hurley, P. J., 2002. The Air Pollution Model (TAPM) Version 2. User manual. CSIRO

- Atmospheric Research Internal Paper, 55, 38pp.
- Hurley, P. J., Physick, W. L., Luhar, A. K., 2002. The Air Pollution Model (TAPM) Version 2. Part 2: Summary of Some Verification Studies. CSIRO Atmospheric Research Technical Paper No.57, 46pp.
- Hayden, K. L., Anlauf, K. G., Hoff, R. M., Strapp, J. W., Bottenheim, J. W., Wiebe, H. A., Froude, F. A., Martin, J. B., 1997. The Vertical Chemical and Meteorological Structure of the Boundary Layer in The Lower Fraser Valley during Pacific 1993. *Atmospheric Environment*, 31(14), 2089-2105.
- Helmiga, D. D., Boultera, J., Davida, D., Birksa, J. W., Cullena, N. J., Steffena, K., Johnson, B. J., Oltmansb, S. J., 2002. Ozone and meteorological boundary-layer conditions at Summit, Greenland, during 3-21 June 2000. *Atmospheric Environment*, 36, 2595-2608.
- Helmis, C. G., Papadopoulos, K. H., Kalogiros, J. K., Soilemes, A. T., Asimakopoulos, D. N., 1995. Influence of background flow on evolution of Saronic Gulf Sea Breeze. *Atmospheric Environment*, 24, 3689-3701.
- Holzworth, G. C., 1967. Mixing depths, wind speed and air pollution for selected locations in the United States. *Journal of applied Meteorology*, 6, 1039-1044.
- Kassomenos, P., Kotroni, V., Kallos, G., 1995. Analysis of climatology and air quality observations from Greater Athens Area. *Atmospheric Environment*, 29, 3671-3688
- Katsoulis, B. D., 1996. The Relationship between Synoptic, Mesoscale and Microscale Meteorological Parameters during Poor Air Quality Events in Athens, Greece. *The science of Total Environment*, 181, 13-24.
- Luhar, A. K., Hurley, P. J., 2004. Application of a prognostic model TAPM to sea-breeze flows, surface concentrations, and fumigating plumes. *Environmental Modeling & Software*, 19, 591-601.
- Luhar, A. K., Hurley, P. J., 2003. Evaluation of TAPM, a prognostic meteorological and air pollution model, using urban and rural point-source data. *Atmospheric Environment*, 37, 2795-2810.
- Liu, C. M., Huang, C. Y., Shieh, S. L., Wu, C. C., 1994. Important meteorological parameters for ozone episodes experienced in the Taipei Basin. *Atmospheric Environment*, 28, 159-173.
- McElroy, J. L., Smith, T. B., 1991. Lidar Descriptions of Mixing-Layer Thickness Characteristics in a Complex Terrain/Coastal Environment. *Journal of Applied Meteorology*, 30, 585-597.
- Myrick, R. H., Sakiyama, S. K., Angle, R. P., Sandhu, H. S., 1994. Seasonal Mixing Heights and Inversions at Edmonton Alberta. *Atmospheric Environment*, 28, 723-729.
- Ortega, S., Soler, M. R., Beneito, J., Pino, D., 2004. Evaluation of two ozone air quality modeling systems. *Atmospheric Chemistry and Physics discussion*, 4, 1855-1885.
- Ouattara, F., Robert, B. J., 2002. A model to estimate mixing height and its effects on ozone modeling. *Atmospheric Environment*, 36, 3699-3708.
- Physick, W. L., Rayner, K. N., Mounford, P., Edwards, M., 2004. Observations and modeling of dispersion meteorology in the Pilbara region. *Australian Meteorological Magazine*, 53, 175-187.
- Physick, W. L., Noonan, J. A., 2000. Mesoscale modeling with MM5 for the PATH study (pollutants in the atmosphere and their transport over Hong Kong). Preprints of the 11th Joint Conference on Application of air Pollution Meteorology with AWMA, LONG BEACH, CA, USA., 90-95pp.
- Pisano, J. T., Mckendry, I., Steyn, D. G., Hastie, D. R., 1997. Vertical nitrogen dioxide and ozone concentrations measured from a tethered balloon in the Lower Fraser Valley. *Atmospheric Environment*, 31, 2071-2078.

