

第一章 緒論

1.1 前言

根據環保署固定污染源管理系統資料庫顯示(1997),在各大空品區中,中部空品區硫氧化物排放比例位居第二(22%),僅次於高屏地區的29%。硫氧化物主要來自工業鍋爐燃燒所產生,約佔總排放量的94%,其中,電力業為主要的排放源之一。為了降低硫氧化物的排放,可從改善製程、提昇燃料品質、採用污染防治設備與提高去除效率上著手。觀察近幾年來SO₂地面監測資料發現,SO₂的PSI值大於100之情形,自1997年起已不再發生(環保署,2000),且日、年均值均遠低於法規所規定的100與30ppb。

空氣污染容易對人體健康造成負面的影響甚至死亡(Schwartz, 1996; Katsouyanni, 1996),曝露於高二氧化硫濃度的環境之下會破壞呼吸系統的功能,造成氣喘、呼吸急速及咳嗽等症狀,且易使支氣管炎及心臟病患趨於惡化。當懸浮微粒與二氧化硫濃度同時偏高時,可使死亡率上升(袁中新,1998)。

1.2 研究動機與目的

台中火力發電廠目前共有8部發電機組各550瓩,為第一座經環境影響評估之後核准興建的電廠,由於更嚴格的排放標準已由1993年的500ppm降至1999年7月的200ppm,台電公司已完成所有機組的排煙脫硫設備(Flue Gas Desulfurization),由連續煙道監測資料中硫氧化物的排放量自1997年至2000年約下降88%可明顯看出成效,但就總排放量來說,台中電廠仍佔有舉足輕重的地位,另外,通霄電廠於2000年硫氧化物的排放量已超越台中電廠,對中部地區空氣品質的好壞有相當大的影響,故本文以探討台中電廠排放減量與通霄電廠對中部地區地面SO₂濃度的改善情況,並了解季節性對污染物分佈之影響。其它由電廠排放之污染物中,氮氧化物排放量仍居高不下,在特定天氣型態(黃怡嘉、程萬里,2001)下容易發生臭氧事件日,對中部地區空氣品質仍有相當大的影響。

台中電廠於1999年10月已完成8部FGD的安裝,排放量相較於1998年有大幅度的降低,故在案例討論的部分選擇1998年與1999年秋季,比較台中電廠在排放量減量之下,對地面SO₂濃度貢獻的差異。

1.3 文獻回顧

空氣污染容易對人體健康造成負面的影響甚至死亡，而由電廠所排放之污染物，其排放量以及排放濃度受到燃料的品質 (Hower, 1998) 空氣污染防治設備效率、發電技術良窳與發電量多寡的影響，而氣象條件 (Mejia, 1995 ; Perez, 2001 ; Russell, 1991) 電廠所在地點 (Thanh, 2000) 當地地形與煙囪高度則決定了到達地面的濃度。為了解電廠對我們所生活的環境造成的衝擊，除了可以利用連續煙道監測資料之外，還可以由排放量的推估估算其排放量 (Khatami, 1997 ; Streets, 1999) , 再利用模式 (Hernandez, 1995 ; Mussio, 2001 ; Souto, 2001) 評估對整個環境的影響，在完成了污染源的識別以及了解其特性以及定量的工作之後，最重要的就是對該污染源訂出一套減量策略 (Mejia, 1996 ; 1997 ; Russell, 1993) 。其中，模式在整個策略當中，扮演著一個最有力的角色。

1.3.1 軌跡模式之應用

風場資料在空間以及時間的解析度 (Doty and Perkey, 1993 ; Stohl et al., 1995 ; Lee et al., 1997) , 決定了軌跡模式在軌跡點計算上的正確性，所以地面監測站的密度、分佈與地形參數等，都會影響軌跡模擬的準確性，而在研究區域外的測站點之加入，亦有調和邊界值的功能。Chang et al. (1990) 發現在海陸風下，污染物被帶往 150 km 之內陸山區，造成夜間硫酸鹽與硝酸鹽濃度升高。Kitada (1999) 研究海岸地區與島嶼在海陸風的氣象條件之下的影響。望熙榮等人 (1999) 研究認為竹山、埔里地區發生高 PM10 濃度的原因，係因河谷及丘陵地形之影響。

逆軌跡 (Back Trajectory) 可用來尋求受體點與可能污染源之間的關係，進而瞭解各污染源對受體點的濃度貢獻，若欲探討特定重大點源污染物的排放對環境的影響，則可利用由污染源出發之順軌跡模擬污染物排放至大氣後，污染物的擴散情形以及對下風處的影響程度。

Ashbough (1983 ; 1985) 最早應用 RTA (Residence Time Analysis) 以及 PSCF (Potential Source Contribution Function) 等方法，以逆軌跡方式計算受體點逆推之大量軌跡線，在軌跡相會頻繁處即為污染源之可能位置。Charron et al. (1998 ; 2000) Plaisance et al. (1997) Stohl et al. (1994 ; 1996 ; 1998) 等人亦利用 PSCF 等數種受體導向模式探討酸雨沉降、硫酸鹽、地面臭氧與污染源之關聯。Cabezudo

et al.(1997) 應用反軌跡證實西班牙南部花粉污染源來自北摩洛哥。Tsutsumi and Matsueda(2000) 從富士山頂逆推軌跡，探討氣團的來源與臭氧濃度的關係。Chan et al.(1998) 於香港利用逆軌跡模擬對流層臭氧的季節性變化。林清和(2001) 發展新受體導向模擬技術判斷受體點之影響源位置與估算個別污染源之貢獻量。

1.3.2 高斯模式的應用

高斯煙流模式常被使用於計算在污染源下風處的濃度，若能了解模式在使用時的限制，可增加模式的可信度，以下為高斯擴散模式三個基本的限制：

- (1) 穩定均一風速、風向：穩態 (steady state) 指不隨時間而改變，均一 (uniform) 是指空間上的一致。高斯模式要求具代表性的風向與風速之輸入值，如此模式的假設才接近於實際狀況並具真實性。為了符合穩定均一的基本假設，風向風速資料限制為逐時資料，並使用於開放平坦的地區。
- (2) 模擬物種為惰性物種：污染物在穩定風向、風速下，於假設時間內反應量甚少之物種，符合以上假設之物種有一氧化碳、二氧化硫、懸浮粉塵等污染物。
- (3) 不適用於靜風的情況：一般認定在風速小於 1m/s 時為靜風狀態，在模擬時一般均將靜風狀態之風速以 1m/s 之風速取代，以改善小時最大值之誤差。

ISC 模式發展至今，有多位學者進行改善 ISC 模式之研究，如 Denneis 等人 (1997) 在風洞實驗中測試的面源數值模式、計算懸浮微粒全部粒徑擴散的乾沉降模式、利用洗滌係數求取濕沉降通量的數值模式以及模擬開放性污染源的數值模式。並發展成以傳遞時間和穩定度為函數的沉降性軌跡模式。

根據元 (1994) 以 ISC 模式對台中火力發電廠之模擬結果發現，模擬結果之誤差來源如下：

- (1) 高斯模式為一穩定均一之狀況，不考慮污染物累積的效應，但於實際大氣狀況下，污染物並不會完全被風帶走，因此會有累積的現象發生。
- (2) 污染源資料的不正確。
- (3) 由於 ISC 模式對風向相當敏感，且一般模擬均以小時為單位，並未考慮一小時內之風偏角，加上高空與地面風向並非完全一致，因此需對風向作一風偏角之平均值來校正誤差。

(4) 風速小於 1m/s 需以 1m/s 的風速做修正，以改善小時最大值之誤差。

Etling (1990) 指出在低風速和穩定擴散狀態時，易觀察到低頻率高振幅的風向變動，此時一般的高斯擴散就不適用，尤其在 Pasquill-Gifford 穩定度分類中的 E-G 級狀況下，此時高斯擴散必須再經過修正才能使用。Sharan 等推測高斯擴散模式模擬結果不理想的原因，可能在擴散係數的問題。Sivacoumar et al. (2001) 利用 ISCST3 模式模擬印度一工業城市 NO_x 各污染源的貢獻比例，其中，工業來源佔了 53 %，交通源佔了 40 %。

1.3.3 硫酸鹽的形成

為了要評估電廠所排放的污染物對環境空氣品質的影響程度，有必要了解污染物在大氣中受到氣象條件變化之化學反應與轉換速率，SO₂ 之轉換速率受到相對溼度以及日照強弱等氣象條件的影響，當相對溼度低時，氣相反應主宰 SO₂ 的氧化，速率較慢；而當相對溼度高或有雲時，液相反應會造成 SO₂ 轉換率的增加 (Zhuang et al., 1999)。硫酸鹽微粒的形成主要是由於其前趨物 SO₂ 在大氣中與氫氧基進行反應，形成硫酸氫根，之後再與大氣中微量的水蒸氣反應為 H₂SO₄，最後凝結於已形成的微粒之上，形成硫酸鹽，根據所凝結微粒的不同有粗粒以及細粒的分別，粗粒係指與海鹽或土壤顆粒形成的 Na₂SO₄ 或 CaSO₄ (Wu and Dkada, 1994; Zhuang et al., 1999); 與鹼性物質 NH₃ 所形成的 (NH₄)₂SO₄ 或 NH₄HSO₄ 則存在於細粒。

Tsai and Cheng (1999) 在台中沿海地區發現，當該區 PM₁₀ 空氣品質不良時，硫酸根離子濃度為 19 μg/m³，為硝酸根離子的兩倍，其中經轉換的硫酸鹽有 85 % 為細粒，15 % 為粗粒，造成硫酸鹽離子在該區發生高濃度的原因，可能為海水飛沫所貢獻以及電廠所排放之元素硫促成硫酸鹽轉換速率的提高。Ueda and Carmichael (1995) 指出，硫酸鹽的轉換速率為 3.7 % S/hr。郭等人 (1996) 於高屏地區利用逆軌跡分析硫酸鹽的轉換速率介於 0.29~7.01 % S/hr 之間，受到相對溼度以及光化作用強弱的不同而有所差異。Lazaridis (1997) 表示在不同溫度、溼度下其轉換速率亦有所不同，其值介於 0~13 % Sh⁻¹，其它相關研究頗多 (Hewitt, 2000)，且隨實驗地點以及氣象狀況差異有不同的結果。

第二章 研究原理與分析方法

2.1 資料收集與模擬空間

2.1.1 研究區域

本研究主要以中部地區為研究範圍 (Fig. 1), 包含苗栗、台中、彰化、雲林及南投等縣市, 網格範圍為 UTM_E 151000 281000、UTM_N 2596000 2751000。

2.1.2 氣象資料來源

順軌跡之氣象資料來源方面, 加入環保署、台電以及中央氣象局中部地區測站資料 (Fig. 1), 2000 年則是再加入了中興以及東海大學自行架設於中部山區的 7 個氣象站, 以上自設測站均位於地形特殊之地點, 包括大肚山、八卦山、中央山脈、河谷地和山谷隘口等, 對於提高中部地區風場的解析度有相當大的幫助。

為了因應模擬所涵蓋的範圍且兼具代表性, ISC 模式所需之風向、風速、地面溫度等資料, 採用和美測站之資料, 日照強度與雲量則分別來自大村農改場與台中氣象站。

由於中部地區並無常設之探空站, 故在垂直氣象的資料上, 採用中興及東海大學分別於草屯及台中港區之繫留探空資料, 內容包括高空風向、風速、溫度、相對濕度、大氣壓力等氣象資料。

2.1.3 污染源排放資料

污染源排放資料以 TEDs 4.2 資料庫為主, 並加入台中電廠以及通霄電廠之排放更新資料, 以減少模式模擬的誤差。由中鼎 1997 年中部地區 SO_x 排放量為例, 每年有超過 160 千噸的排放量排入大氣之中, 其中, 點源即佔了 152.5 千噸的排放量, 線源與面源則約僅佔 6.2 以及 4.7 千噸左右。Fig. 2 為中鼎 TEDs 4.2 SO_x 排放量資料, 大部份的 SO_x 排放分散在各地的點源, 線源以及面源的貢獻並不大。

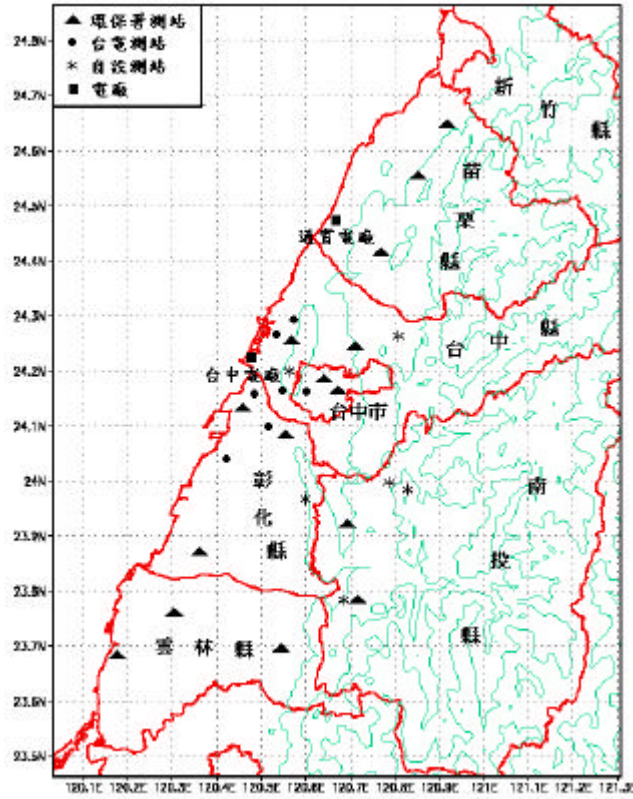


Fig. 1 Location of monitoring stations and power plant over central Taiwan.

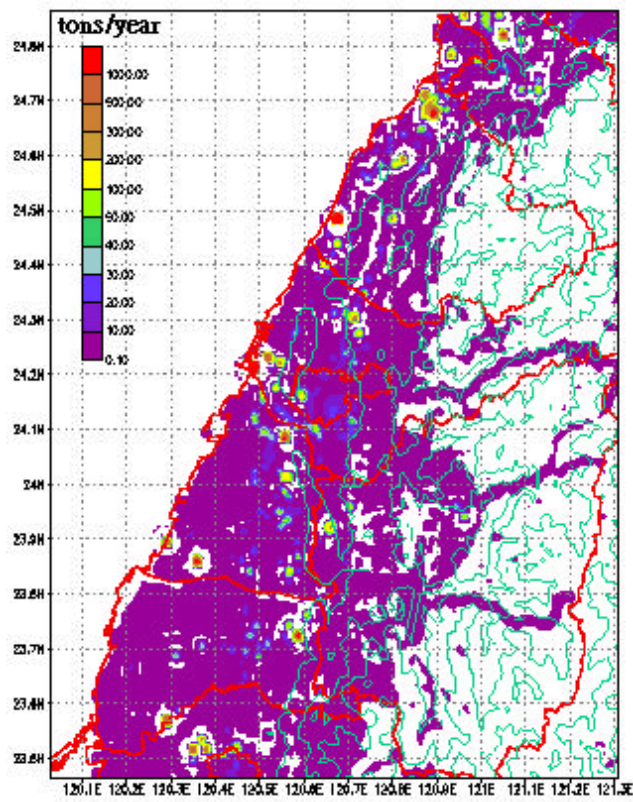


Fig. 2 SO_x emissions in central Taiwan in 1997.(Ton/year)
 (中鼎顧問公司 TEDs 4.2)

2.2 研究方法

化石燃料中約有 90 % 的硫經過燃燒之後，會以 SO_2 或 SO_3 (比例約為 40~80 : 1) 的形式排放至大氣。台中電廠自 1999 年 7 月之後，硫氧化物的排放量每個月約 1 千噸，相較於減量之前每個月約有 7~8 千噸的排放， SO_x 排放量已下降約 88 %，可見污染防治設備的確已發揮功效。通霄電廠有六部燃油複循環機組，未來在改成以天然氣燃料發電下，預期各項污染物的排放應會有所改善。本研究利用順軌跡與 ISC 模式，觀察 1997~2000 年間 SO_2 月均值濃度變化，以了解台中電廠在加裝污染防治設備前後，在排放量逐步減少之下，對中部地區的影響區域與改善狀況，及對下風處濃度空間分佈之影響。

2.2.1 順軌跡模式

當一氣團行經一污染源時，位於下風處之受體點則會受到影響而產生高值。順軌跡模式在軌跡線沿途共有五條並行的軌跡線，間距為 10 km，每一條軌跡線上各有 12 個高度分層，分層的離地高度分別為 10m、30m、50m、150m、300m、500m、700m、900m、1100m、1300m、1500m、3500m，主軌跡線的濃度會擴散至左右的次軌跡線，並假設出發點上風處污染物濃度為零。

軌跡模式在中部地區 (林宏乾 2001 ; 藍詠耀 2000) 與台北 (Chen et al., 2002 ; Tsuang and Chao, 1999) 等地應用十分廣泛，各項參數的選擇都以適合台灣地區為主。

(1) 順軌跡模式

當污染物經排放進入大氣後，利用污染源周圍的風向、風速資料計算煙流線的傳輸路徑。但在缺乏風向偏差資料下，則將計算法簡化如下：

$$\begin{cases} x(t + \Delta t) = x(t) + \overline{u_x} \cdot \Delta t \\ y(t + \Delta t) = y(t) + \overline{v_y} \cdot \Delta t \end{cases}$$

其中， x 、 y 為座標， u 、 v 為風速

軌跡線的求取是以距離平方為權重 (US/EPA, 1994)，利用地面測站資料加以內插，並以風場對數垂直剖面修正到 200m，最後再加入地形效應 (Scire, 2000 and 莊等人, 2000)，由內插所得之最小風速為 1ms^{-1} 。順軌跡線由高污染源順推 24 小時，軌跡模式將軌跡線分為中央、次軌跡線以及次次軌跡線。

順軌跡模式考慮煙囪的煙流上昇作用，並依 Pasquill 大氣穩定狀況分成穩定、中性、不穩定等分別計算煙流上昇的高度；高空風速的修正採用 ISC3 的高度修正係數，煙囪頂的下洗作用 (stack-tip downwash) 亦依 ISC3 模式作修正。順軌跡以高污染源為起點作污染物的垂直擴散模擬、順軌跡線以及煙流線的模擬。

(2) 污染物垂直擴散

污染物在大氣中的傳輸行為，包含了由污染物濃度差所造成的擴散及空氣流動造成的平流作用，可用平流擴散方程式 (advection-diffusion equation) (Hanna et al., 1982 ; Beryland, 1991 ; Seinfeld, 1998) 表示：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla C = \nabla K \nabla C$$

其中，C：污染物平均濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

K：渦流擴散係數 (eddy diffusivity) (m^2/s)

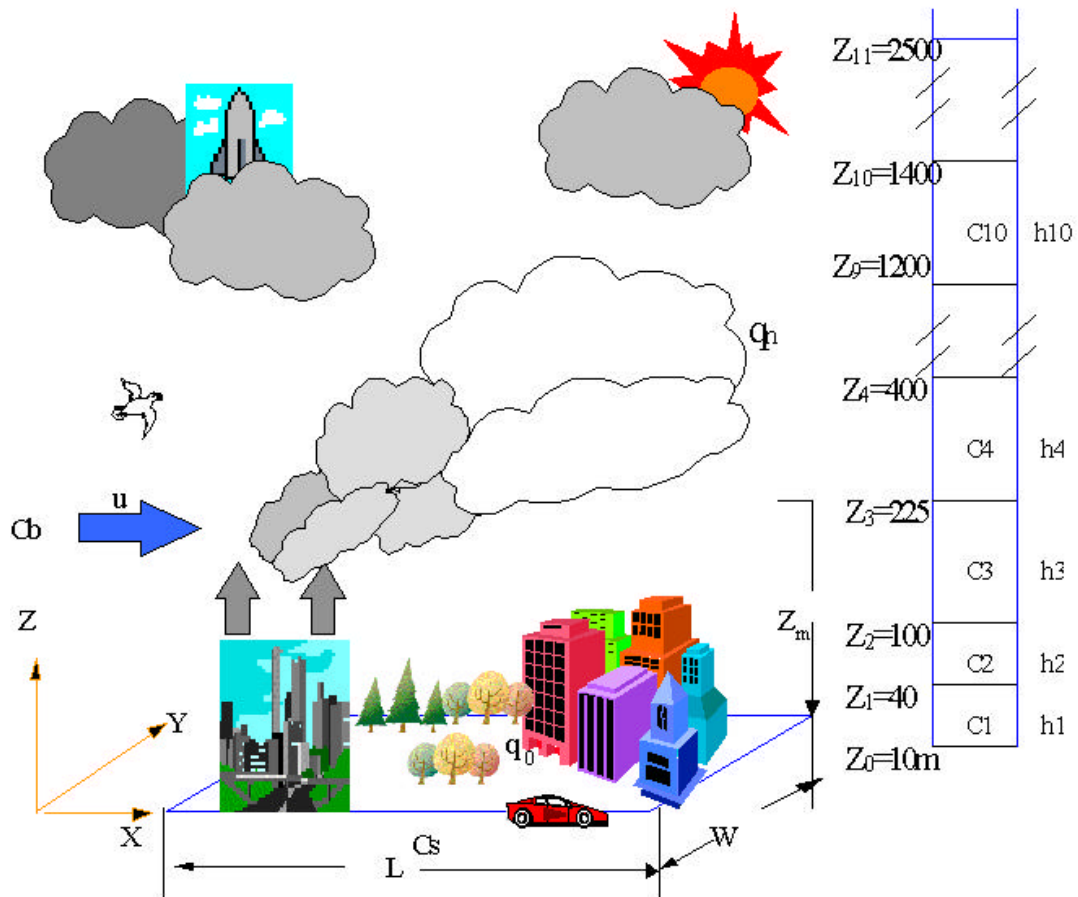
t：時間 (s)

為了瞭解由煙囪排放之污染物，經由大氣擴散稀釋之後各高度之污染物濃度值，模式將大氣邊界層垂直結構切割為三大特徵層及 12 個附屬子層 (Fig. 3)。

(1) 第一特徵層為 0~225m 的高度，此層為人類活動的空間，污染物傳輸機制主要為分子擴散 (diffusion) 與紊流擴散 (turbulent diffusion)，兩者之聯合機制可表示為渦流擴散係數。各層頂高度分別為 10m、40m、100m、225m，每層的中間位置代表該層的平均濃度，地面監測位置 (離地表約 10m) 的濃度可作為模式模擬的比較值，及瞭解由高空煙囪排放的污染物對地面的貢獻濃度。

(2) 第二特徵層的高度介於 225~1200m 之間，此層為一般狀況下混合層可達高度，一般均認為於混合層內為一均勻混合的狀態，但實際上混合層內之動量、溫度、水氣及質量分佈情形，會隨大氣穩定狀態，地表受太陽輻射加熱、逆溫等情況而有所不同。各層頂高度分別為 400m、600m、800m、1000m 與 1200m。

(3) 第三特徵層為 1200~2500m 高度，由於此層高度較高，受到地表摩擦力的影響不大，主要是受到地球自轉的科氏力的影響。各層頂高度分別為 1400m、2500m。此層的高度為高於混合層以上的特徵層，模擬此層的目的在於瞭解混合層高度上下的污染物濃度是否有所差異。



(資料來源：林宏乾, 2001)

Fig. 3 Scheme of dispersion of pollutant in urban area, where $L (=2 \quad x)$ is the length of a city (or traveling distance of wind) and $w (=2 \quad y)$ is the width of the city. q_0 is emission rate per unit area, u is wind speed, C_m is the concentration at top of mixing layer (Z_m) , C_b is the concentration at surrounding area of the city along Y-axis, and C_s is the near ground concentration of the city.

假設忽略 Y 方向污染物的平流，只考慮擴散的情形，且僅加入簡易的化學變化，而不考慮複雜的光化機制，並加入大氣污染物去除的洗滌機制，模式之統御方程式表示為：

$$\frac{\partial SO_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} K_z \frac{\partial SO_2}{\partial z} + K_y \frac{\partial^2 SO_2}{\partial y^2} - u \frac{\partial SO_2}{\partial x} - p \Delta SO_2 - K_{SO_2} SO_2$$

x：風之方向

y：垂直風向之方向

SO₂ : 濃度 (μ gm⁻³)

t : 時間 (s)

u : 平均風速 (ms⁻¹)

K_z、K_y : z 及 y 方向的渦流擴散係數 (~10m²s⁻¹)

p : 降雨延時 (ss⁻¹)

Λ : 洗滌係數 (s⁻¹), 參考 Uijlenhoet and Stricker (1999), 定義為

$$\Lambda_{SO_2} = 0.3579J^{0.42}[2 + 2.05J^{0.1805}] , \text{ 其中 } J \text{ 為降雨強度 (mmh}^{-1} \text{)}$$

KSO₂ (% Ss⁻¹) : SO₂ 轉換為硫酸鹽之氣固相轉換速率

(3) 各項參數的決定

一、垂直擴散係數的決定

a. $Z < Z_{SL}$

(Nikmo et al., 1999) 定義於 surface layer 內 , 垂直擴散係數如下式 :

$$Kz(Z_{SL}) = \frac{ku^* \cdot (Z - d_0)}{\Phi_h\left(\frac{Z}{L}\right)}$$

上式中 , u* : 地表摩擦風速 (m/s)

L : Monin-Obukhov length (m)

Z : 離地高度 (m)

Z_{SL}、Z_{MIX} : surface layer 高度 (m) 與混合層高度 (m)

d₀ : zero-plane displacement height (m)

h : 熱量的相似方程 , (Seinfeld, 1998) 定義如下 :

$$\Phi_h\left(\frac{Z}{L}\right) = \left(1 - 15\frac{Z}{L}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{for } \frac{Z}{L} < 0 \quad \text{unstable}$$

$$\Phi_h\left(\frac{Z}{L}\right) = 1 + 4.7\frac{Z}{L} \quad \text{for } \frac{Z}{L} \geq 0 \quad \text{stable}$$

b. $Z_{SL} < Z < Z_{MIX}$

而當高度大於 surface layer 且小於混合層高時 , 垂直擴散係數如下 :

$$Kz(Z) = Kz(h) + \left(\frac{Z-h}{h-Z_{SL}}\right)^2 \left\{ Kz(Z_{SL}) - Kz(h) + (Z - Z_{SL}) \left[\frac{\partial Kz}{\partial z} \Big|_{z=Z_{SL}} + \frac{2(Kz(Z_{SL}) - Kz(h))}{h - Z_{SL}} \right] \right\}$$

c. $Z > Z_{MIX}$

一般文獻對於高於混合層下之擴散係數假設為 0，在不穩定的大氣條件下高於混合層高時，順軌跡模式以 $K_z(Z)=10^{-4}$ (Sharan et al., 1995) 做修正。

二、對流速度尺度 (the convective velocity scale, w^*)

對流速度尺度為一用來代表在行星邊界層中發生的對流情形之重要參數，(Seinfeld, 1998) 定義如下：

$$w^* = \left(\frac{\overline{gq_3Z}}{T_0 \rho C_p} \right)^{\frac{1}{3}}$$

其中， T_0 ：地表的平均大氣溫度 (K)

： ρ 空氣的平均密度 (1.2 kg/m³)

Z ：離地高度 (m)

$\overline{q_3}$ ：垂直平均紊流熱通量 (the vertical mean turbulent heat flux)， $\overline{q_3}$ 可由

Monin-Obukhov length 穩定常數反求 (Seinfeld, 1998)。

$$L = \frac{-\rho C_p T_0 u^{*3}}{kgq_3}$$

$$\Rightarrow \overline{q_3} = \frac{-\rho C_p T_0 u^{*3}}{Lkg}$$

其中， u^* ：地表摩擦風速 (m/s)

L ：Monin-Obukhov length (m)

k ：von Karman's constant (假設定為 0.4)

g ：重力加速度 (9.8 m/s²)

C_p ：單位質量的空氣中定壓比熱， C_p 可和定容比熱間作轉換：

$$C_p = C_v + R/Ma$$

其中， C_v ：單位質量的空氣中定容比熱

R ：氣體常數 (8.314 joules / k mole)

Ma ：空氣分子重 (28.97 g / mole)

三、X、Y 方向擴散係數的決定

(Sharan, 1998) 曾用 K-theory 在風速低以及穩定的氣象狀況下模擬污染物

的擴散，其假設風速沿著 x 軸中，污染物在大氣中為穩定的擴散且風速為一定值，發現污染物的濃度值主要是受到平均風速 (u) 渦流擴散係數 (kx、 ky、 kz) 及污染源 (s) 的影響。(Sharan, 1998 ; Aray, 1995) 假設 kx、 ky 值為下風距離 (x) 的線性方程：

$$k_x = a \cdot u \cdot x$$

$$k_y = b \cdot u \cdot x$$

、 係一隨著大氣穩定度變化的紊流擴散係數，計算方法如下：

$$a = \left(\frac{s_u}{u}\right)^2$$

$$b = \left(\frac{s_v}{u}\right)^2$$

當紊流強度的量測可獲得時，紊流的參數便可計算，但在缺乏 u 、 v 、 w 值，

、 可依大氣穩定狀況的不同加以計算：

unstable conditions :

$$a = b = 0.36 \left(\frac{w^*}{u}\right)^2$$

stable conditions :

$$a = 6.25 \left(\frac{u^*}{u}\right)^2$$

$$b = 3.61 \left(\frac{u^*}{u}\right)^2$$

其中， u^* ：地表摩擦風速 (m/s)

w^* ：對流速度尺度 (m/s)

u ：平均風速 (m/s)

2.2.2 ISC 模式

由於 ISC 模式對於每一個污染源、每一個受體點來說，每一個小時濃度值之計算是將每一個污染來源排放至每一個受體點之濃度總和而得，也就是說，若目前有 n 個污染源，欲計算在 A 地之濃度值，即將此 n 個污染源個別對 A 地所造成的濃度相加，即為 A 地之濃度值。本研究即以此為基礎，將中部地區 SO₂ 排放量最大的前 64 個點源列入模式計算，以了解台中火力發電廠在 SO₂ 減量上，對中部地區 SO₂ 濃度的影響程度。由電廠所貢獻之 SO₂ 濃度，最後以 10 km × 10

km的網格輸出。

(1) 模式簡介

複合工業污染源模式 (Industrial Source Complex Model , ISC) 係美國環保署於 1979 年所發展而成的空氣品質預測模式，極具彈性與易於使用，並於國內外有多年廣泛驗證、測試的應用經驗，適於模擬複合工業污染源之空氣品質，並可進一步作為劃分污染防治區及擬定污染減量控制方案的重要參考。

ISC 模式之理論基礎(US/EPA, 1995)主要是平穩狀態的高斯煙流模式(steady state Gaussian plume model); 假設一個污染源連續排放污染物，在大氣中經過亂流的擴散與稀釋作用之後，終將達到一個平衡狀態，此時在煙流內部污染物濃度的分佈狀況以中間主軸方向濃度最高，而在垂直於風向之水平面及垂直面兩邊，則以高斯分布 (Gaussian distribution) 之原則進行擴散，亦即常態分佈 (normal distribution)，符合亂流的隨機性。

ISC 模式可模擬之時間尺度區分為長時距擴散模式 (ISC Long-Term Model , ISCLT3) 及短時距擴散模式 (ISC Short-Term Model , ISCST3) 等兩個子系統。其中，ISCLT 模式是由 AQDM(Air Quality Display Model)與 CDM(Climatological Dispersion Model) 聯合發展起來，可藉由季風統計資料模擬一月、一季或一年等長時間之污染擴散情形。ISCST 模式則源自於單一污染源模式 (CRSTER)，可運用逐時之氣象資料模擬污染物對環境的短期衝擊程度，但亦可用來計算一長時間 (例如：年平均值) 的平均濃度。

ISC 模式可針對不同的污染型式來計算污染物的濃度或沉降量；一般而言，污染源的型態可分為以下幾類：

- (1) 點源 (point source)：煙囪高度較高且排放率較大者，如工廠煙囪等固定污染源所排放之污染物。
- (2) 線源 (line source)：由移動污染源 (如：汽、機車等) 於固定路線所排放之污染源。
- (3) 面源 (area source)：排放率小且均勻分佈於某一範圍內之污染源，如學校、住宅區、商業區等地點因人為活動所釋出之污染源。

ISC 模式亦提供鄉村及都市等不同區域特性的模擬功能，配合不同型態的污染源，ISC 模式可以模擬不同環境、氣象、活動強度之複合工業污染源的空氣品

質，由於 ISC 具備以上特點，使得 ISC 成為擴散模擬上廣為使用的模式之一。

高斯煙流擴散模式之 x 軸正方向是指於下風處之方向，垂直於風向之方向為 y 軸，z 軸則在垂直向延伸上去。在每一小時濃度計算中，固定受體點之位置需轉成每一個污染源之座標系統。對每一個污染源、每一個受體點來說，每一小時濃度值之計算是將所有污染源排放至每一個受體點所產生之濃度總和相加而得。

位於 (x,y) 處之地點其小時濃度值計算如下式：

$$C = \frac{QKVD}{2pU_s s_y s_z} \exp[-0.5(\frac{y}{s_y})^2]$$

其中，

Q：污染物排放率（單位時間之質量）

K：濃度之單位轉換係數（例：當 Q 為 g/s 以及濃度為 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 時，其值為 1×10^6 ）

V：垂直項（包括污染源高程、受體點高程、煙流上升、垂直受限之混合高度、對較大微粒之重力沉降和乾沉降等之影響）

D：衰減項

U_s ：排放高度之平均風速（m/s）

s_y 、 s_z ：側向及垂直向濃度分佈之標準偏差（m）

(2) 各項參數計算方法說明如下：

一、風速 (U_s) 之計算

排放高度風速之計算方式如下：

$$U_s = U_{ref} \left(\frac{h_s}{Z_{ref}}\right)^p$$

U_{ref} 為高度 Z_{ref} 下所觀測到之風速，此式之目的在於利用風速剖面之幕次(p) 來修正高空之風速，而 p 值會隨著當時之穩定度與區域特性而改變 (Table 1)。 h_s 為煙囪高度或排放高度， U_s 為在高度 h_s 下之風速，此外， U_s 並不允許小於 1m/s，亦即 ISC 模式並不適用於靜風狀態。

Table 1 Log-vertical profile of wind speed.

Stability Category	Rural Exponent	Urban Exponent
A	0.07	0.15
B	0.07	0.15
C	0.10	0.20
D	0.15	0.25
E	0.35	0.30
F	0.55	0.30

二、煙囪高度

為了考慮煙囪頂之下洗作用，煙囪高度以下式修正：

$$\text{當 } V_s < 1.5U_s \text{ 時, } h'_s = h_s + 2d_s \left(\frac{V_s}{U_s} - 1.5 \right)$$

$$\text{當 } V_s \geq 1.5U_s \text{ 時, } h'_s = h_s$$

式中之 h_s 為實際之煙囪高度 (m)， V_s 為煙囪出口速度 (m/s)， d_s 為煙囪頂之內徑 (m)。若不考慮下洗效應， h'_s 即為 h_s 之高度。

對於許多煙流上升之狀況，必須應用 Briggs 之浮力通量常數 F_b (Briggs buoyancy flux parameter, m^4/s^3):

$$F_b = gV_s d_s^2 \left(\frac{\Delta T}{4T_s} \right)$$

式中之 $\Delta T = T_s - T_a$ ， T_s 為煙囪氣體溫度 (K)， T_a 為周界空氣溫度 (K)。另外為了決定由煙流動量所造成之煙流上升，動量通量參數 F_m 可由下式決定：

$$F_m = V_s^2 d_s^2 \frac{T_a}{4T_s}$$

三、 s_y 與 s_z 之計算

s_y 與 s_z 以 Pasquill-Gifford 曲線之方程式來決定，以下為針對鄉村型之計算方式：

$$s_y = 465.11628 \times x \times \tan(TH)$$

其中 TH 為距離之函數，定義如下：

$$TH = 0.017453293(c - d \ln x)$$

s_z 則是以下式計算：

$$s_z = ax^b$$

當 x 單位為公里時， s_y 與 s_z 單位為公尺。常數 a 、 b 、 c 、 d 之值則依穩定度以及距離之遠近而有所不同。

四、垂直項

一般說來，氣狀污染物與較小微粒（直徑約小於 0.1 微米）之重力沉降與乾沉降作用對於大氣濃度之影響是可忽略的，因此，氣狀污染物與較小微粒之垂直項為：

$$V = \exp[-0.5(\frac{Z_r - h_e}{s_z})^2] + \exp[-0.5(\frac{Z_r + h_e}{s_z})^2] + \sum_{i=1}^{\infty} \{ \exp[-0.5(\frac{H_1}{s_z})^2] + \exp[-0.5(\frac{H_2}{s_z})^2] + \exp[-0.5(\frac{H_3}{s_z})^2] + \exp[-0.5(\frac{H_4}{s_z})^2] \}$$

式中之 $h_e = h_s + \Delta h$

$$h_1 = Z_r - (2i \times Z_i - h_e)$$

$$h_2 = Z_r + (2i \times Z_i - h_e)$$

$$h_3 = Z_r - (2i \times Z_i + h_e)$$

$$h_4 = Z_r + (2i \times Z_i + h_e)$$

Z_r ：地面以上之受點高度

Z_i ：混合層高度

上式無限數列之項主要是計算垂直向煙流成長受限於混合層頂端之影響。假設有有效煙囪高度超過了混合層高度，則煙流假設完全貫穿了此層，地面濃度將設為零。

ISC 混合層高度是使用 Holzworth 法獲得，對於城市地區之穩定情況以及鄉村地區之中度穩定和不穩定之情況下，由此法所獲得之高度至少在平均上來說是較具有代表性的。然而，因為 Holzworth 法之最小混合層高度傾向於包括城市地區之熱島效應，對於鄉村地區之穩定氣候狀況（E 或 F 穩定度）有一些不確定性，所以 ISC 模式在鄉村地區 E 或 F 穩定度時將刪除上式之無限數列項。

在遇到高程變化較大之地形時，對於煙流之行為作以下之假設：

1. 當煙流穿越過高程變化較大之地形時，煙流主軸保持在海平面上之穩定高度。

2. 混合層高度隨著地形而變。
3. 風速是在地表面以上高度之函數。

因此，一個修正之煙流穩定高度 h_e' 將取代垂直項中之有效煙囪高度 h_e ，例如在點 (x,y) 之有效煙流穩定高度為：

$$h_e' = h_e + Z_s - Z|_{(x,y)}$$

式中之 Z_s 為煙囪之底部高於平均海平面之高度， $Z|_{(x,y)}$ 為受體點之位置高於平均海平面之地形高度。其中，若地形高度 $Z-Z_s$ 超過污染源之排放高度，則在實際排放高度將會自動去除受體點所增加之高度。

五、衰減項

衰減項係利用下列簡單方法來計算污染物經由物理或化學程序之去除部分：

當 $\sigma > 0$ 時， $D = \exp(-\Psi \frac{x}{U_s})$

當 $\sigma = 0$ 時， $D = 1$

其中 Ψ 為衰減係數 (1/s)，如果其值為零表示並未考慮衰減之影響， x 為下風之距離 (m)。

(3) 大氣穩定度

高斯或其他相關空氣品質模式，均需要穩定度來求取擴散係數，以達到預測空氣品質的目的。林 (1993) 及 Sharan (1995) 發現在穩定度等級的分類判斷若失當，會影響 ISC 模式模擬的結果。大氣穩定度 (atmospheric stability) 的計算方法頗多 (Mohan et al., 1998)，包括 Pasquill, Turner 修正式，Monin-Obukhov length, σ_e (10m)，Gradient Richardson number, Bulk Richardson number, temperature gradient 以及 U_R 等方法，本研究則是採用傳統的 Pasquill 穩定度判斷法 (Table 2)。Pasquill 方法的計算方式分為白天以及夜晚兩部分，在白天時段依照日照強度配合地面風速來決定，在某些有輻射量監測的地區，日照強度可以引用輻射量資料來分類，若沒有輻射量資料應用天頂角及雲量來決定日照強度，在此選用農委會霧峰農試所之輻射量資料，並依輻射量 $R > 2.15 \text{ MJ/m}^2\text{hr}$ 、 $2.15 > R > 1.08$ 及 $R < 1.08$ 分別定義為強、中、弱 (Mussio, 2001)；在夜晚的部分則是利用台中氣象站之雲量資料以及地面風速來判斷穩定度等級。穩定度之判斷影響

了煙囪排放高度風速之計算與 σ_y 、 σ_z 之大小，對於模擬的結果影響頗大，故在選擇判斷方法時必須更加謹慎。

Table 2 Pasquill stability class.

Surface wind speed (at 10m) m/s	Day			Night	
	Incoming solar radiation			Thinly overcast or	3/8 cloud
	Strong	Moderate	Slight	4/8 low cloud	
<2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Pasquill, 1974

(4) 混合層高度預測與複迴歸模式之建立

混合層高度的定義為空氣污染物在垂直方向所能擴散的最大垂直範圍，其推估方法依探空實測作業的長短可分為長期實測資料、短期觀測推估及理論計算公式。由於高斯擴散模式必須有全年之逐時混合層高度資料，故利用本研究室 1999-2000 年之密集探空觀測資料，如大氣壓力、溫度、風場等數據，再以 Holzworth 的絕熱遞減率法計算混合層高度，即利用探空資料作成位溫垂直分佈圖，而將所得之環境大氣氣溫直減率線以及修正過之乾絕熱直減率線兩者之交點，便是混合層高度之推估值，以此作為推估全年混合層高度之基礎。台大環工所參與蘇澳火力發電計劃環境影響評估（新系，1998）工作時，曾建立一套推估長期混合層高度的複迴歸模式，模式如下：

$$L = a u + b l + c (T/ t) + d (T-T6) + e$$

a 、 b 、 c 、 d 、 e 為迴歸係數

其中，

u ：地面風速 (m/s)

l ：日照強度 (MJ/m²hr)

T/ t ：當時地面之時間變率 (/hr)

$T-T6$ ：當時地面溫度與清晨六時之溫差 ()

由探空觀測所得之混合層高度，代入上式之複迴歸模式，求得各迴歸係數如下：

$$L = 8.55 u + 156.0 l - 7.61 c (T/ t) + 20.49 (T-T6) + 12.24$$

上式模式所得之混合層高度與觀測值之相關係數 $r=0.87$ 。利用上式複迴歸模式，再配合地面氣象資料進行全年逐時混合層高度之推估，以符合 ISC 模式模擬的需要。

第三章 結果與討論

3.1 模式驗證

3.1.1 軌跡模式

為了探討模式的適用性，本研究選擇環保署忠明測站為模式模擬的受體點，模擬 2000 年 SO₂ 濃度。模式在排放量上除了加入台中與通霄等大型點源之更新資料外，並加入一排放量之週變化參數 (Ziomas et al., 1995 ; Simmonds and Keay, 1997 ; Cheng and Lam, 1998)，因國內排放量資料僅有整年的統計資料，在模擬每個小時的污染物濃度時，易造成若干誤差，為了降低模式使用時的不確定性，有必要針對國內經濟生產、交通活動等變化加以修正。Table 3 與 Fig 4 為忠明測站逐月觀測值與模擬值之比較，其中，SO₂ 的模擬值約較實際觀測值高約 1.5 倍，尤其以夏季的 6~8 月最為明顯，可見模式在 SO₂ 濃度值的模擬上有高估的現象。從相關係數上看來，模擬良好的月份為秋末至春初期間，夏季的模擬結果較差。

Table 3 Results of CTx model performance evaluation.

Month	Obs (ppb)	Calc (ppb)	Corr. Coeff. ()	Std err (ppb)	Success(%)
Jan	4.08	3.99	0.34	3.11	71.0
Feb	2.73	4.16	0.43	2.73	92.9
Mar	3.84	4.12	0.15	2.45	74.2
Apr	2.85	4.20	0.19	1.94	93.3
May	4.24	4.20	0.24	2.41	74.2
Jun	2.72	4.07	0.12	1.54	96.7
Jul	2.86	3.97	0.05	2.12	96.8
Aug	2.40	4.18	0.07	1.64	100.0
Sep	3.76	4.15	0.34	2.69	73.3
Oct	3.15	4.03	0.20	2.00	83.9
Nov	3.49	3.94	0.37	2.61	83.3
Dec	3.29	3.76	0.28	3.29	86.7

Success：以觀測值加上一倍標準偏差為污染嚴重之標準，若觀測值與模擬值同時為污染嚴重或同時為非污染嚴重，則定義為模擬成功。

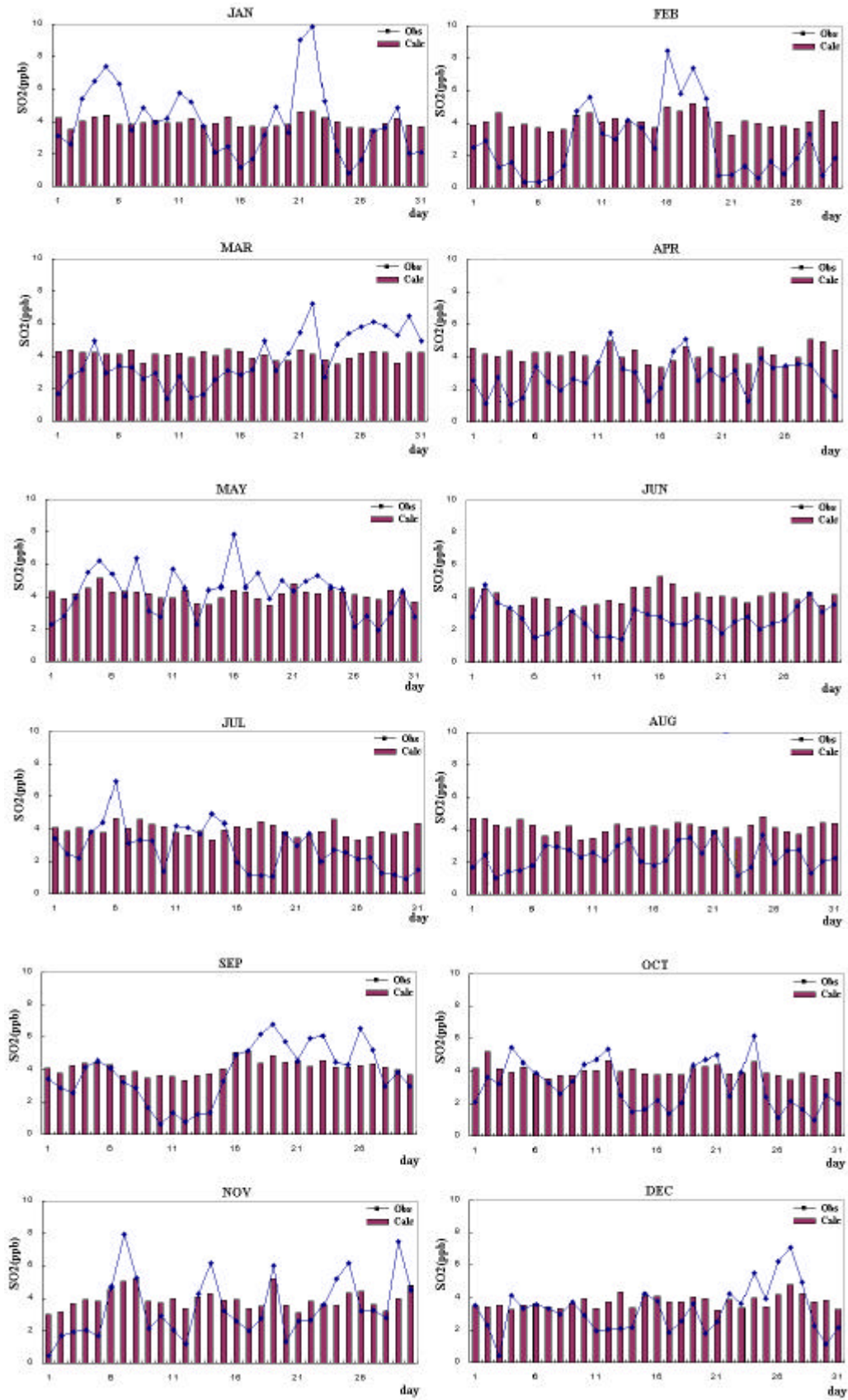


Fig. 4 The comparison of observed and simulation SO₂ concentration in 2000.