- Soriano, C., Soler, R. M., Pino, D., Alarcón, M., Physick, W. L., Hurley, P. J., 2003. Modeling different meteorological situations in Catalunya, Spain, with MM5 and TAPM mesoscale models: a comparative study. *International Journal of Environment and Pollution*, 20, 256-268.
- Seaman, N., 2000. Meteorological modeling for air-quality assessments. *Atmospheric Environment*, 34, 2231-2259.
- Seinfeld, J. H., Pandis, S.N., 1998. *Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change*. John Wiley & Sons, Inc., 1326.
- Stull, R. B., 1988. *An introduction to boundary layer meteorology*. Kluwer Academic Publishers Group, University of Cambridge, Boston.
- Willmott, C. J., Ackleson, S. G., Davis, R. E., Feddema, J. J., Klink, K. M., Legated, D. R., O'Donnel, J., Rowe, C. M., 1985. Statistics for the evaluation and comparisons of models. *Journal of Geophysical Research*, 90, 8995-9005.
- Ulke, G. A., Mazzeo, A. N., 1998. Climatological Aspects of the Daytime Mixing Height in Buenos Aires City, Argentina. *Atmospheric Environment*, 32(9), 1615-1622.
- Ziomas, I. Z., Melas, D., Zerefos, C. S., 1995. Forecasting peak pollutant levels from meteorological variables. *Atmospheric Environment*, 29, 3703-3711.
- 李清勝, 1992, "影響大台北地區懸浮微粒濃度變化之氣象分析", *大氣科學*, 20, 341-361。
- 林能暉, 2000, "北中南空品區 O₃ 與 PM₁₀ 污染之氣象條件研究", 國科會/環保署科技合作研究計劃報告。
- 孟慶珍、馮藝, 1996, "成都大氣混合層厚度的計算和分析", *成都氣象學院學報*, 11, 73-81。
- 林沛練, 張隆男, 陳景森, 1990, "海風邊界層之發展與污染物濃度的日變化", *大氣科學*, 18, 287-307。
- 姜善鑫、盧光輝、劉富吉, 1994, "台北地區逆溫層之研究", *台灣大學地理學系地理學報*, 17, 65-76。
- 陶家瑞、楊宏宇、洪忠和, 1995, "台灣北部地區嚴重空氣污染與大氣邊界層個案研究", *氣象預報與分析*, 142, 12-26。
- 張能復、胡人傑, 1998, "空氣品質模式氣象參數推估模組之地表參數化", 第15屆空氣污染控制技術研討會論文集, 611-619。
- 彭啟明、林松錦, 1995, "台灣北部地區混合層高度的觀測與模擬", *大氣科學*, 23, 311-336。
- 張哲明、林忠仁、劉明揚, 1992, "台灣中部地區混合層高度特性分析與預測", *環境保護*, 15, 45-54。
- 劉遵賢、黃賀春、張艮輝、張時禹、鄭福田, 2002, "台灣空氣品質模式操作使用手冊"。

計畫成果自評

於計畫期間，持續完成不同季節之繫留探空監測，蒐集中部地區之垂直大氣環境資料，包括高空氣象數據及污染物濃度資料，並透過與環保署於西屯測站新增之逆溫儀(MTP5-HE)監測台中地區之溫度垂直剖面比較，進而了解中部地區混合層高度於不同季節特性之發展，同時，本研究引進澳洲聯邦科學與工業研究發展組織(CSIRO)所屬之大氣研究部門研發之空氣污染模式(TAPM)，配合於台灣地區常使用之 MM5 與 TAQM，已初步進行台灣中部地區之氣象環境與空氣品質模擬，藉由模式模擬以補缺乏觀測資料之不足，並可提供邊界層內之大氣垂直環境及混合層之研究。

經模式所呈現之模擬結果，於氣象場方面，模式皆可以掌握到台灣地形及大氣環境之特性，但於污染物濃度的掌握性仍有不足之現象，初步判斷其原因可能為台灣污染物排放資料之不完整性所致，為本研究團隊仍需加強改進之處。

透過計畫中之繫留探空監測及模式模擬，可訓練及培養研究生專業性與電腦程式之操作技巧，提升研究人員結合理論與實際應用之能力，同時，亦可藉計畫成果撰寫相關研究論文。