3.1.2 ISC 模式

對一個空氣品質模式來說，評估模式模擬結果的準確程度是相當重要的 (Sivacoumar and Thanasekaran, 1999)，故利用 ISC 模式所模擬之 SO₂ 月均值與實際監測數據作比較，採用 Willmot and Wicks (1980) 所建議之均方根誤差 (root mean square error, RMSE) 與精確度 (index of agreement, d , 0 ≤ d ≤ 1) 來評估模式預測的精確程度與誤差，其中，RMSE 值越接近 0 或 d 值越接近 1 表示模擬結果與實際狀況吻合。

Table 4 中，由相關係數、Total RMSE、d 值等計算結果來看，以和美、鹿港、伸港之結果較佳，在相關係數上，三測站之結果分別為 0.80、0.78、0.69，Total RMSE 分別為 9.03、4.26、5.31，d 值則為 0.70、0.65、0.64。梧棲站由於容易受到渠道效應的影響，在東北季風吹拂下一般風速甚大且風向穩定，另外，位於內陸的南投與竹山站由於受到距離 (約 50 km) 與地形 (八卦山) 的影響，整體來說模擬結果並不理想，可見 ISC 模式單一風場的限制，容易造成相當大的誤差，由本研究的結果來看，ISC 模式適合小範圍 (40 km 內) 與平坦地形的模擬。和美測站由於位於中部地區沿海與內陸之間，測站周圍並無其他較高建築物的阻擋，

Table 4 Results of ISC model performance evaluation.

Parameter	Homei	Lukang	Hsienhsi	Shenkang	Wuchi	Wuchi ^a	Nantou	Chushan
<i>A. Summary measures</i>								
1. Observed mean	16.28	7.49	11.55	9.21	10.25	10.25	2.13	2.39
2. Predicted mean	17.24	5.86	11.29	9.22	7.90	9.22	2.31	1.87
3. Observed deviation	5.44	2.86	6.43	3.76	6.99	6.99	0.95	1.10
4. Predicted deviation	5.53	2.91	3.45	2.94	5.08	4.00	0.91	0.85
<i>B. Linear regression</i>								
1. Intercept	5.54	-0.09	7.37	4.28	10.40	5.92	1.86	1.43
2. Slope	0.72	0.80	0.34	0.54	-0.24	0.32	0.12	0.51
3. Correlation coefficient	0.80	0.78	0.63	0.69	0.34	0.56	0.11	0.39
<i>C. Difference measures</i>								
1. Systematic MSEs	3.22	2.84	17.57	2.91	78.28	23.04	0.09	0.14
2. Unsystematic MSEu	8.44	3.17	6.94	4.44	22.24	10.65	1.15	0.92
3. Total RMSE	9.03	4.26	18.89	5.31	81.38	25.38	1.15	0.93
<i>D. Index of agreement</i>								
	0.70	0.65	0.51	0.64	0.35	0.47	0.35	0.41

a. 氣象檔中之風向風速以梧棲測站代入

故本研究中中部地區地面風場選擇以和美站來代表，由模擬結果來看(Table 8)，大部份均與解析能力較佳的順軌跡模擬相似，但七月份則表現出較大的差異，可見 ISC 模式在地面風場的選擇上，必須選擇較具當地風場特性的測站來代表。

3.2 電廠減量效應

3.2.1 台中火力發電廠

台中電廠自 1997 年 3 月至 1999 年 10 月間陸續加裝了 8 部排煙脫硫設備，在通氣運轉初期由於操作狀況不佳，排放量並未有預期降低成效，但自 1999 年 7 月起，硫氧化物每月的排放量已下降至約 1 千噸 (Fig. 5)。由 1997 與 2000 年中部地區地面 SO₂ 濃度，比較台中電廠在 FGD 裝設前後地面濃度的差異，其中以二林與崙背測站降低比率最大，分別為 52 % 與 64 %，竹山測站因位於內陸地區，降幅僅約 5 %，其它測站約有 20 % 的降低比率，而在電廠 FGD 加裝期間的 1998 與 1999 年，測站監測濃度亦有隨電廠排放量減少而降低的趨勢。硫氧化物經污染源排放之後，除了增加地面 SO₂ 濃度之外，經氣液相反應之後所形成的硫酸鹽，還會造成懸浮微粒濃度的貢獻。 Fig. 6~Fig. 17 為 1997 年至 2000 年由台中火力發電廠出發之順軌跡與 ISC 模擬結果，底下依春、夏、秋、冬四季模擬之結果，分別探討台中電廠 SO_x 排放減量，對地面 SO₂ 與硫酸鹽濃度的改善效果。

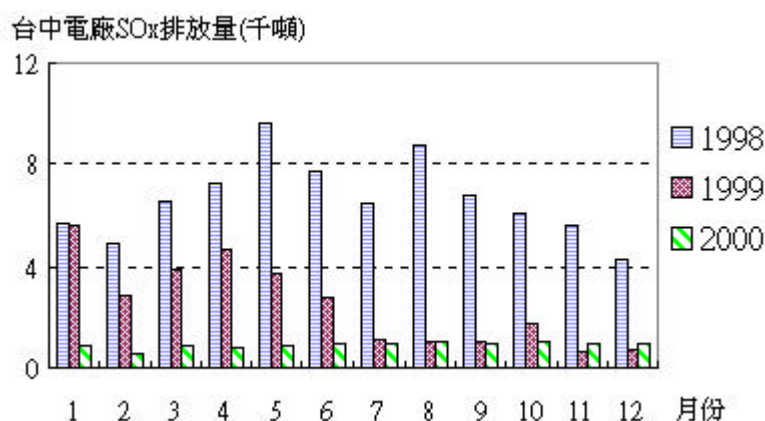


Fig. 5 Monthly emissions from Taichung power plant during 1998~2000.

(1) 順軌跡模擬結果

一、春季 (3 月~5 月)

春季由於盛行風微弱，風場主要受區域性環流主宰，由 3 月~5 月的平均煙

線圖可以發現，電廠的影響範圍往內陸的南投、竹山地區移動且分散。1997 年、1998 年春季之軌跡煙線圖中，以台中港區為圓心向四周擴散，以台中縣市及彰化受電廠的影響最大，台中港區之電廠貢獻濃度約為 5~10ppb，其它地區的濃度大部份均高於 1ppb，可見電廠在未加裝污染防治設備之前，硫氧化物的排放對中部地區的影響頗大。在排放量逐步降低之後，由 1999 年春季的電廠貢獻濃度發現，相較於 1997 年與 1998 年已有明顯的降低，平均濃度約 5ppb 左右，而在污染防治設備完全上線的 2000 年，電廠硫氧化物的減量使得中部地區地面平均 SO₂ 濃度均低於 1ppb，可見電廠在硫氧化物的減量已具成效。

Fig. 10~Fig. 13 為台中電廠所貢獻之地面平均硫酸鹽濃度，由於硫酸鹽須經光化反應產生，電廠貢獻之硫酸鹽濃度高值約在電廠下風處 30 km 左右，對雲林、南投地區的 PM₁₀ 濃度影響最大，1997 年春季約有 5~10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右的貢獻，2000 年電廠對中部地區的平均貢獻濃度則下降至 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右。

二、夏季（6 月~8 月）

七月份中部地區風場顯得較為混亂，主要以偏南風系與海陸風為主。由 Fig.6~Fig.9 發現，除了 1998 年 7 月受到西南氣流的影響，大部份的軌跡都往電廠以北的苗栗方向前進，對台中縣沿海造成較大的貢獻濃度，其它月份則是受到海陸風影響，使得電廠排放之污染物隨風飄散到達內陸的南投地區，但由於受到距離及大氣的稀釋擴散等作用，南投地區受電廠影響之 SO₂ 濃度一般均低於 2ppb。1997 年與 1998 年電廠最大貢獻濃度介於 5~10ppb 之間，以台中縣市、苗栗以及南投受到衝擊最為嚴重。由 1999 年以及 2000 年夏季模擬結果來看，電廠排放減量已有相當明顯的成效，電廠對中部地區的貢獻濃度均低於 1ppb。

夏季由於受海陸風影響，電廠排放之污染物易受海風吹拂深入內陸，並受山脈阻隔，造成南投地區 PM₁₀ 濃度的累積。硫酸鹽濃度在 1997 年平均約有 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的貢獻量，1998 年約降至 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，2000 年對中部地區普遍均下降至 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下。由各季節 SO₂ 與硫酸鹽濃度來看，電廠於夏季所貢獻之濃度較低，應是受到降雨與混合層高度較高的影響所致。

三、秋季（9 月~11 月）

秋季由於東北季風逐漸增強，局部環流勢力相對減弱，大部份軌跡由電廠出

發沿著海岸往南經彰化到達雲林，使得電廠在 1997 年以及 1998 年對這部份區域的貢獻濃度達到 5ppb，而在 1999 年之後，電廠對中部地區地面 SO₂ 濃度的貢獻上，僅在部份地區達 2ppb，一般 SO₂ 濃度均低於 1ppb。

秋季硫酸鹽之高值主要位於彰化地區，在 1997 年最高約有 5~10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，且隨著排放量的降低，硫酸鹽濃度有逐年下降的趨勢，至 2000 年則約有 1~2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的貢獻。

四、冬季（12 月至隔年 2 月）

冬季受到強烈東北盛行季風的影響，主要以偏北風系為主，中小尺度環流之影響則較不顯著。由電廠為起點的平均煙線圖發現，受到電廠影響的區域主要分佈在電廠下風處的沿海地區，與秋季模擬結果類似。Fig. 6 為 1997 年 1 月、2 月之月平均煙線圖，台中電廠主要影響區域為彰化地區以及雲林部份地區，電廠 SO₂ 貢獻濃度大約為 3~4ppb。1997 年 12 月至 1998 年 2 月份台中電廠影響範圍亦集中在台中港區、彰化以及雲林沿海地區，雖然台中電廠自 1997 年 1 月~1998 年 1 月加裝了 4 部排煙脫硫設備，但貢獻濃度相較於 1997 年則是高約 1~2ppb，此應與 1997 年 12 月至 1998 年 2 月太陽輻射量（Solar Radiation）較低，造成氣固相轉換速率降低有關，由此結果可證明地面污染物濃度並非完全由污染源排放量來決定，受到氣象條件（包括風場、降雨、日照強度、混合層高度等）的影響亦不可忽視。1998 年 12 月至 1999 年 2 月電廠的貢獻則是以台中港區以及彰化濱海地區為主，整個中部地區的 SO₂ 濃度相較於 1997 年則是有些微的下降。由 1999 年 12 月至 2000 年的平均煙線圖可以明顯觀察出，由電廠排放造成的 SO₂ 濃度已經有相當大的改善，大部份地區均小於 0.5ppb。

冬季硫酸鹽濃度受盛行風的影響，高濃度位於下風處的彰化、雲林一帶，對內陸的南投地區之硫酸鹽濃度影響不大。

（2）ISC 模擬結果

Fig. 14~Fig. 17 為 ISC 模式模擬台中火力發電廠對中部地區地面 SO₂ 貢獻濃度，由模擬結果發現，電廠硫氧化物的排放減量對地面 SO₂ 濃度的貢獻有降低的趨勢，1999 年 7 月之後，隨著排放量的趨於穩定，其貢獻濃度亦維持在 1ppb 左右的貢獻。底下依春、夏、秋、冬四季分別討論：

一、春季（3月~5月）

台中電廠在春季影響範圍集中在台中以及彰化等地區，1997 與 1998 年約有 2ppb 左右的貢獻，且僅 5 月份有海陸風現象，對台中縣與南投內陸地區的貢獻小於 1ppb。1999 年春季以台中、彰化沿海受電廠影響較大，貢獻濃度約有 1ppb。2000 年受到電廠排放影響的區域相當小，對中部地區地面 SO₂ 濃度貢獻量不大，雖就其排放量來說仍屬重大點源，但由其影響程度來看，已被台玻等其它點源所取代。

二、夏季（6月~8月）

夏季主要受到西南氣流與海陸風主宰，由模擬結果來看，電廠以南的彰化、雲林僅部分地區受到電廠排放的影響，主要為電廠以北的台中與苗栗等地，在 1997 與 1998 年平均約有 2~3ppb 的貢獻濃度，在 1999 年與 2000 年電廠貢獻濃度明顯降低許多，僅約有 0.5ppb 的貢獻量。

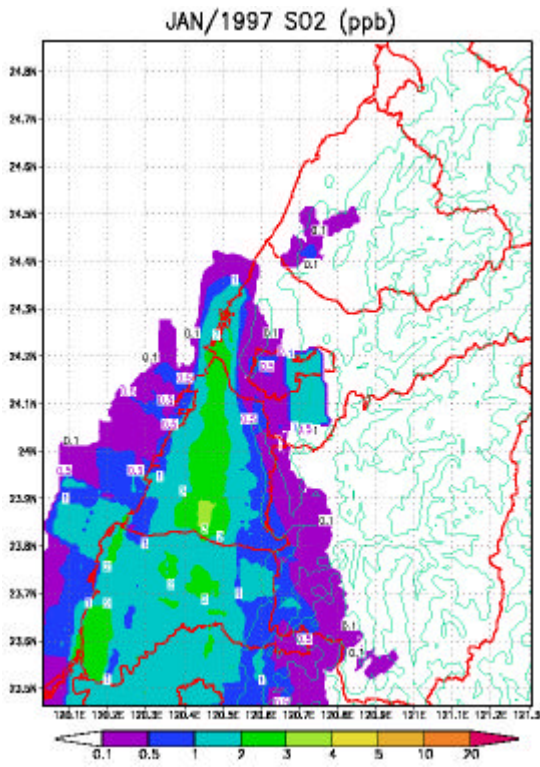
三、秋季（9月~11月）

9~11 月風向主要以偏北風系為主，電廠排放之污染物經排放至大氣之後，往南沿著海岸吹送至下風處的彰化、雲林地區，電廠貢獻濃度由 1997 與 1998 年的 2ppb 降至 1ppb 以下。

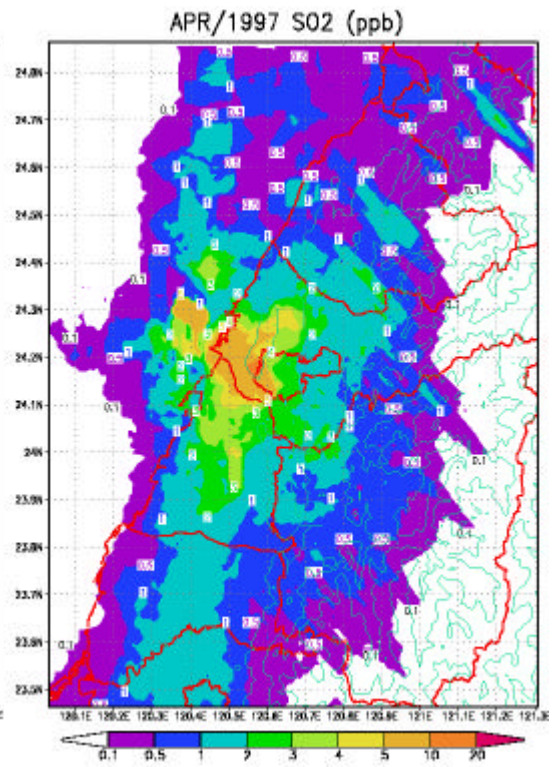
四、冬季（12月至隔年2月）

冬季之模擬結果以 1997 年 12 月~1998 年 2 月的貢獻濃度最高，主要影響範圍與秋季相似，集中在彰化、雲林一帶沿海。1998 年 12 月~1999 年 2 月電廠貢獻濃度則是下降約 1ppb，1999 年 12 月至隔年 2 月平均貢獻濃度則是降至 1ppb 左右。

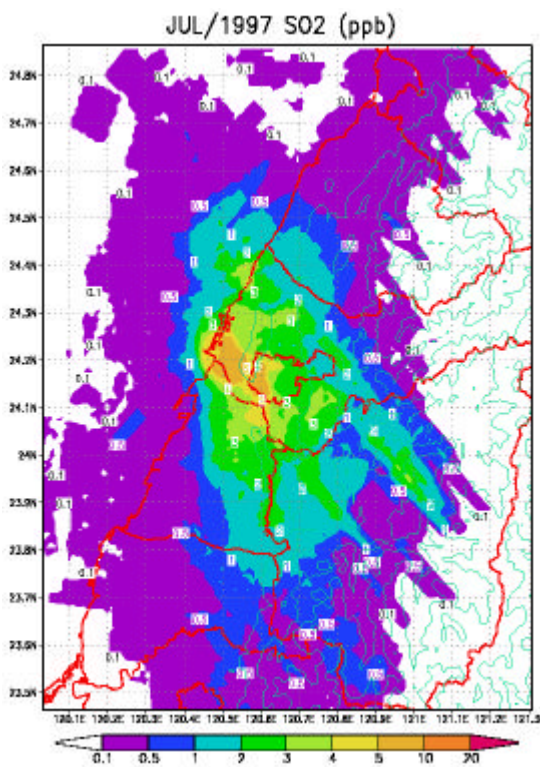
(1)



(2)



(3)



(4)

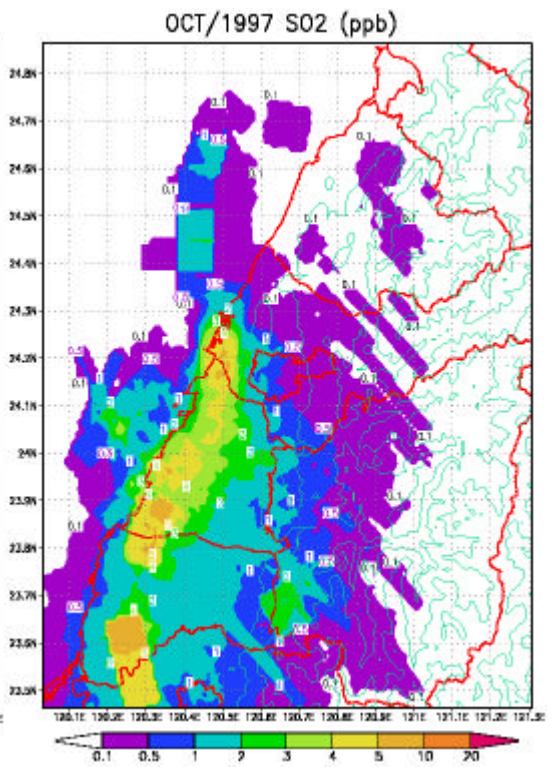


Fig. 6 The average streak line of SO₂ from Taichung power plant in 1997.

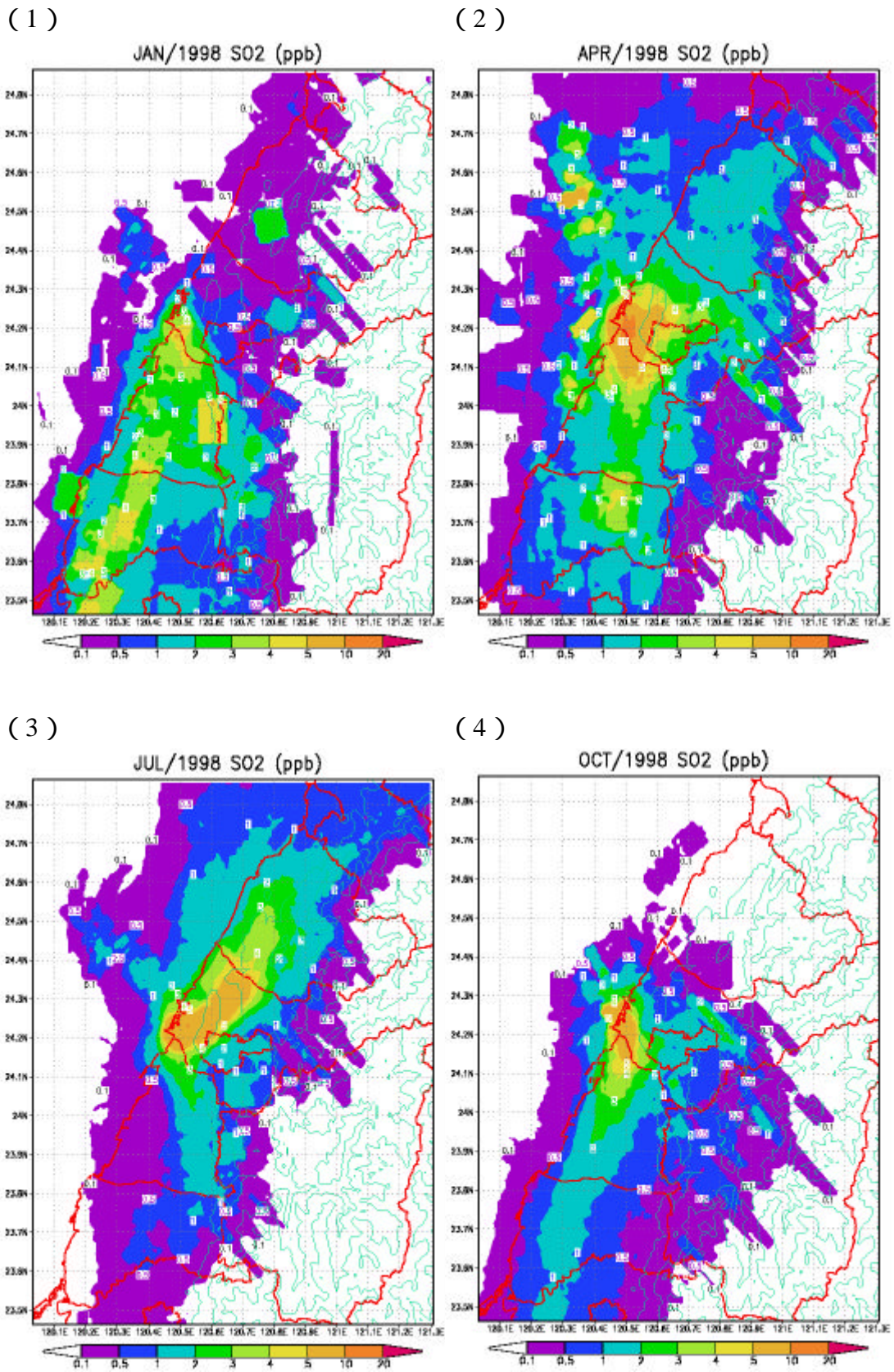
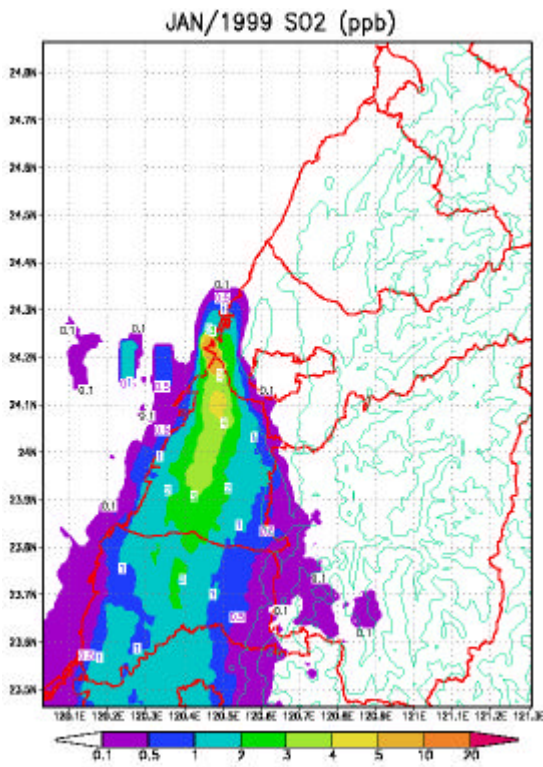
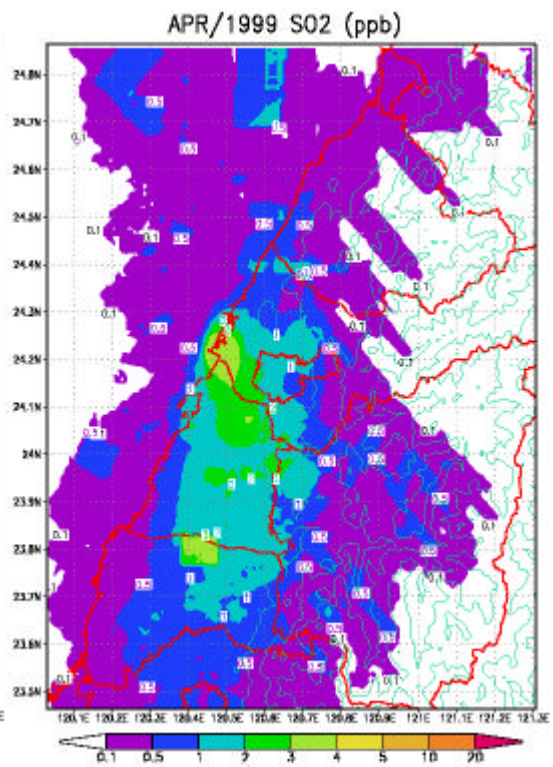


Fig. 7 The average streak line of SO₂ from Taichung power plant in 1998.

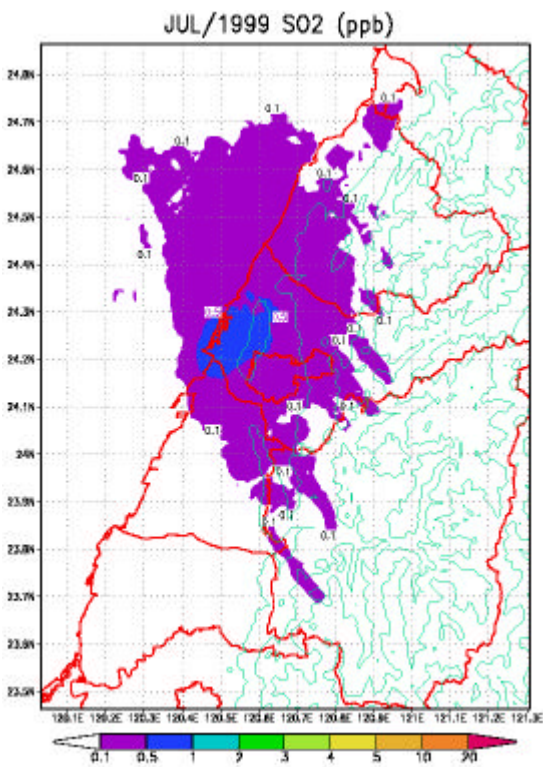
(1)



(2)



(3)



(4)

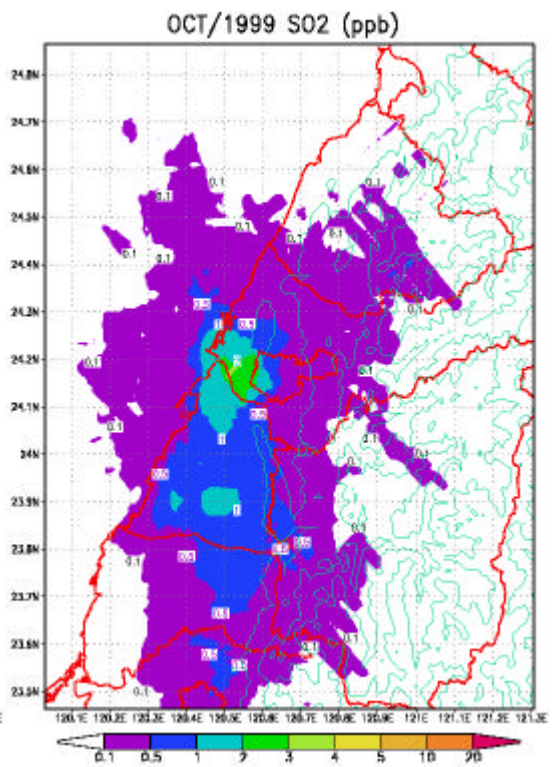
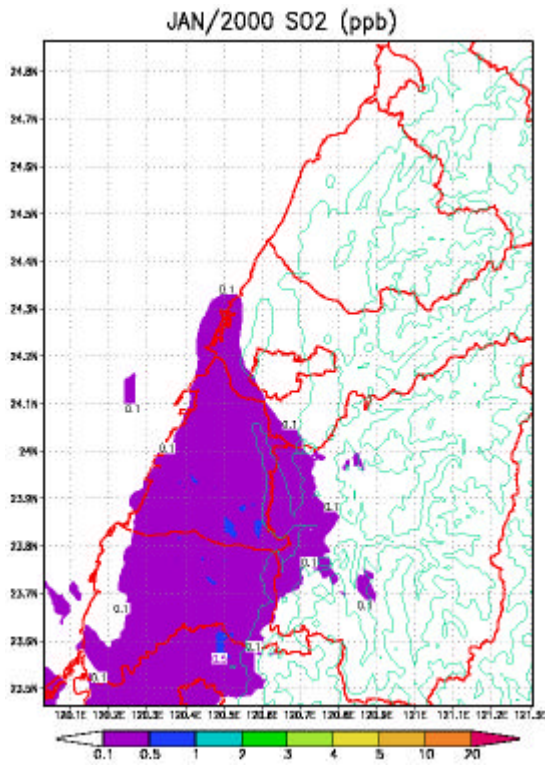
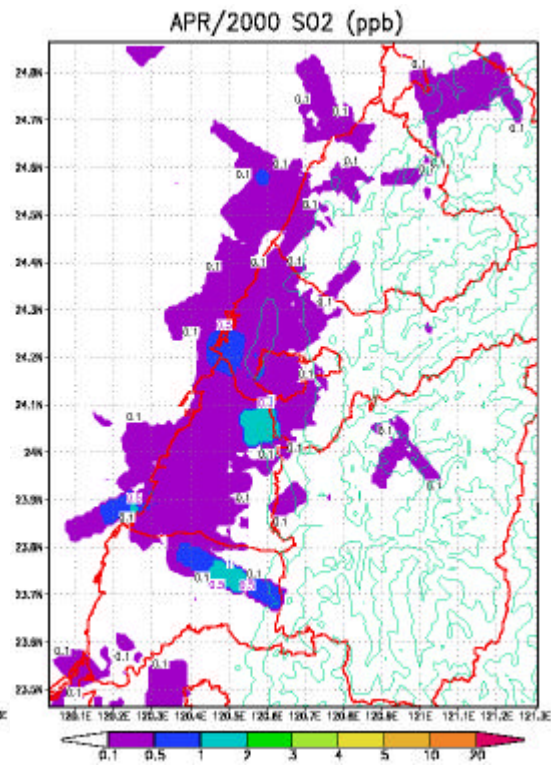


Fig. 8 The average streak line of SO₂ from Taichung power plant in 1999.

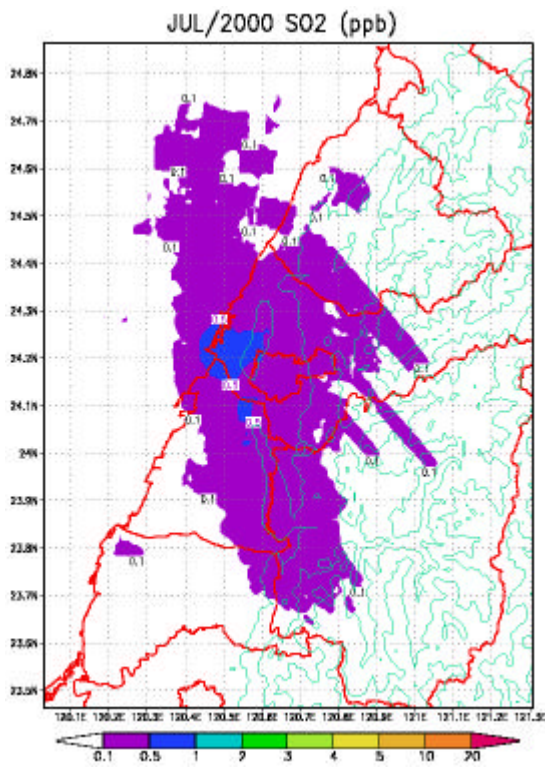
(1)



(2)



(3)



(4)

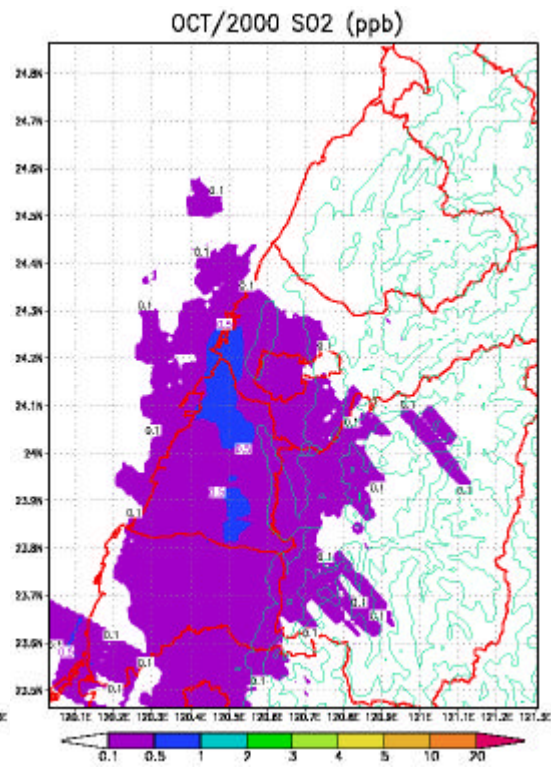
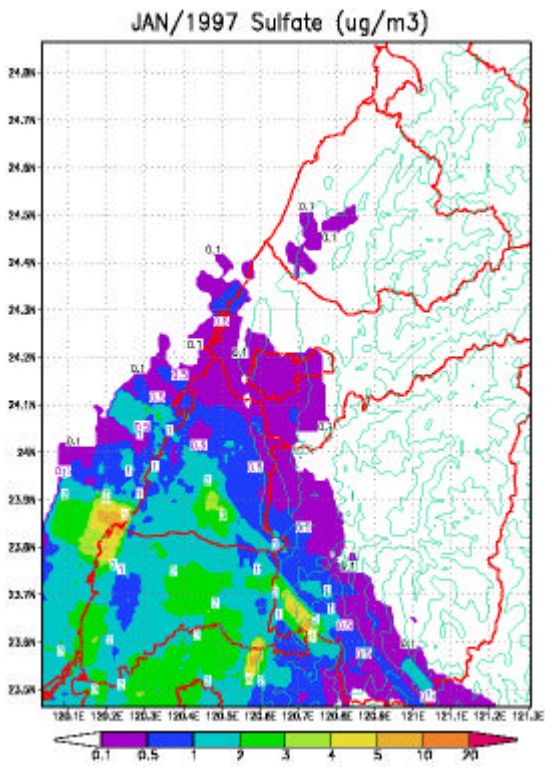
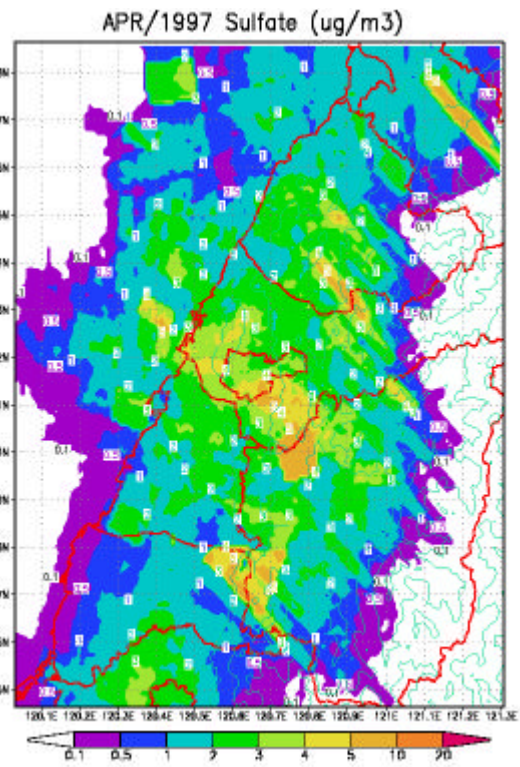


Fig. 9 The average streak line of SO₂ from Taichung power plant in 2000.

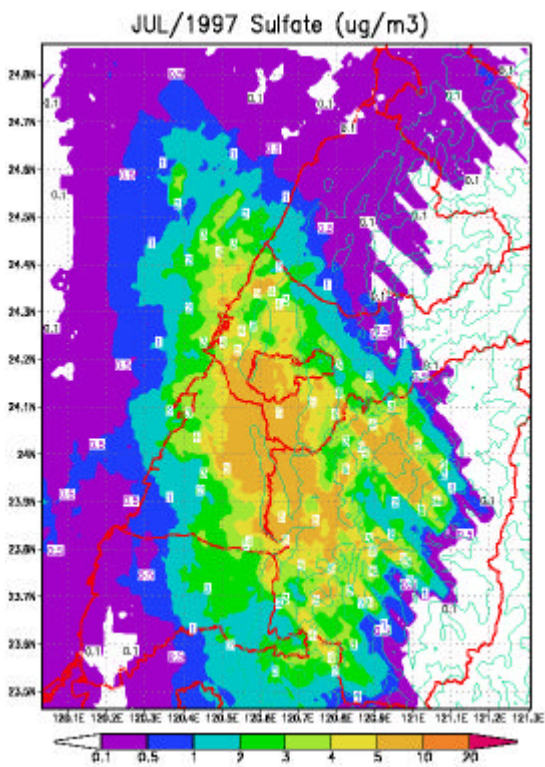
(1)



(2)



(3)



(4)

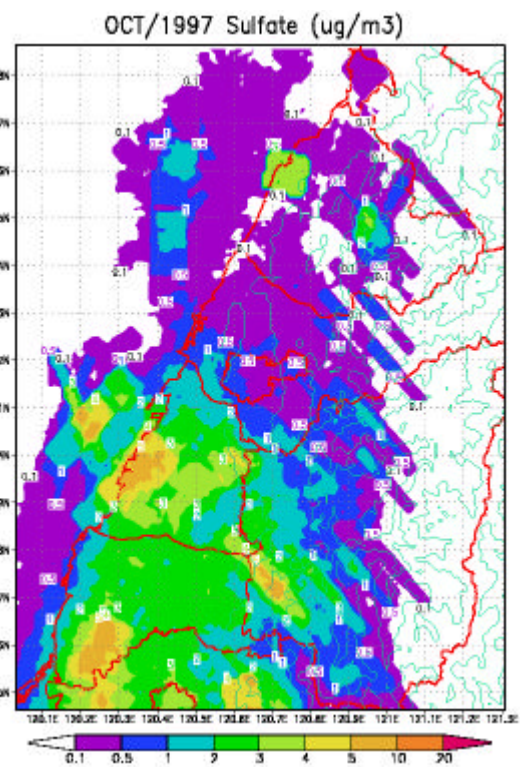
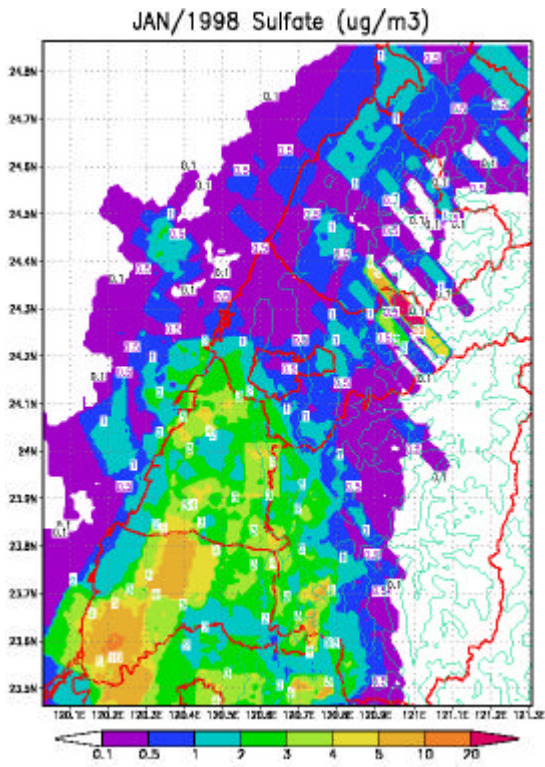
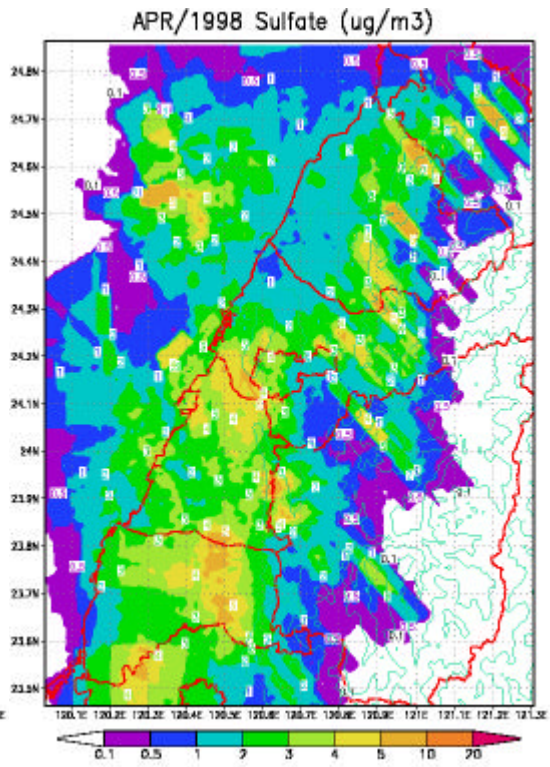


Fig. 10 The average streak line of sulfate from Taichung power plant in 1997.

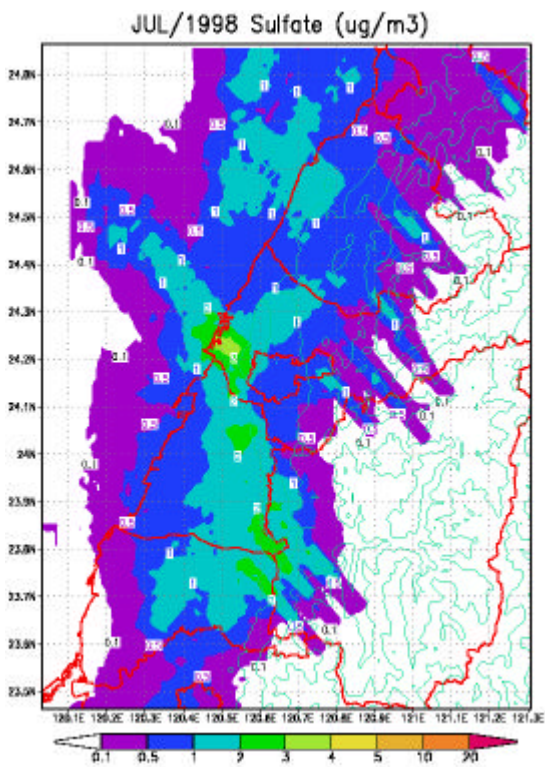
(1)



(2)



(3)



(4)

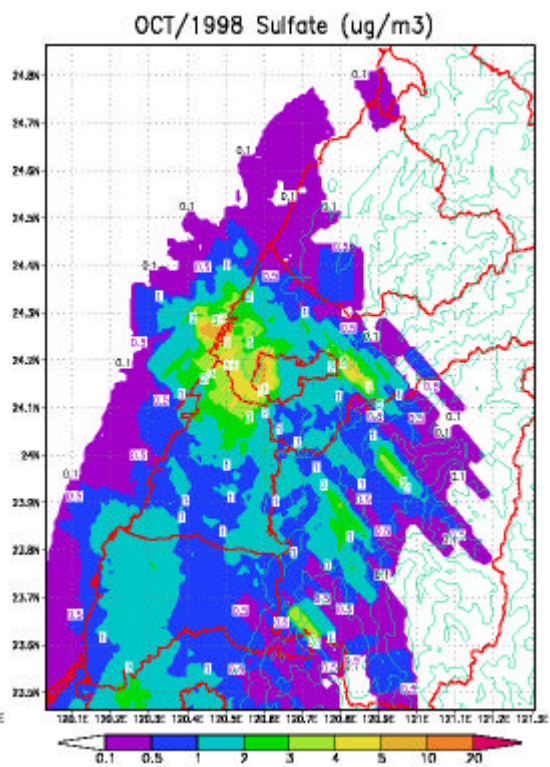
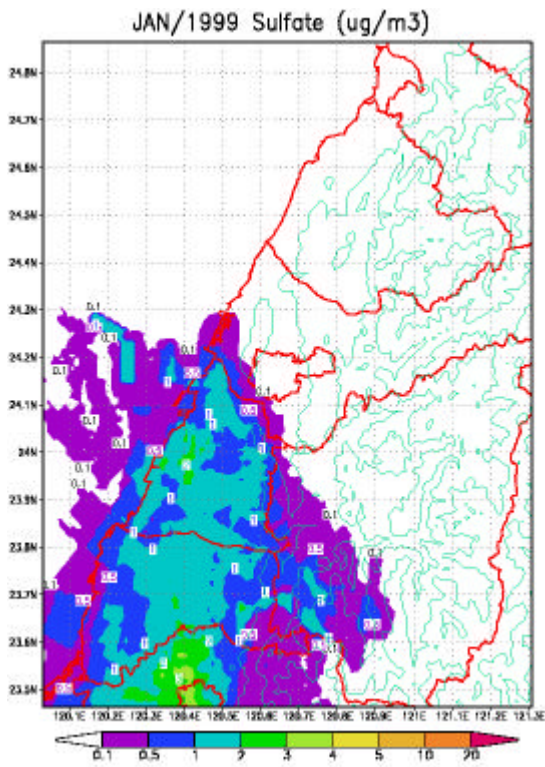
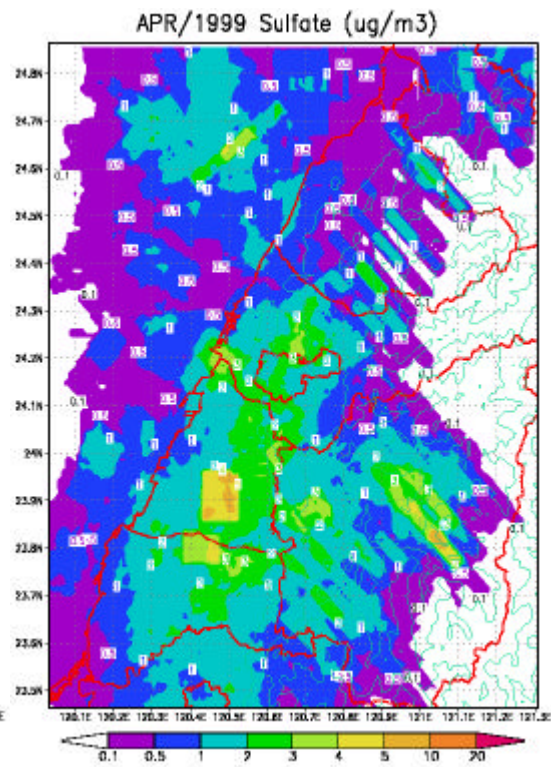


Fig. 11 The average streak line of sulfate from Taichung power plant in 1998.

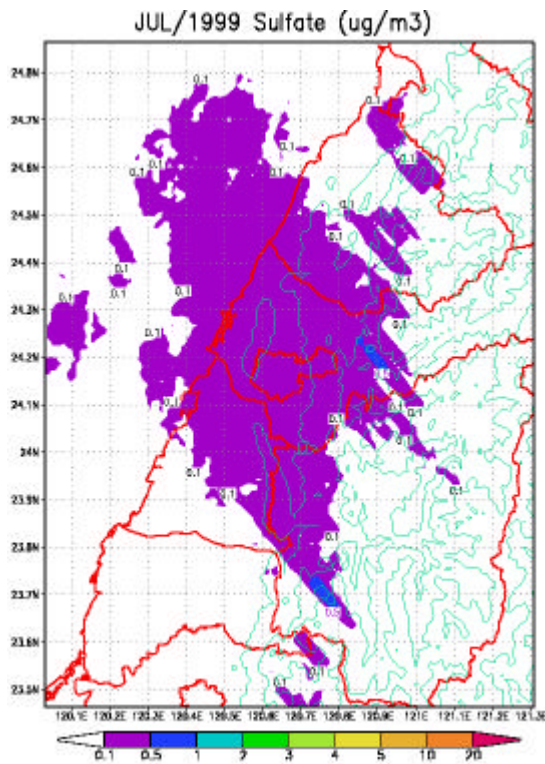
(1)



(2)



(3)



(4)

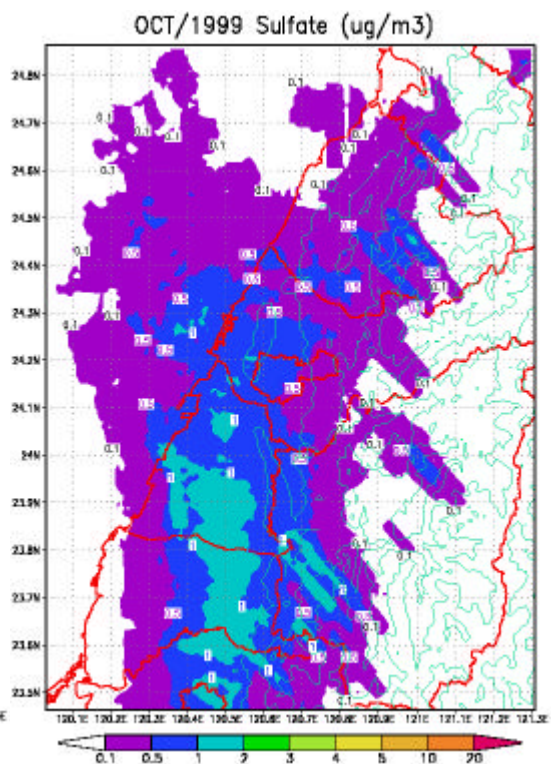
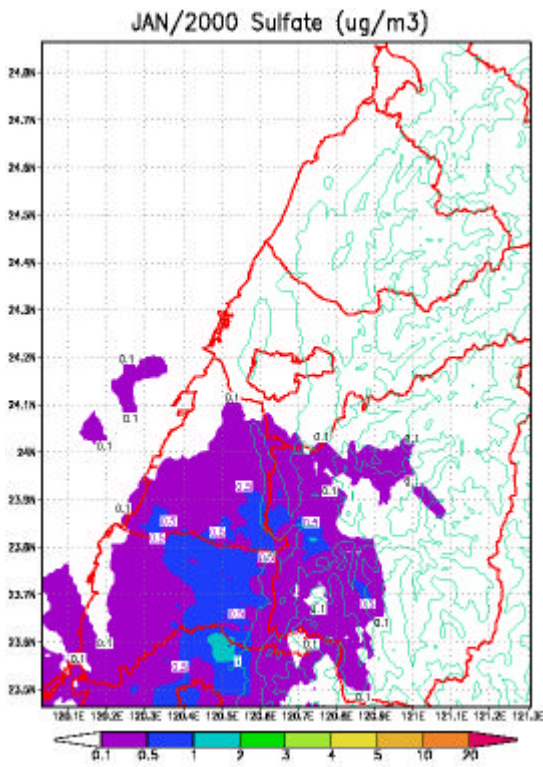
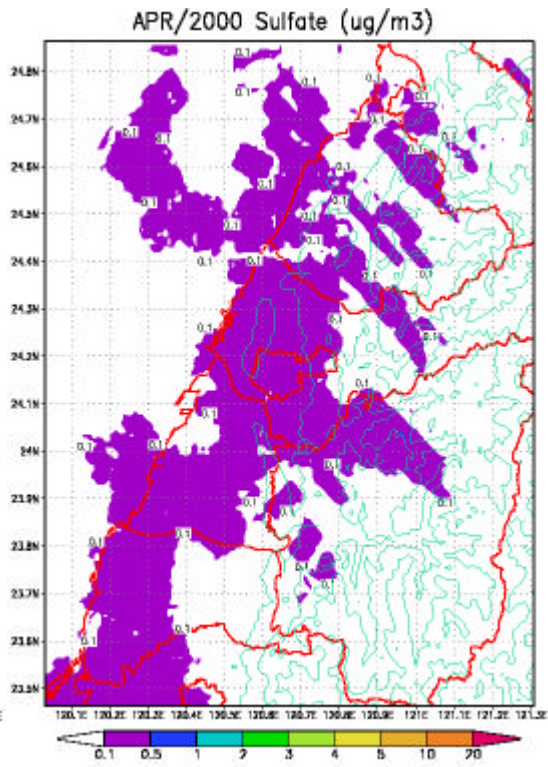


Fig. 12 The average streak line of sulfate from Taichung power plant in 1999.

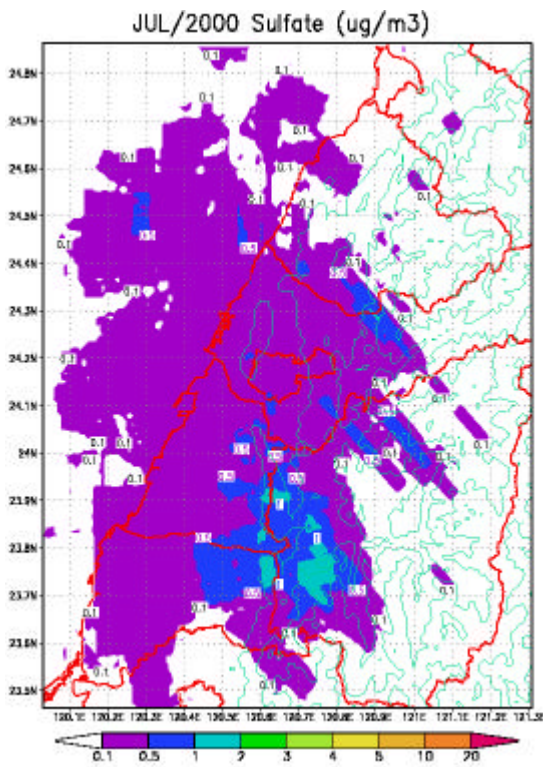
(1)



(2)



(3)



(4)

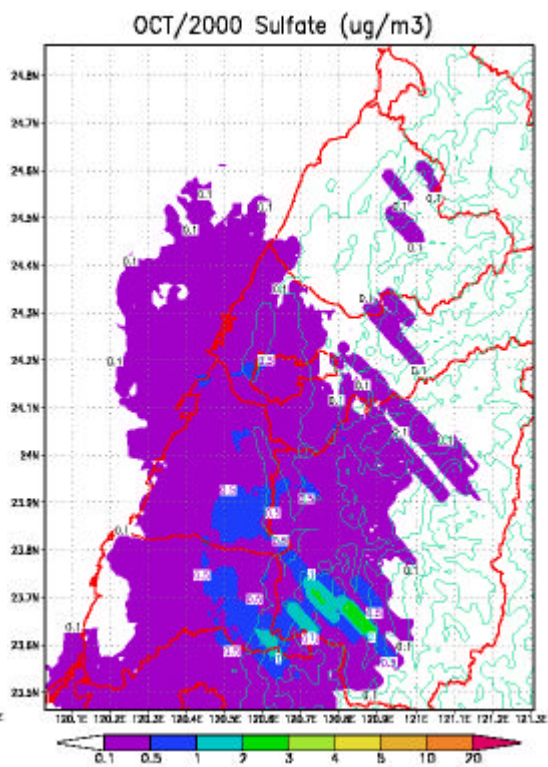


Fig. 13 The average streak line of sulfate from Taichung power plant in 2000.

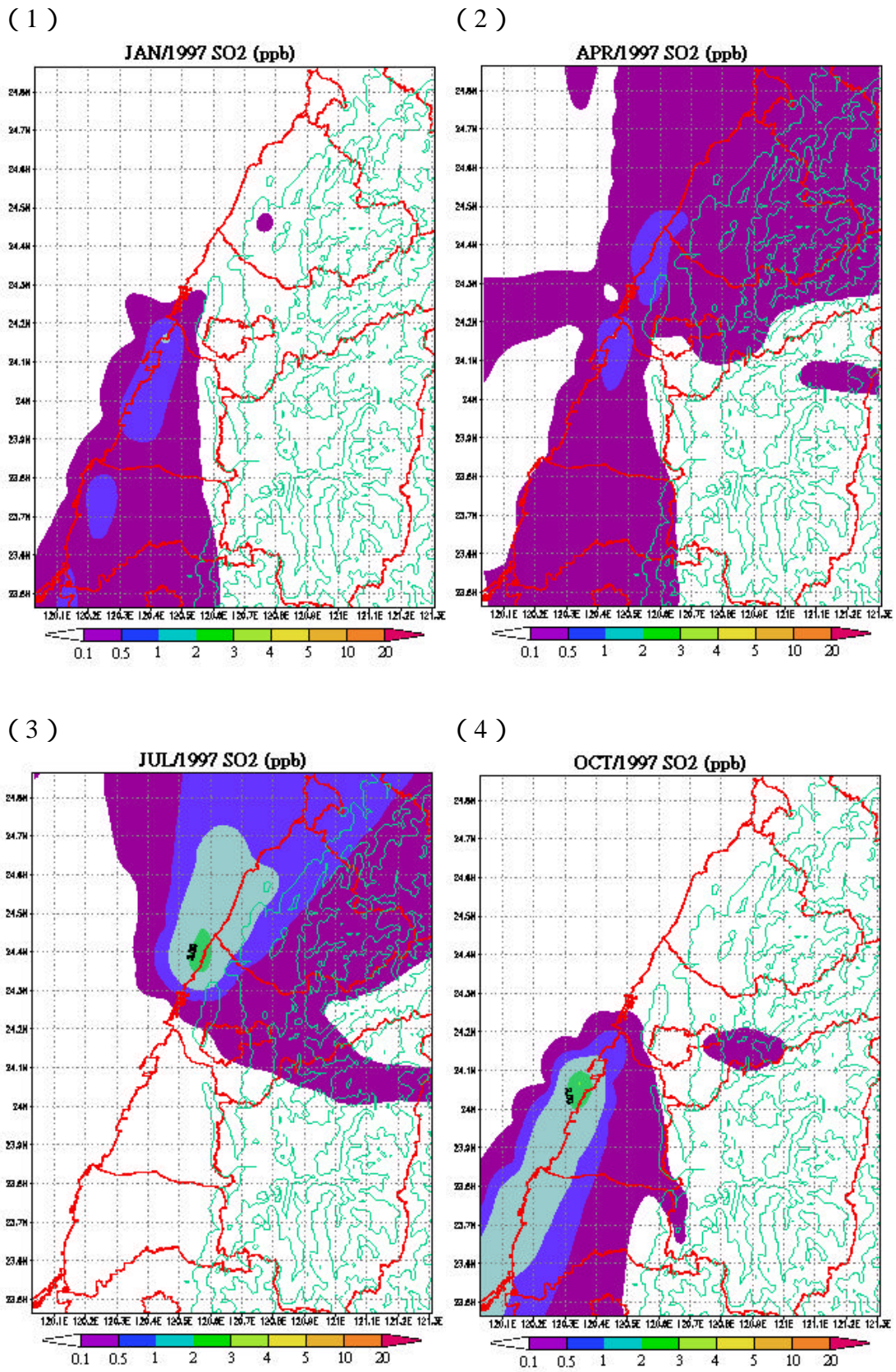


Fig. 14 Monthly average SO₂ concentration from Taichung power plant in 1997.

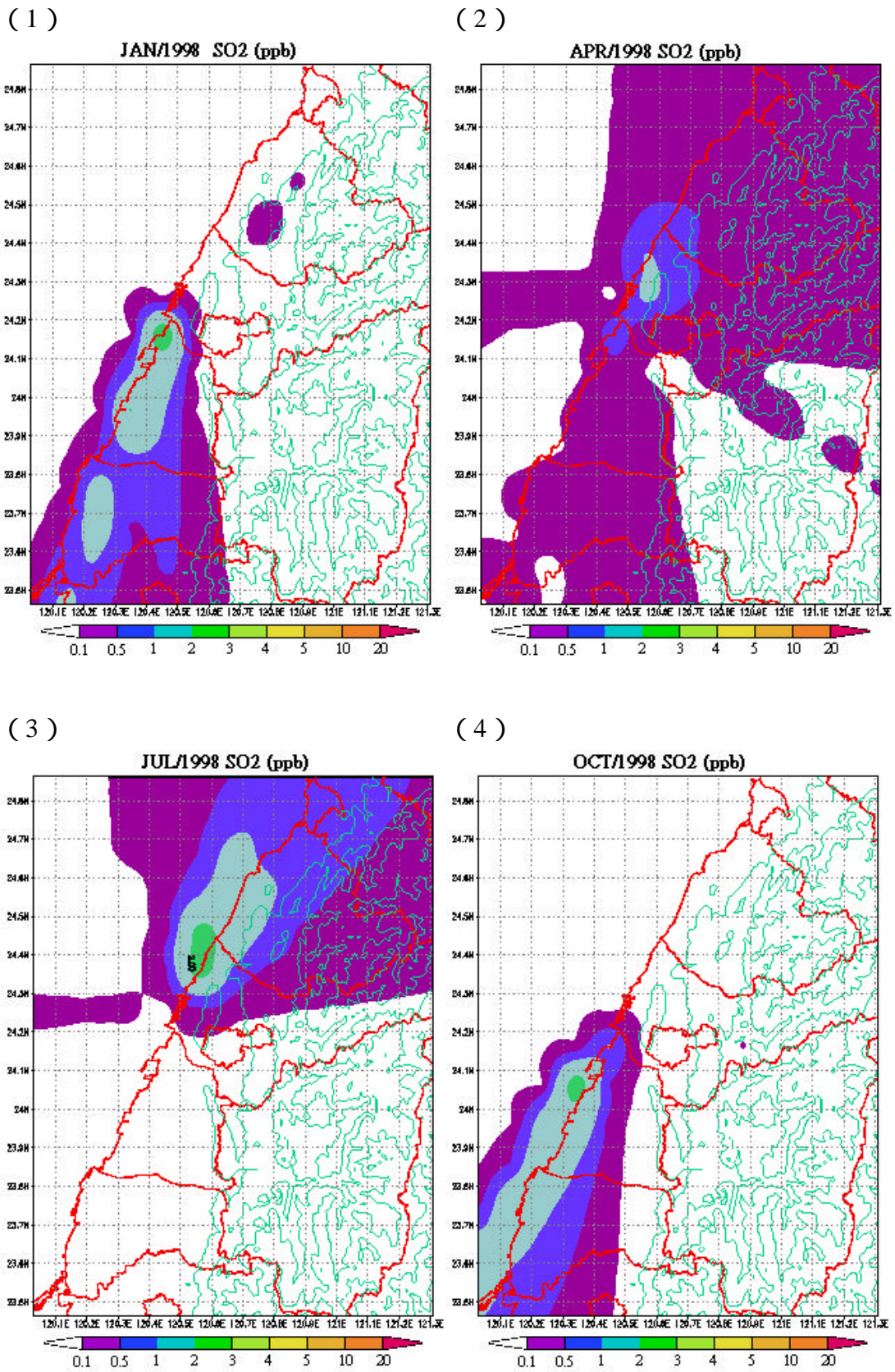
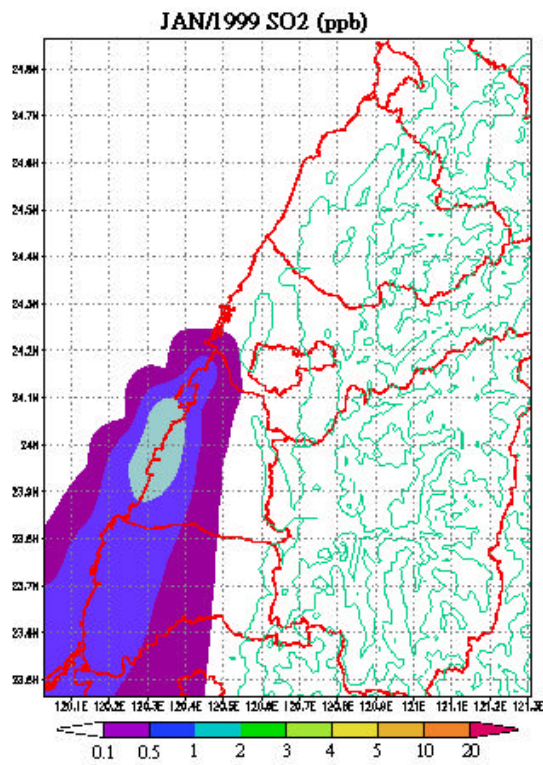
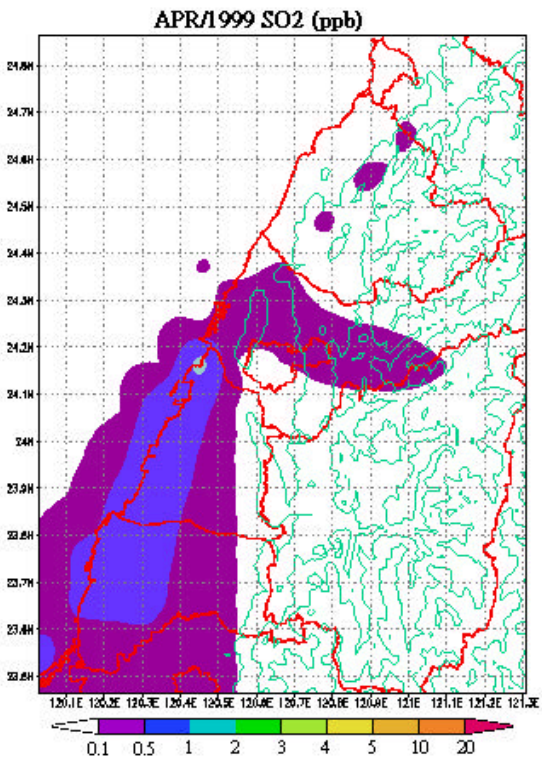


Fig. 15 Monthly average SO₂ concentration from Taichung power plant in 1998.

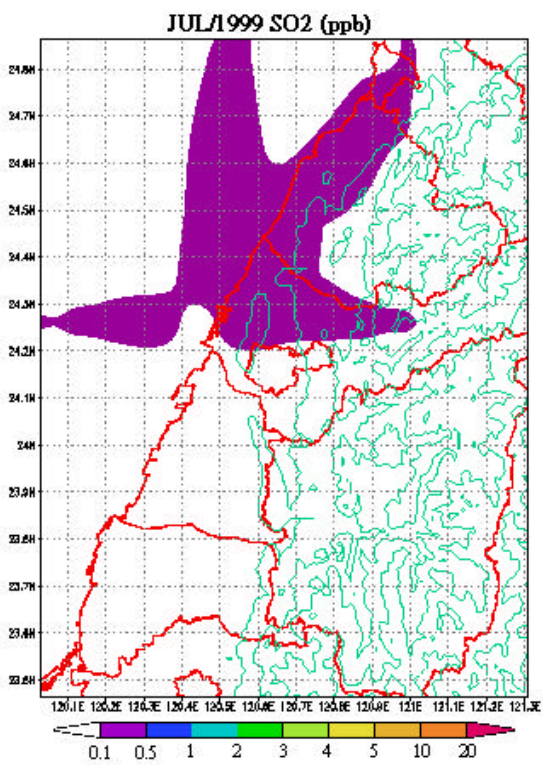
(1)



(2)



(3)



(4)

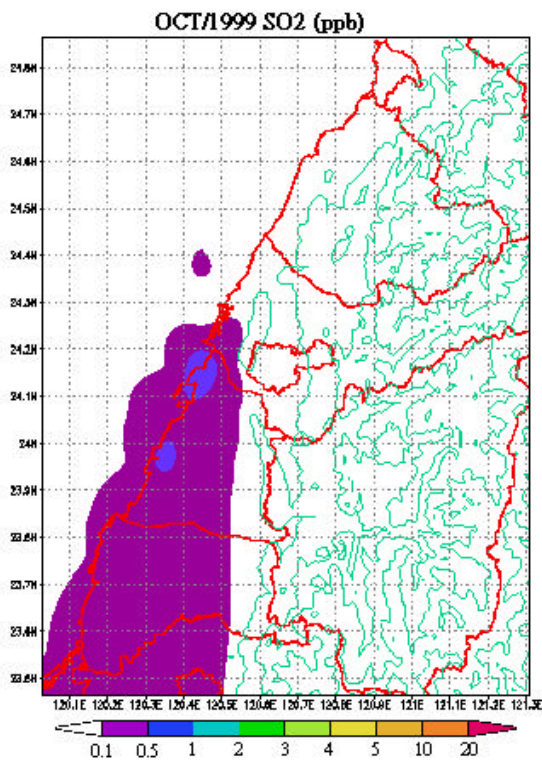
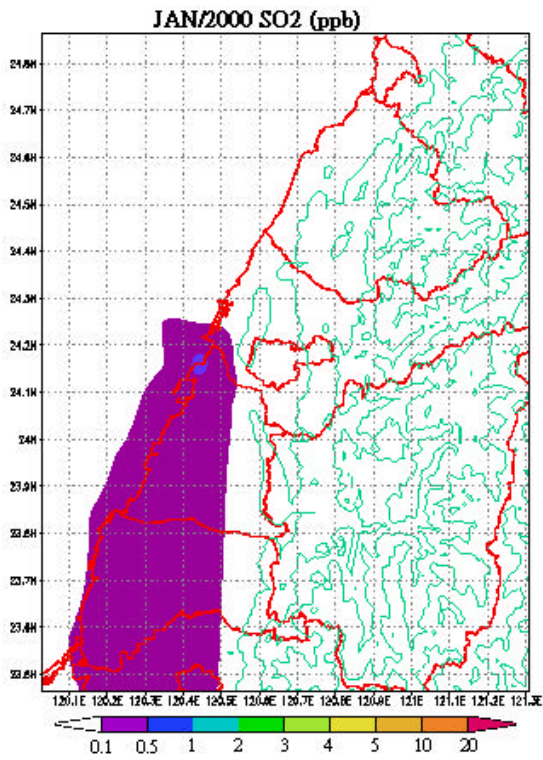
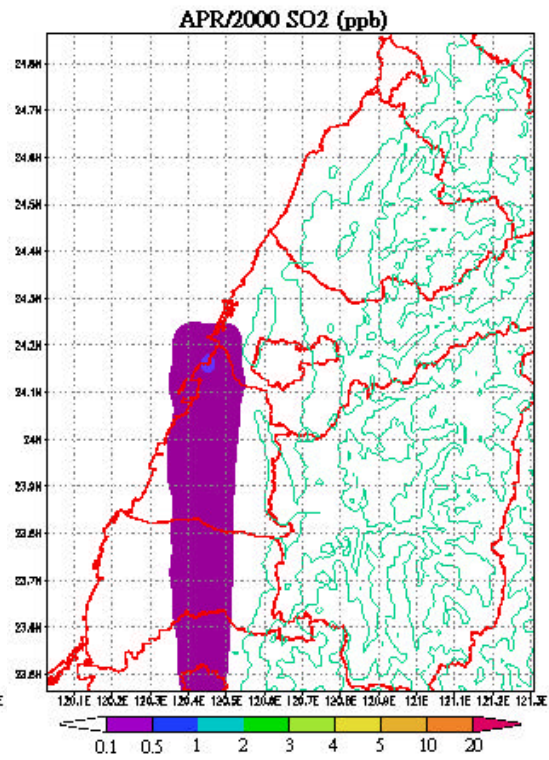


Fig. 16 Monthly average SO₂ concentration from Taichung power plant in 1999.

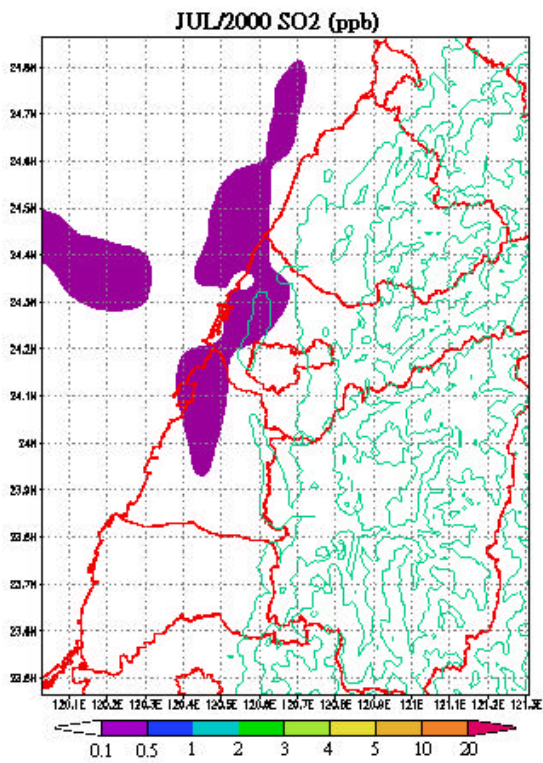
(1)



(2)



(3)



(4)

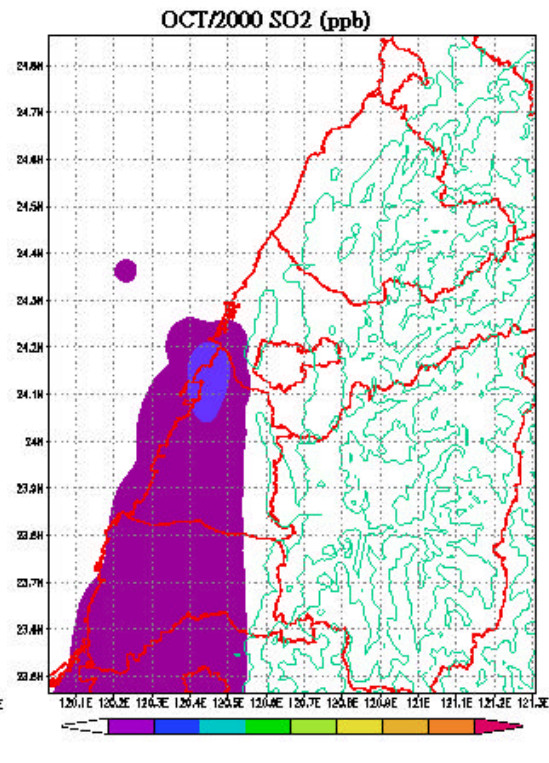


Fig. 17 Monthly average SO₂ concentration from Taichung power plant in 2000.

3.2.2 通霄電廠

通霄電廠並無加裝任何污染防治設備，硫氧化物的排放量於 2000 年已超越台中電廠，在風向為偏北風的情況之下，對中部地區地面污染物濃度有相當大的貢獻量，且由於煙囪高度不高，使得污染物的傳輸距離不遠，對下風處之台中縣市的影響很大。

(1) 順軌跡模擬結果

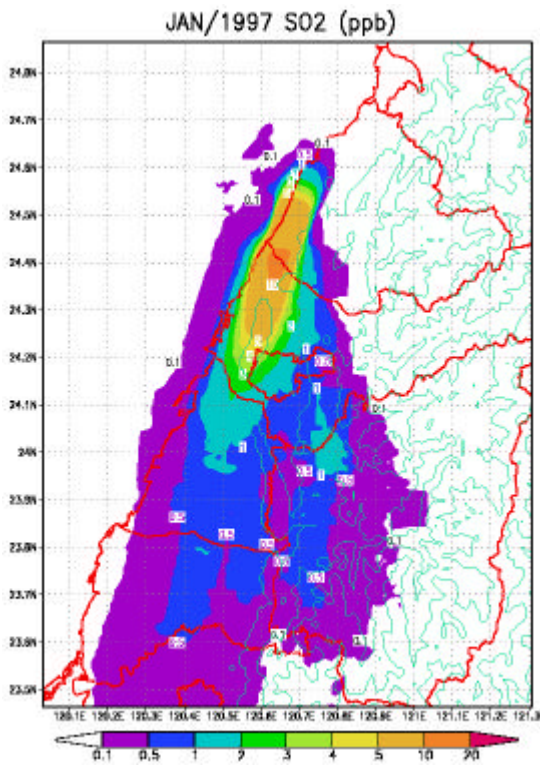
Fig. 18~Fig. 19 為通霄電廠 1997 年與 2000 年逐月之 SO₂ 平均煙線圖，由於通霄電廠在 1997 年與 2000 年間排放量變化不大，對地面 SO₂ 濃度的貢獻亦無台中電廠排放減量的效果，電廠貢獻濃度一般約為 5ppb 左右，且高值集中於通霄電廠南方 30 km 至電廠北方 20 km 以內。由 Fig. 18~Fig. 19 可以發現電廠在夏季的貢獻濃度較低，約降至 3ppb 左右，且在硫酸鹽的貢獻上夏季亦為最低，此結果與台中電廠之模擬結果類似，應是受到夏季混合層高度較高，垂直混合良好所致，由地面測站之監測數據來看，SO₂ 濃度 (Cheng 2001) 亦以夏季濃度最低。

電廠排放硫氧化物所貢獻之硫酸鹽濃度 (Fig. 20~21)，其影響範圍相較於 SO₂ 明顯有擴大的趨勢，以苗栗、台中縣市與南投的影響最大，對電廠以南 40 km 之外的影響不大，一般月平均硫酸鹽濃度約為 3 μg/m³ 左右。

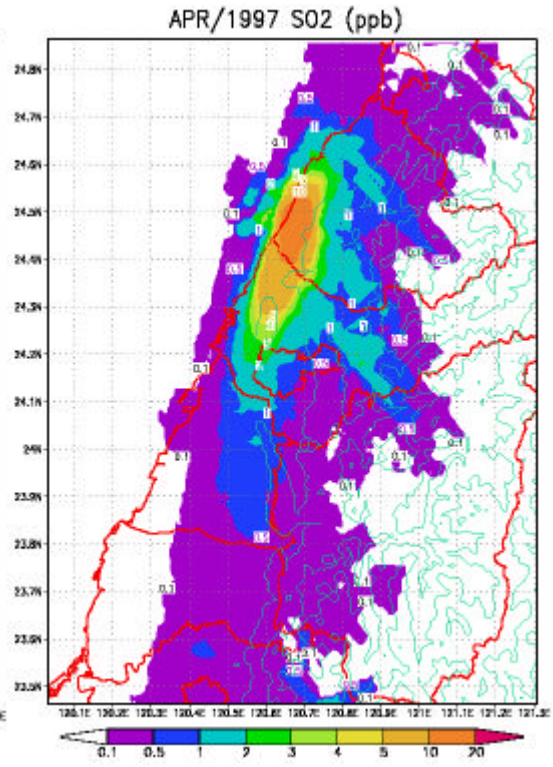
(2) ISC 模擬結果

Fig. 22~Fig. 23 為 ISC 模式模擬通霄電廠對中部地區之貢獻濃度，2000 年之貢獻濃度相較於 1997 年有稍微下降的趨勢，約降低 1ppb，其影響範圍主要在台中與苗栗，在 1997 年偏北風系下的 1、2、3、9、10、11、12 等月份之平均濃度圖發現，在電廠南方 20~30 km 處常會有一高值發生，此距離可能為電廠排放之污染物，在一般狀況下最可能發生之傳輸距離。

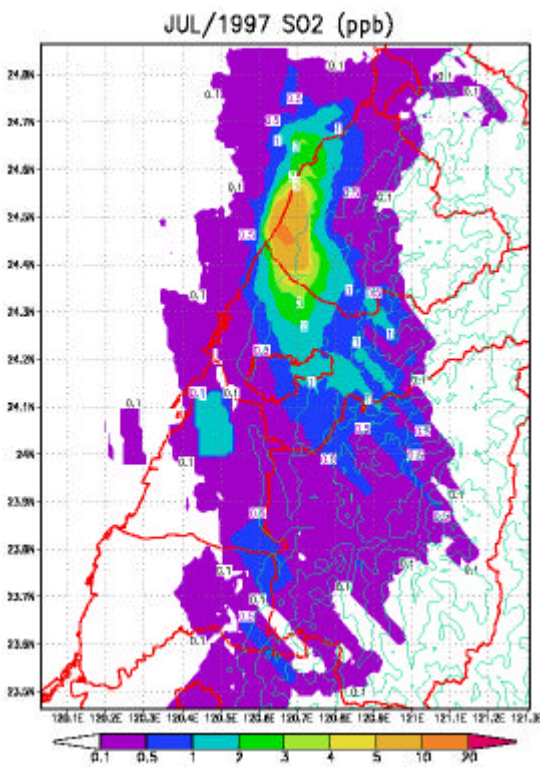
(1)



(2)



(3)



(4)

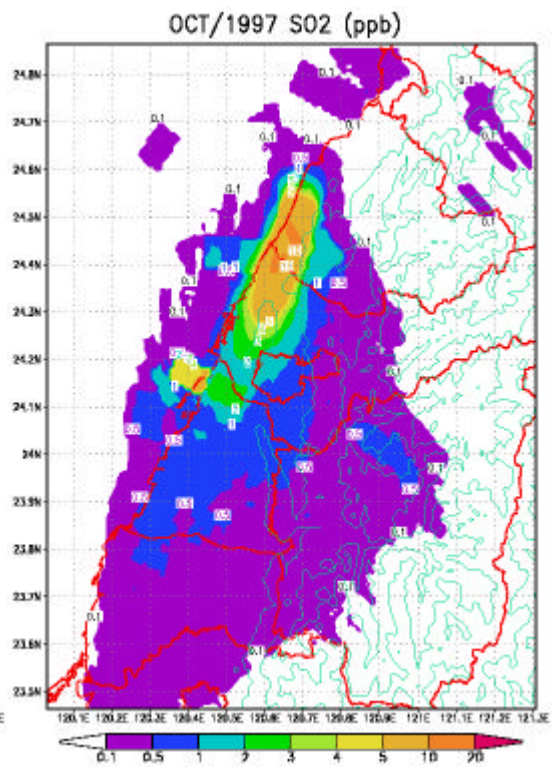
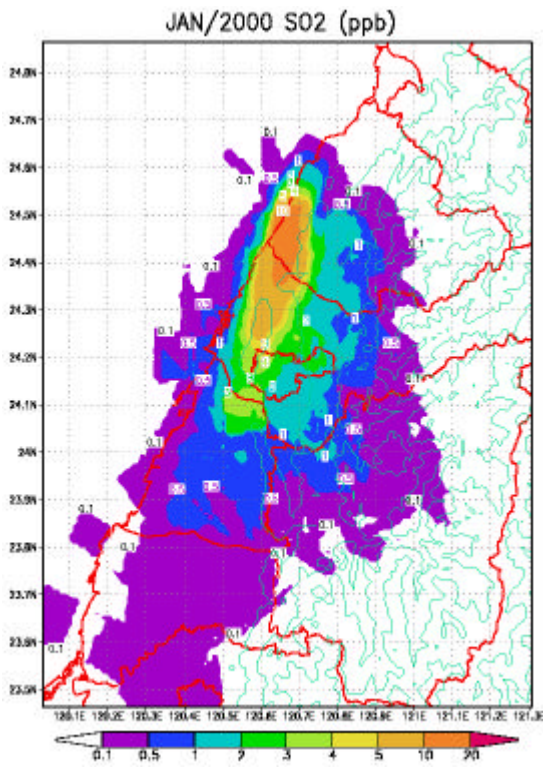
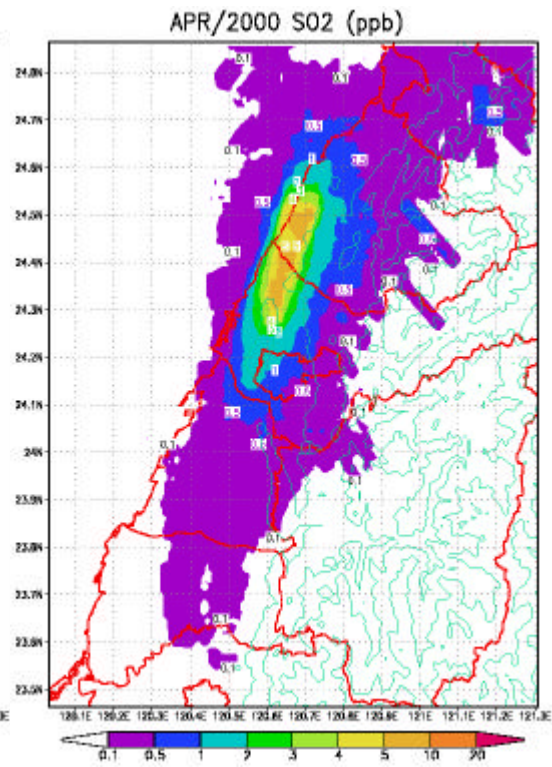


Fig. 18 The average streak line of SO₂ from Tunghsiao power plant in 1997.

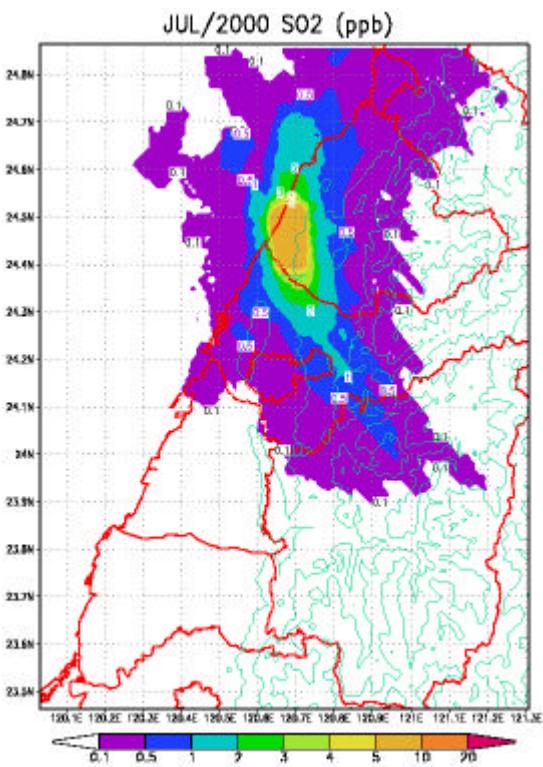
(1)



(2)



(3)



(4)

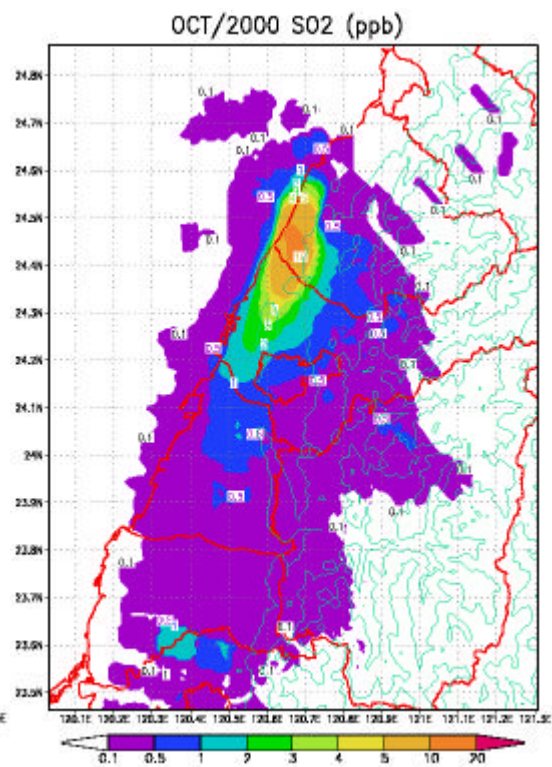
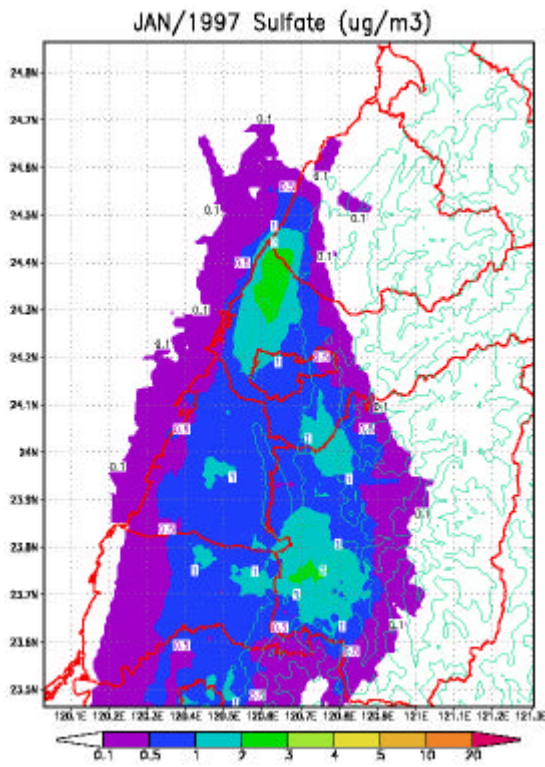
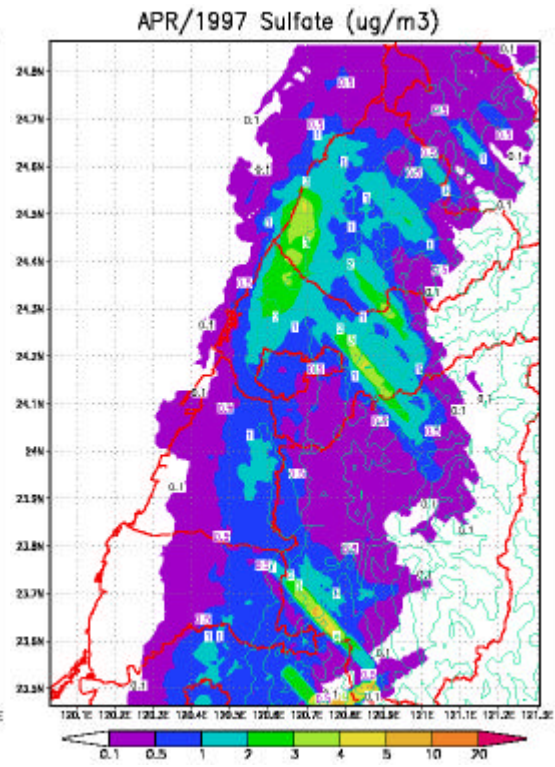


Fig. 19 The average streak line of SO₂ from Tunghsiao power plant in 2000.

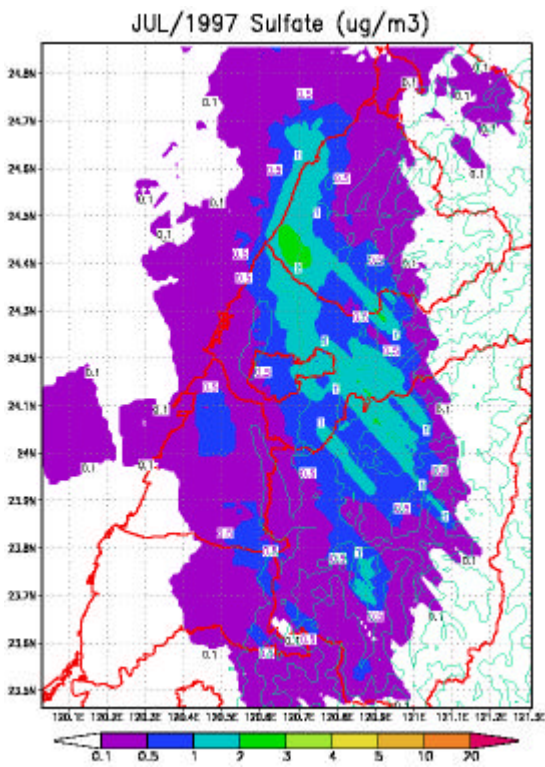
(1)



(2)



(3)



(4)

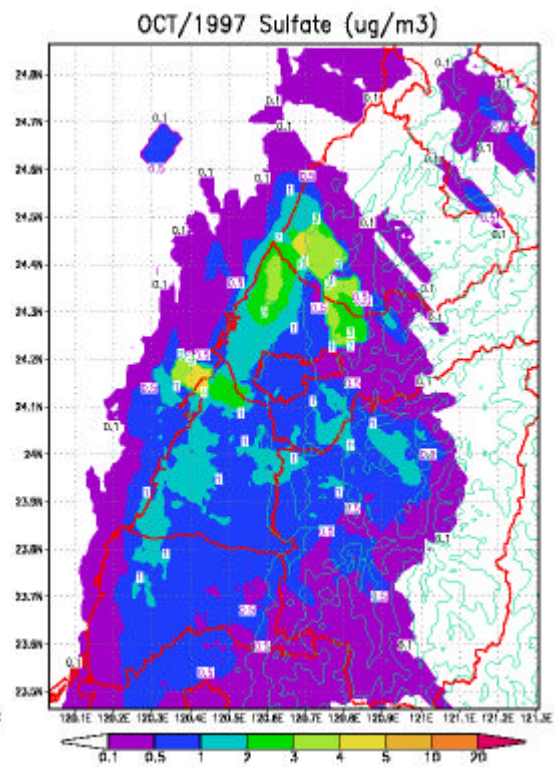
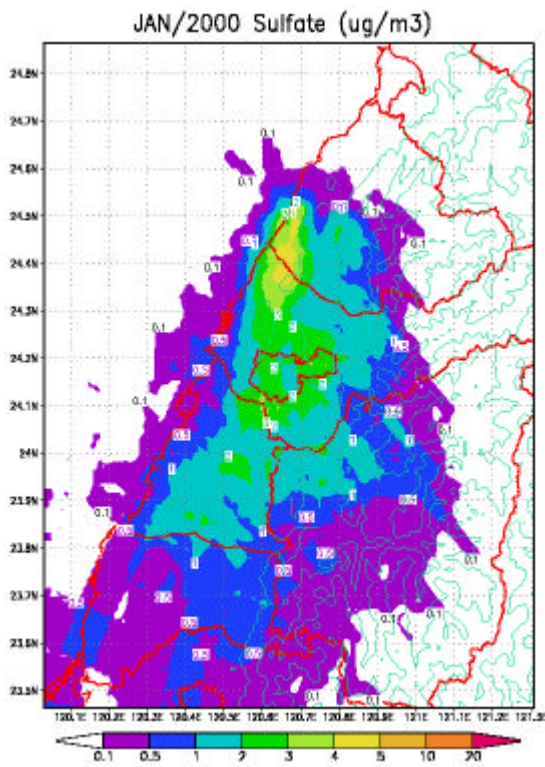
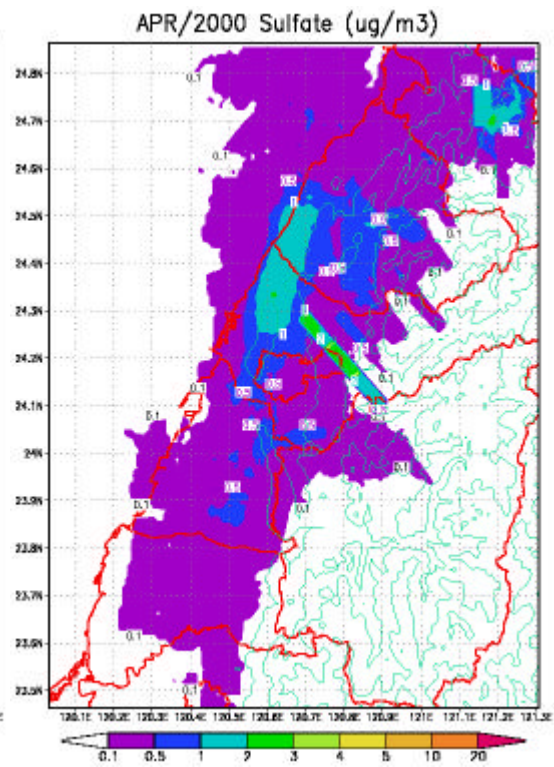


Fig. 20 The average streak line of sulfate from Tunghsiao power plant in 1997.

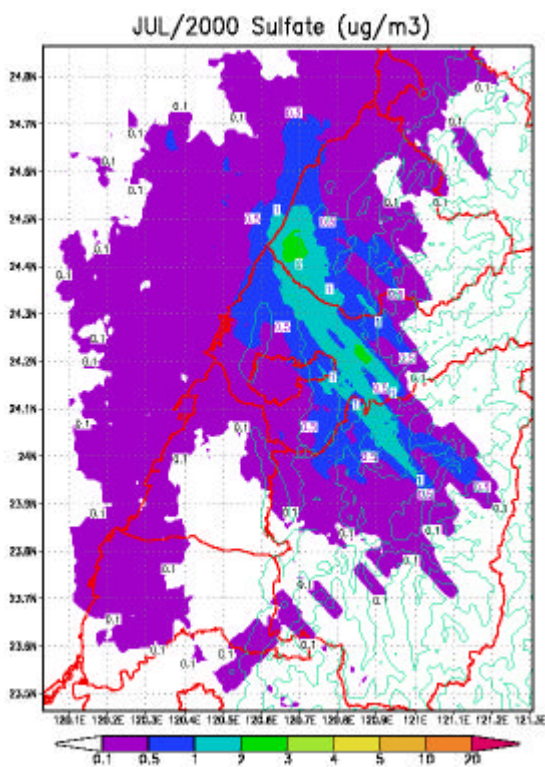
(1)



(2)



(3)



(4)

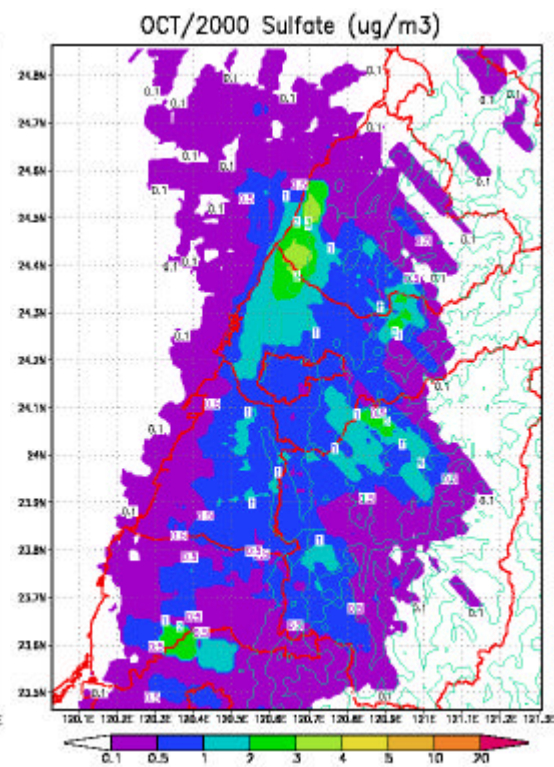
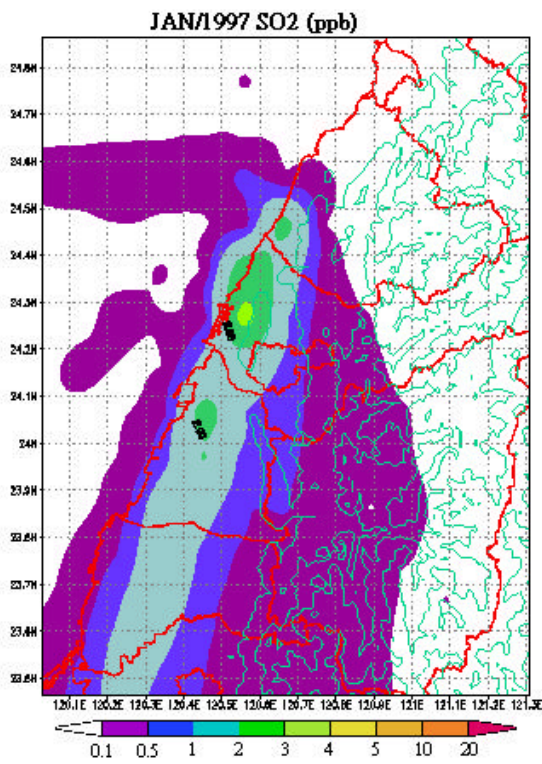
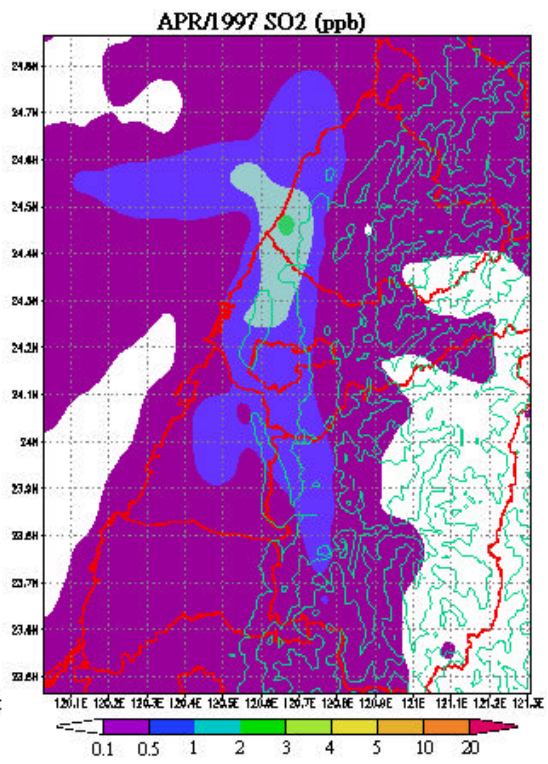


Fig. 21 The average streak line of sulfate from Tungshiao power plant in 2000.

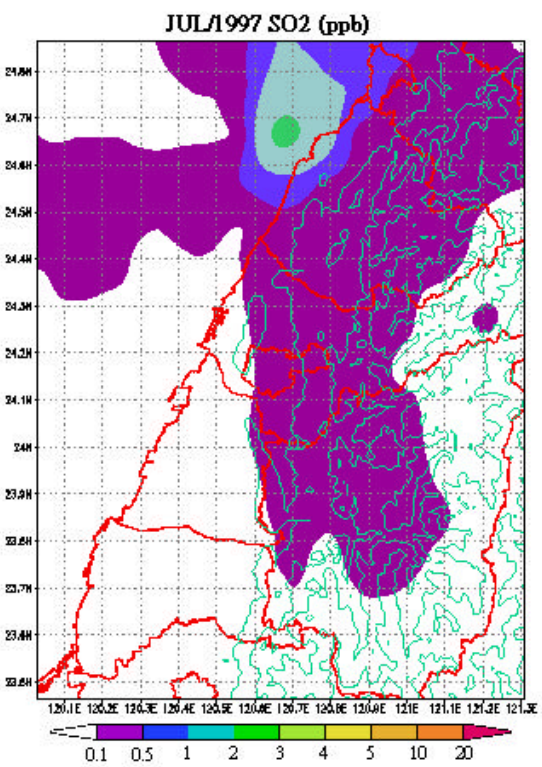
(1)



(2)



(3)



(4)

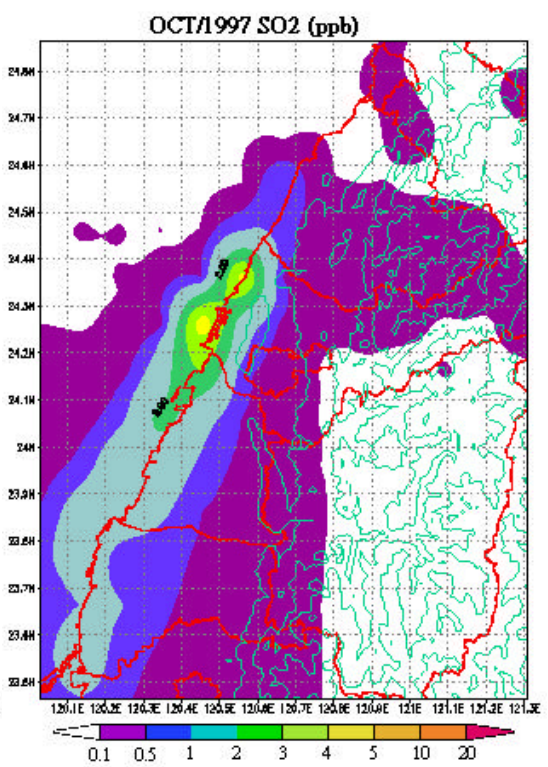


Fig. 22 Monthly average SO₂ concentration from Tunghsiao power plant in 1997.

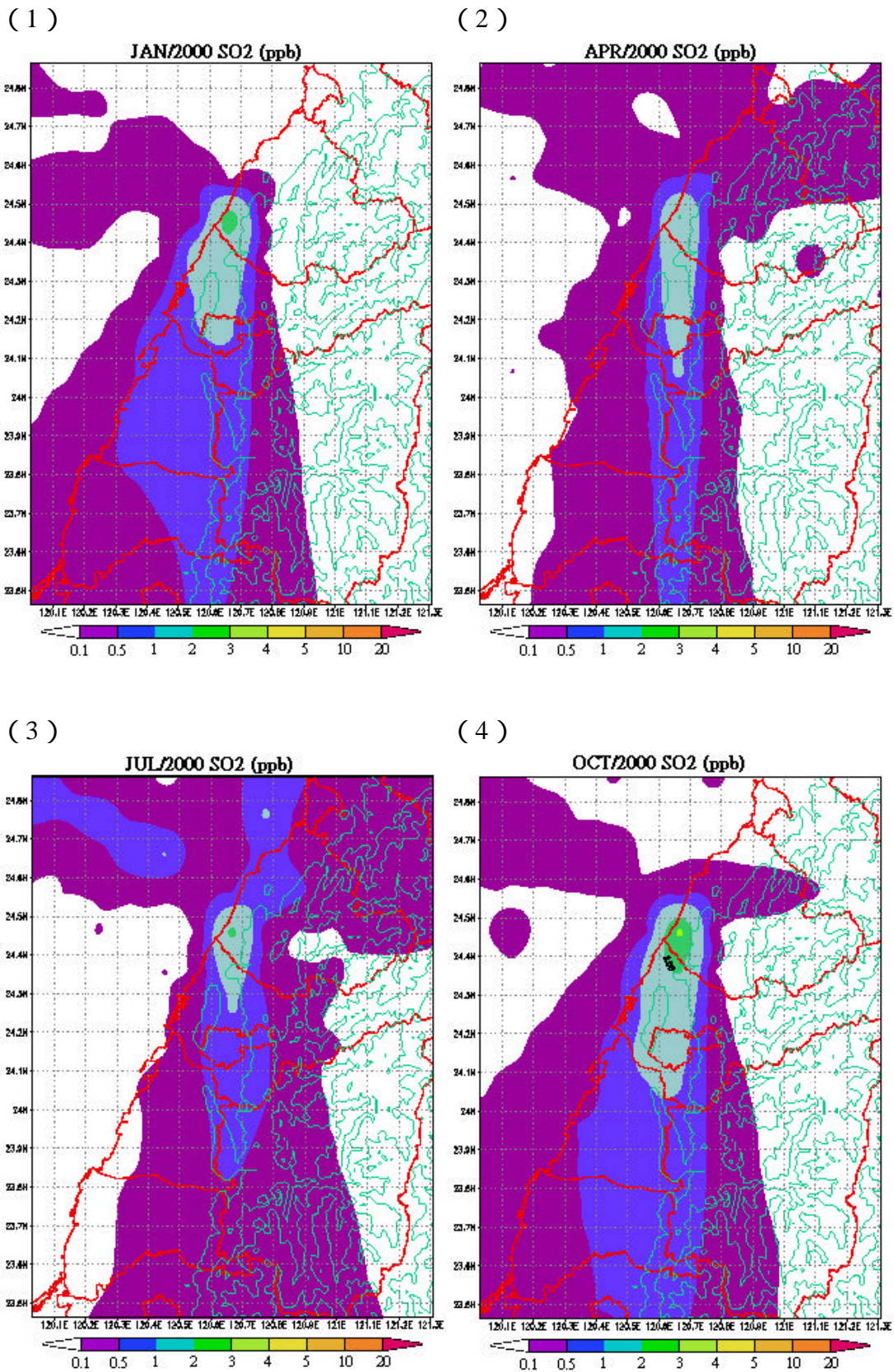


Fig. 23 Monthly average SO₂ concentration from Tunghsiao power plant in 2000.

3.3 貢獻濃度與貢獻比率

由 1997-2000 年在和美、鹿港、線西與梧棲測站所模擬出之 SO₂ 月均值濃度發現，以和美、鹿港、線西模擬的結果較佳，由模擬結果與實際值作比較，在趨勢上都呈現相當一致的趨勢。梧棲測站由於沿海受到渠道效應的影響甚大，與 ISC 氣象檔中所預設的和美測站在風向、風速的差距上頗大，而導致梧棲測站在模擬的 SO₂ 月均值上有相當大的差距，故在梧棲測站的模擬上改以梧棲站之風向、風速等氣象資料取代和美站，經過統計方法的評估之後，在相關係數、d 值與 TRMSE 值上都有所改善。

Table 5 為台中電廠在 1997 年與 2000 年對和美、鹿港、線西、伸港、梧棲等台電測站之貢獻濃度與降低比率。Table 5 中，和美、鹿港、線西、伸港測站在東北季風盛行時由於位於電廠下風處，對上述測站的影響較大。和美測站受電廠影響主要是在春季與冬季，電廠貢獻濃度自 1997 年至 2000 年約降低 66 %。

Table 5 SO₂ contribution and the ratio of reduction from Taichung power plant.

unit : ppb

	Homei			Lukang			Hsienhsi			Shenkang			Wuchi		
	1997	2000	%	1997	2000	%	1997	2000	%	1997	2000	%	1997	2000	%
Spring	4.28	0.86	80	0.96	0.14	85	1.34	0.31	77	1.45	0.40	72	0.92	0.12	87
Summer	0.21	0.17	19	0.13	0.04	69	0.04	0.01	75	0.04	0.11	-	2.08	0.53	75
Autumn	1.89	1.28	32	3.00	0.49	84	2.80	0.66	76	3.45	0.84	76	0.23	0.02	91
Winter	3.29	0.98	70	2.64	0.37	86	2.12	0.47	78	2.81	0.54	81	0.15	0.00	97
Total	2.42	0.82	66	1.68	0.26	85	1.58	0.36	77	1.94	0.47	76	0.85	0.17	80

% 表示降低比率 -表示貢獻比率增加

Table 6 SO₂ contribution and the ratio of reduction from Tunghsiao power plant.

unit : ppb

	Homei			Lukang			Hsienhsi			Shenkang			Wuchi		
	1997	2000	%	1997	2000	%	1997	2000	%	1997	2000	%	1997	2000	%
Spring	1.17	0.73	38	0.25	0.31	-	0.37	0.26	30	0.38	0.32	16	0.18	1.11	-
Summer	0.29	0.23	21	0.16	0.11	31	0.16	0.10	38	0.18	0.19	-	0.15	0.06	60
Autumn	4.44	2.26	49	2.94	1.09	63	3.07	0.91	70	3.77	1.69	55	5.11	1.51	70
Winter	2.96	2.29	23	1.18	1.33	-	1.38	0.89	36	1.49	1.58	-	1.63	3.30	-
Total	2.22	1.38	38	1.13	0.71	37	1.25	0.54	57	1.46	0.95	35	1.77	1.50	17

% 表示降低比率 -表示貢獻比率增加

鹿港、線西、伸港測站則是以秋、冬季較為嚴重，而鹿港測站則是電廠減量之下受惠最大的測站，年平均貢獻濃度自 1.68ppb 降至 0.26ppb，降低比率達 85%，線西與伸港測站則是分別降低了 77% 與 76%。梧棲站受電廠排放影響以夏季最為明顯，濃度自 2.08ppb 下降至 0.53ppb，電廠貢獻比率則是減少了 80%。

Table 6 為通霄電廠之貢獻濃度與降低比率。通霄電廠之貢獻濃度略低於台中電廠，其下降比率除了線西測站（57%）之外，介於 17~38% 之間，以季節性來看，秋、冬季對中部地區有較明顯的影響。

和美

由台中火力發電廠對和美測站的模擬結果(Fig. 24)發現，其貢獻程度自 1997 年起即有明顯的下降趨勢，尤其以 1998-1999 年 1-5 月的下降幅度最大，由 1998 年 1-5 月的貢獻平均值 17%，下降到 1999 年的 8%。而在 1997 年~2000 年下半年（6-12 月）其貢獻比率並沒有受到排放量變化造成太大的差距。6-8 月由於受到風向的轉變，和美測站位於台電的上風處，故並未受到台中火力發電廠太大的影響，反而主要是受到台化排放所造成的貢獻量（58%）。

鹿港

鹿港測站（ Fig. 25 ）除了在 1997 年的 1-3 月有高達 30% 的貢獻比率之外，其它月份的貢獻量大都在 20% 以下。在偏北風系的 1-3 月以及 10-12 月份中，台中火力發電廠對位於下風處的鹿港測站有較明顯的貢獻量，而在減量之後（2000 年）的貢獻比率則大幅下降至 10% 以下。在此五站當中，鹿港站為台中火力發電廠減量之下，對改善地面 SO₂ 濃度最具成效的測站，自 1997 年至 2000 年貢獻濃度降幅約達 84%。

線西

台中火力發電廠在 6-8 月對線西測站（ Fig. 26 ）的貢獻比率與和美測站的結果類似，主要也是受到台化的影響（52%）。線西測站自 1997 年起至 2000 年的貢獻量亦有下降的趨勢，若以 1997 年之貢獻量為指標（100%），1998 年降至 67%，1999 年為 64%，到 2000 年降至 24%，由整個模擬的結果可以發現，電廠在污染物的減量上已經有了很大的成效。

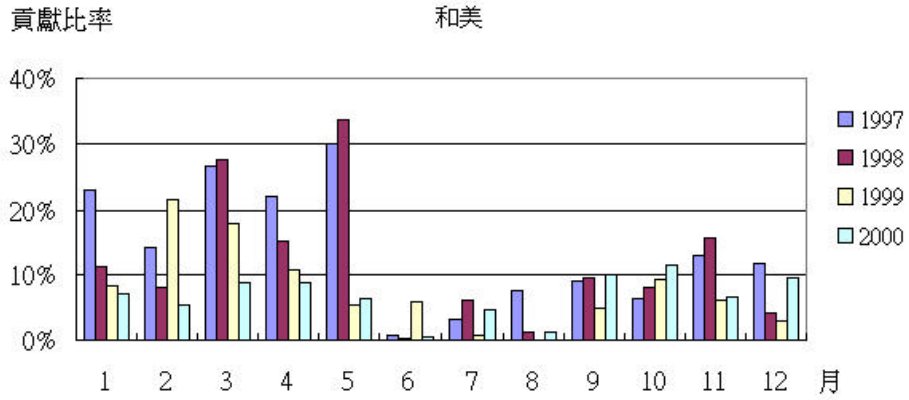


Fig. 24 Monthly contribution trends of SO₂ from Taichung power plant in Homei during 1997-2000.

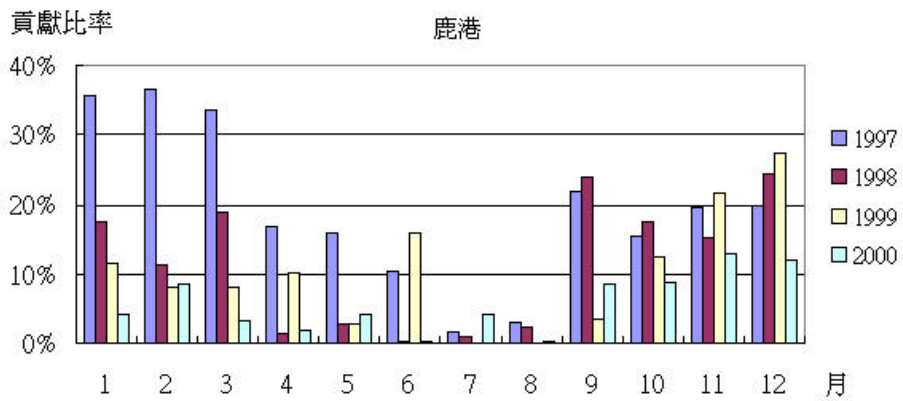


Fig. 25 Monthly contribution trends of SO₂ from Taichung power plant in Lukang during 1997-2000.

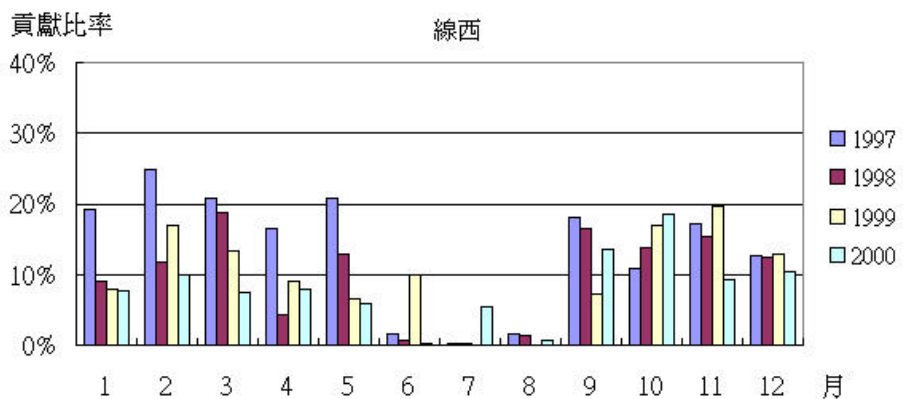


Fig. 26 Monthly contribution trends of SO₂ from Taichung power plant in Hsienhsi during 1997-2000.

伸港

由四年的模擬結果發現，電廠對伸港測站的貢獻比率均維持在 20 %，就比率來看並沒有降低，甚至在 2000 年某些月份還有高過 1997 年的情況發生，造成此結果的原因是伸港測站其它的主要污染源，在 2000 年亦有排放減量，使得其它主要污染源貢獻濃度亦同時降低，但由電廠所貢獻濃度來看，電廠仍有 76 % 的降幅。

梧棲

梧棲 (Fig. 28) 測站在 3~9 月受台電的影響較大，且在 1999 年之後，其貢獻濃度大幅下降至 5 % 左右，與 1998 年之前約 10~20 % 的貢獻來看，已有大幅度的改善。由模擬結果發現，梧棲 SO₂ 濃度主要受到台玻的影響，貢獻比率在 1997 年高達 35 %，但在減量之後的 2000 年，其比率亦有大幅下降。

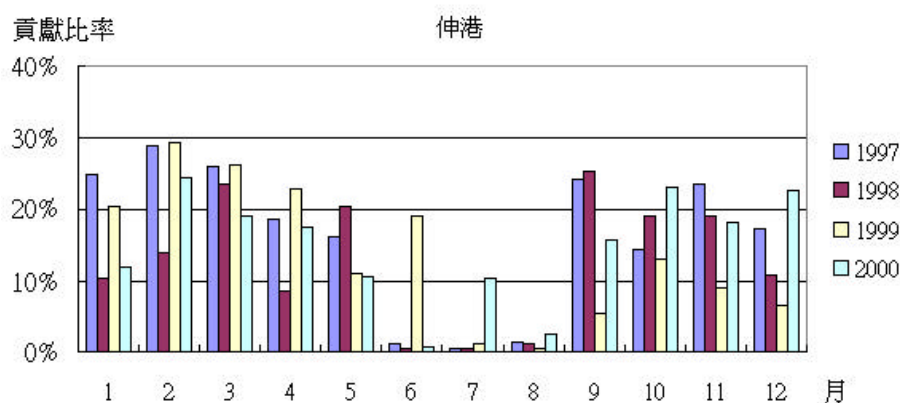


Fig. 27 Monthly contribution trends of SO₂ from Taichung power plant in Shenkang during 1997-2000.

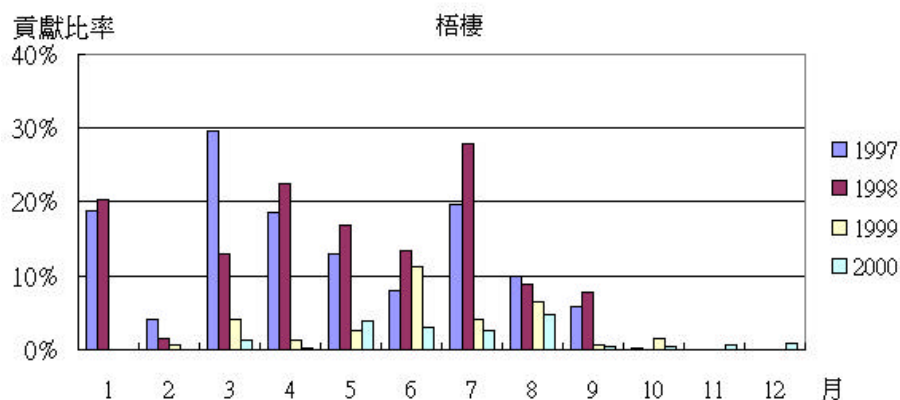


Fig. 28 Monthly contribution trends of SO₂ from Taichung power plant in Wuchi during 1997-2000.

由 Fig. 24~Fig. 27 的模擬結果發現，台中火力發電廠在 1997-2000 年下半年（6-12 月）的貢獻比率並未受到排放減量的影響，而降低了其貢獻比率。6-8 月份主要是因為大環境風向屬於偏南風系，台中電廠對和美、鹿港、線西的影響不大；而在 9-12 月份其貢獻比率未有太大變動，是因為在這些月份中，台中電廠並非最主要的污染源，而是受到台玻等污染源的影響。

Table 7 為 1997-2000 年中部地區 SO₂ 主要來源貢獻比例，其中，台中火力發電廠、通霄電廠、台灣化學纖維股份有限公司以及台灣玻璃股份有限公司等中部四大污染源，為最主要影響中部地區 SO₂ 濃度的點源，而台中火力發電廠在排放量的逐年降低之下，對中部地區 SO₂ 濃度的貢獻量已有逐步下降的趨勢。台中火力發電廠對和美測站的貢獻由 1997 年的 14.80 % 降至 2000 年的 7.10 % ；在對鹿

Table 7 Ratio of contribution from the main point sources of central Taiwan during 1997-2000.

	1997	1998	1999	2000
和美	台玻 (16.96 %)	台玻 (18.14 %)	台化 (20.05 %)	台化 (21.48 %)
	台化 (14.80 %)	台化 (15.08 %)	通霄 (14.88 %)	台玻 (14.35 %)
	台電 (14.69 %)	台電 (12.30 %)	台玻 (13.96 %)	通霄 (11.61 %)
	通霄 (13.44 %)	通霄 (11.66 %)	台電 (7.79 %)	台電 (7.10 %)
鹿港	台電 (19.76 %)	台化 (21.32 %)	台玻 (22.23 %)	台化 (28.76 %)
	台化 (16.90 %)	台玻 (18.47 %)	台化 (19.04 %)	台玻 (20.26 %)
	台玻 (15.59 %)	台電 (14.98 %)	通霄 (13.70 %)	通霄 (7.24 %)
	通霄 (13.24 %)	通霄 (11.19 %)	台電 (11.45 %)	台電 (5.83 %)
線西	台玻 (22.73 %)	台玻 (27.14 %)	台玻 (24.17 %)	台玻 (25.67 %)
	台電 (15.14 %)	台電 (12.25 %)	台化 (14.21 %)	台化 (23.16 %)
	通霄 (11.96 %)	台化 (10.02 %)	通霄 (11.52 %)	通霄 (11.07 %)
	台化 (9.38 %)	通霄 (9.85 %)	台電 (11.40 %)	台電 (8.48 %)
伸港	台玻 (33.74 %)	台玻 (41.29 %)	台玻 (39.20 %)	台電 (15.24 %)
	台電 (19.74 %)	台電 (15.74 %)	台電 (15.42 %)	台玻 (13.49 %)
	通霄 (14.14 %)	通霄 (8.44 %)	通霄 (8.65 %)	通霄 (6.41 %)
	台化 (3.03 %)	台化 (3.57 %)	台化 (4.03 %)	台化 (6.16 %)
梧棲	台玻 (35.33 %)	台玻 (32.59 %)	台玻 (35.70 %)	台玻 (15.85 %)
	台電 (14.10 %)	台電 (12.88 %)	台化 (15.22 %)	台電 (10.96 %)
	台化 (9.31 %)	台化 (10.51 %)	台電 (11.41 %)	台化 (10.85 %)
	通霄 (8.85 %)	通霄 (5.08 %)	通霄 (9.08 %)	通霄 (9.99 %)

港測站的貢獻比率上，由 1997 年 19.76 % 減至 2000 年的 5.83 %，為台中電廠排放減量下，受惠最大的測站；線西站則是由 15.14 % 下降到 8.48 %；梧棲站則是由 14.10 % 小幅下降至 10.96 %；伸港站下降程度亦小，由 19.74 % 降至 15.24 %。

通霄電廠在貢獻比率上並沒有太大的變化，一般均維持在 10 % 左右，和美站自 13.44 % 降至 11.61 %，鹿港站由 13.24 % 降至 7.24 %，線西站由 11.96 % 降至 11.07 %，梧棲由 8.85 % 上升至 9.99 %，伸港站由 14.14 % 降至 6.41 %。

在其它點源方面，台玻對線西、梧棲、伸港站的影響最大，台化則是對和美、鹿港有較大的貢獻，由其貢獻比率來看，台玻與台化為中部地區另外兩大主要點源。另外，由於無法取得其它點源在排放量上的更新資料（1998~1999），容易造成台中火力發電廠以外的點源，在貢獻量上的增加，其中，以台化的增加趨勢最為明顯。

3.4 模擬結果比較

由 1997 年台中電廠貢獻濃度與測站監測資料為例，台中電廠周圍地區以順軌跡模式模擬約有 5~10ppb 左右的貢獻濃度，而 ISC 模式則僅僅約 2~3ppb (Table 8)，在測站監測資料方面，環保署線西站二氧化硫月均值亦僅有 6~7ppb 來看，順軌跡模式相對於 ISC 模式與監測值有高估的現象。由兩模式在輸入參數上的差異來看，順軌跡模式之氣固相轉換速率預設為 5 % Shr^{-1} ，洗滌係數參考自 Uijlenhoet and Stricker (1999)，乾沉降速率則是參考 Padro et al. (1991)，而 ISC 模式中內設二氧化硫之半衰期為 4 小時，造成兩模式模擬的結果有所不同。ISC 模式假設煙流高度高於混合層高度時，污染物到達地面之濃度為零，而順軌跡模式中，若污染物在混合層高之上時，污染物會在逆溫層被破壞之後到達地面。

由於順軌跡模式僅考慮單一點源，並沒有加入其它點源之貢獻，故單純比較監測濃度並無意義，且各月份由台中電廠影響之地區亦有所差異，所以我們改由電廠下風處環保署測站之 SO_2 濃度趨勢來作比較。由模擬結果與電廠附近環保署測站監測濃度來看，各月份之下降趨勢與監測濃度之下降趨勢有一致的現象，以 1 月份模擬結果與台中電廠下風處（彰化、二林、線西、崙背、斗六、台西）的環保署測站資料為例，呈現一致的趨勢，即 1998 年最高，1997 年次之，而 2000 年最低，由下風處測站之平均濃度與模擬結果比較，自 1997 年環保署測站之

Table 8 The contribution range and concentration from Taichung power plant.

	順軌跡模式		ISC 模式	
	主要影響範圍	貢獻濃度	主要影響範圍	貢獻濃度
春季(四月)	台中港區至下風處 20 km 內地區	1997 : 5~10ppb 2000 : < 0.5ppb	台中彰化沿海地區	1997 : 1~2ppb 2000 : < 0.5ppb
夏季(七月)	台中縣沿海至內陸的南投地區	1997 : 約 5ppb 2000 : 約 0.5ppb	台中港區以北至苗栗沿海地區	1997 : 1~2ppb 2000 : < 0.5ppb
秋季(十月)	台中港區以南沿海地區	1997 : 4~5ppb 2000 : 約 0.5ppb	台中港區以南沿海地區	1997 : 2~3ppb 2000 : 約 0.5ppb
冬季(一月)	台中港區延伸至彰化沿海一帶	1997 : 3~4ppb 2000 : < 0.5ppb	台中港區延伸至彰化沿海一帶	1997 : 1~2ppb 2000 : < 0.5ppb

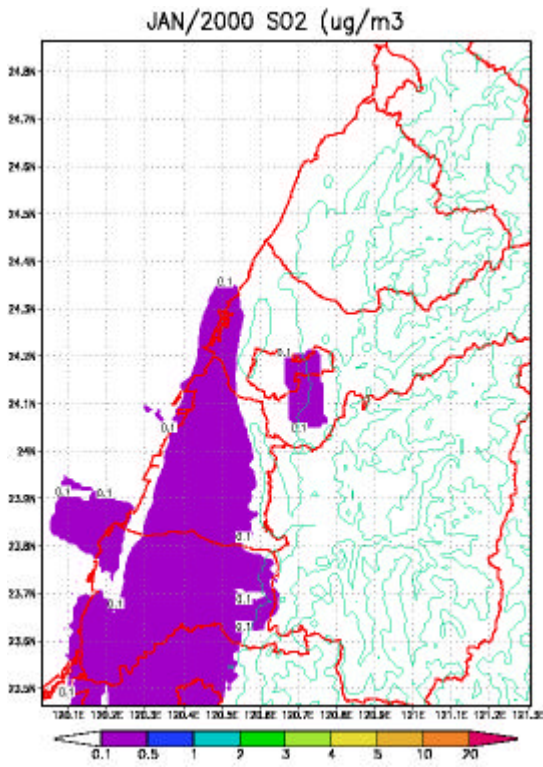
5.95ppb，降至 2000 年的 4.09ppb，而由模式模擬之降幅約 1.50ppb，可見模式在評估電廠減量上，有不錯的結果，但順軌跡模擬之結果有高估的現象發生，使得年平均之降幅達 4~5ppb，超過實際監測濃度之降幅。

由 ISC 模式模擬之結果發現，電廠自 1997 年至 2000 年對中部地區的平均貢獻濃度約降低 1~1.5ppb，由彰化、二林、線西、崙背、斗六、台西等測站監測數據比較，6 站之平均監測濃度（6、7、8 月除外）由 1997 年的 6.00ppb 降至 2000 年的 3.58ppb，故模式模擬之結果應在可信的範圍之內。

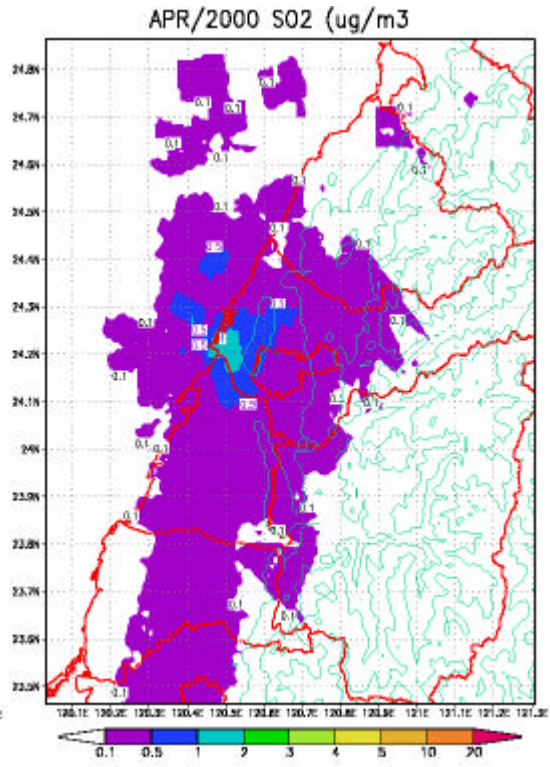
由 1997 與 2000 年中部地區地面 SO₂ 濃度，比較台中電廠在 FGD 裝設前後地面濃度的差異，其中以二林與崙背測站降低比率最大，分別為 52 % 與 64 %，竹山測站因位於內陸地區，降幅僅約 5 %，其它測站約有 20 % 的降低比率，而在電廠 FGD 加裝期間的 1998 與 1999 年，測站監測濃度亦有隨電廠排放量減少而降低的趨勢。

為了更加了解 FGD 的加裝對地面環境的減量效果，並探討氣象條件對污染物的影響，模擬時之氣象數據採用 1997 年之氣象狀況並假設 2000 年之氣象狀況與 1997 年一致，分別模擬 1997 與 2000 年電廠 FGD 加裝前後地面濃度的差異，並比較不同氣象條件下 2000 年模擬之結果。Fig.29 為使用 1997 年氣象條件模擬 2000 年電廠排放量之模擬結果，由 Fig.29 與 1997 年 (Fig.6) 模擬結果來看，電廠排放量的降低對中部地區的貢獻濃度約減少了 70~80 %，電廠對中部地區的影響範圍明顯縮小，在固定氣象因子對污染物的影響下，更突顯了 FGD 設備的安裝，對中部地區地面 SO₂ 濃度的改善成效。

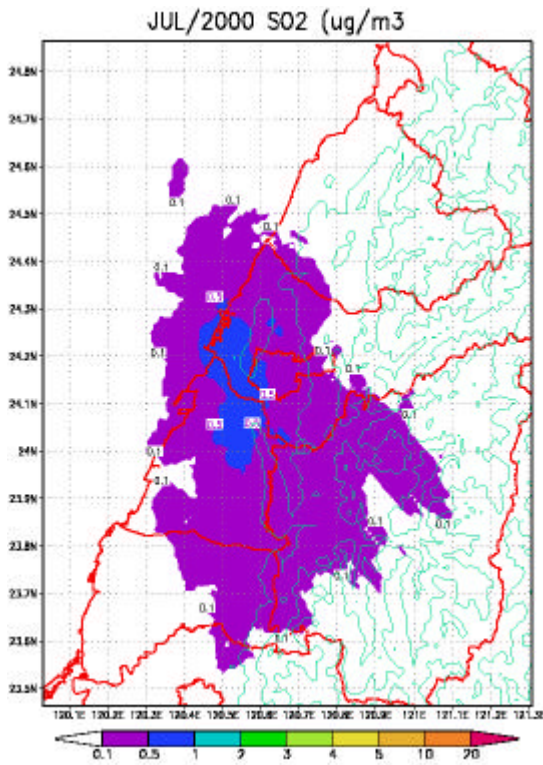
(1)



(2)



(3)



(4)

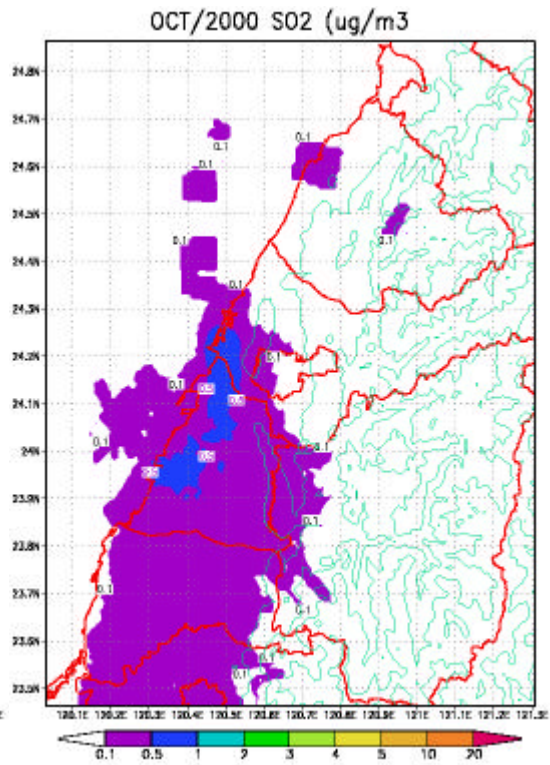


Fig. 29 The average streak line of SO₂ from Taichung power plant in 2000.

(meteorology parameter the same with 1997)

第四章 案例討論

本文選取台中電廠排放量較高的 1998 年 10 月(6 千噸/月)與完全加裝排煙脫硫設備的 1999 年秋季做為案例，利用順軌跡模式與 ISC 模式，模擬台電硫氧化物的排放對地面 SO₂ 濃度的分佈情形，並與實際監測值做比較，以驗證模式對電廠減量模擬的可信度。

由 Table 9 各項氣象狀況來看，1998 年與 1999 年秋季案例不論在天氣型態與各項氣象條件方面都相當接近，為一天氣晴朗的天氣，在各項條件都十分接近的前提之下，探討電廠排放量前後的差異，對中部地區地面 SO₂ 濃度變化的影響。

Table 9 Meteorological variables in central Taiwan for experimental campaign.

	20/10/1998	31/10/1999
Max temp. ()	28.3	29.9
Cloud (%)	28	36
Solar rad. (MJ/M ²)	13.2	11.6
Sun (hr)	7.3	6.9
RH (%)	70.1	66.5

4.1 1998 年秋季案例

4.1.1 地面氣象環境與 SO₂ 濃度分佈

1998 年 10 月 20 日東北季風強盛，沿海地區風速強勁，一般約在 7m/s 左右，內陸的南投地區因受地形影響，風速約為 2m/s，風向均維持在東北風系。當日太陽輻射強烈，無海陸風現象。

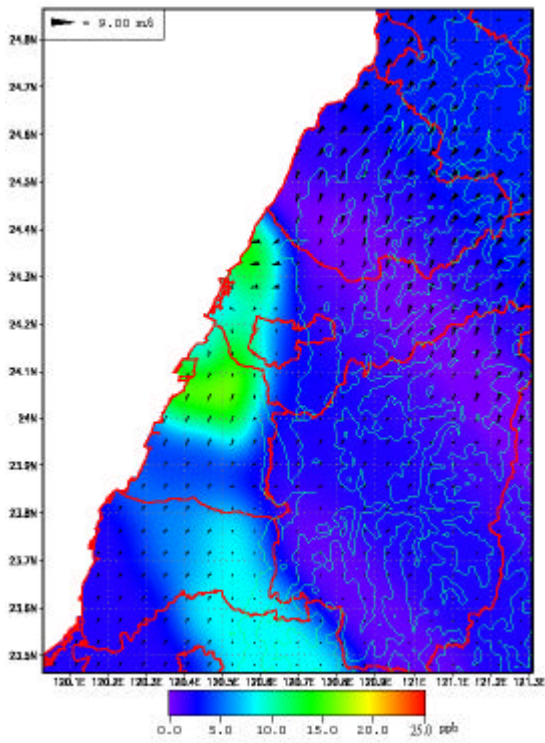
Fig. 30 為 1998 年 10 月 20 日中部地區地面 SO₂ 濃度分佈與風場圖，由圖可以發現，SO₂ 濃度分佈主要集中在沿海地區，此應與硫氧化物污染源分佈位置有關。3 時與 9 時以台中港區周圍 20ppb 濃度最高，15 時於雲林崙背地區監測到 37.6ppb 的高值，清水測站也有 21.1ppb 的濃度值，其它地區濃度值一般均小於 5ppb，21 時風速有稍微降低的趨勢，於台中港區、頭份、台西等地區有高值發生。

Fig. 31 為 ISC 模式模擬 1998 年 10 月 20 日 3、9、15、21 時之結果，SO₂ 濃度分佈範圍與實際監測濃度之趨勢相似，高值均集中於沿海地區，內陸地區濃

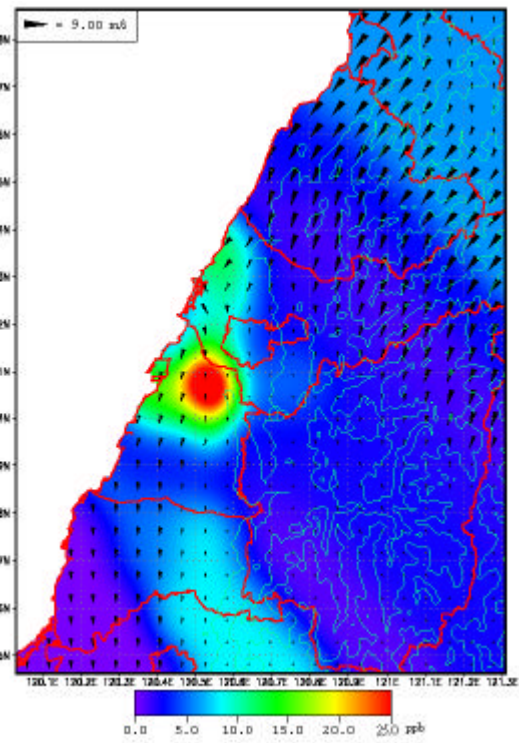
度一般均小於 5ppb。21 時於頭份地區模擬之濃度與監測值有相當之差距，配合當時頭份之風向來看，造成頭份高濃度值之污染源應來自北方模擬範圍外的污染源。

Fig. 32 為台中電廠於 3、9、15、21 時距地 20m 之 SO₂ 濃度煙線圖，當日地面風速頗強，於沿海測站風速可高達 9m/s，且風向維持在東北風，由電廠出發之煙線均沿著沿海地區往南方向前進，約 2~4hr 即離開研究範圍之外，由最大地面濃度的落點來看，對嘉義、台南、高雄等地的影響很大，以 21 時出發之煙線為例，最大濃度落點位於高雄縣外海地區，約有 5ppb 左右的貢獻濃度。3 時與 21 時由於受到逆溫層的限制，對電廠周圍地區的影響不大，反而是對雲嘉南及高屏空品區的影響較大。9 時與 15 時的情況則是相反，電廠對中部地區的影響較快。由通霄電廠之 SO₂ 濃度煙線圖 (Fig. 33) 來看，電廠受混合層的影響不大，一般最大濃度約位於電廠下風處 20~30 km 處，在偏北風系下，對中部地區有相當大的影響。

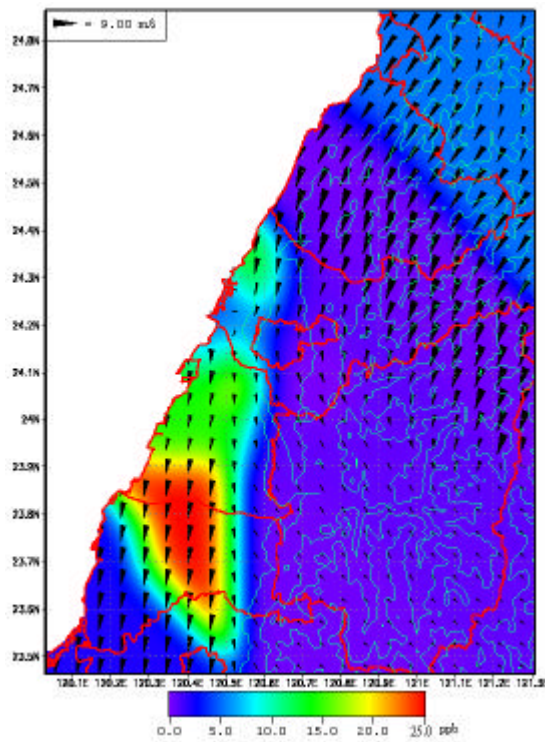
(a) 03:00



(b) 09:00



(c) 15:00



(d) 21:00

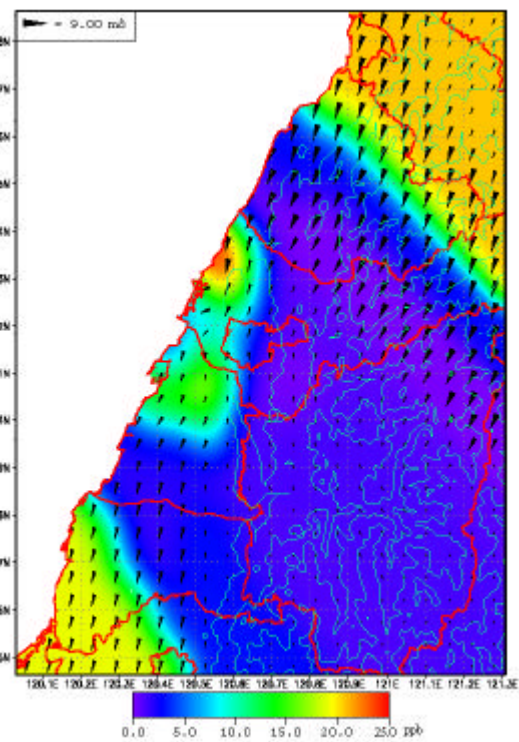


Fig. 30 SO₂ concentration and wind field in central Taiwan on 20 October 1998.

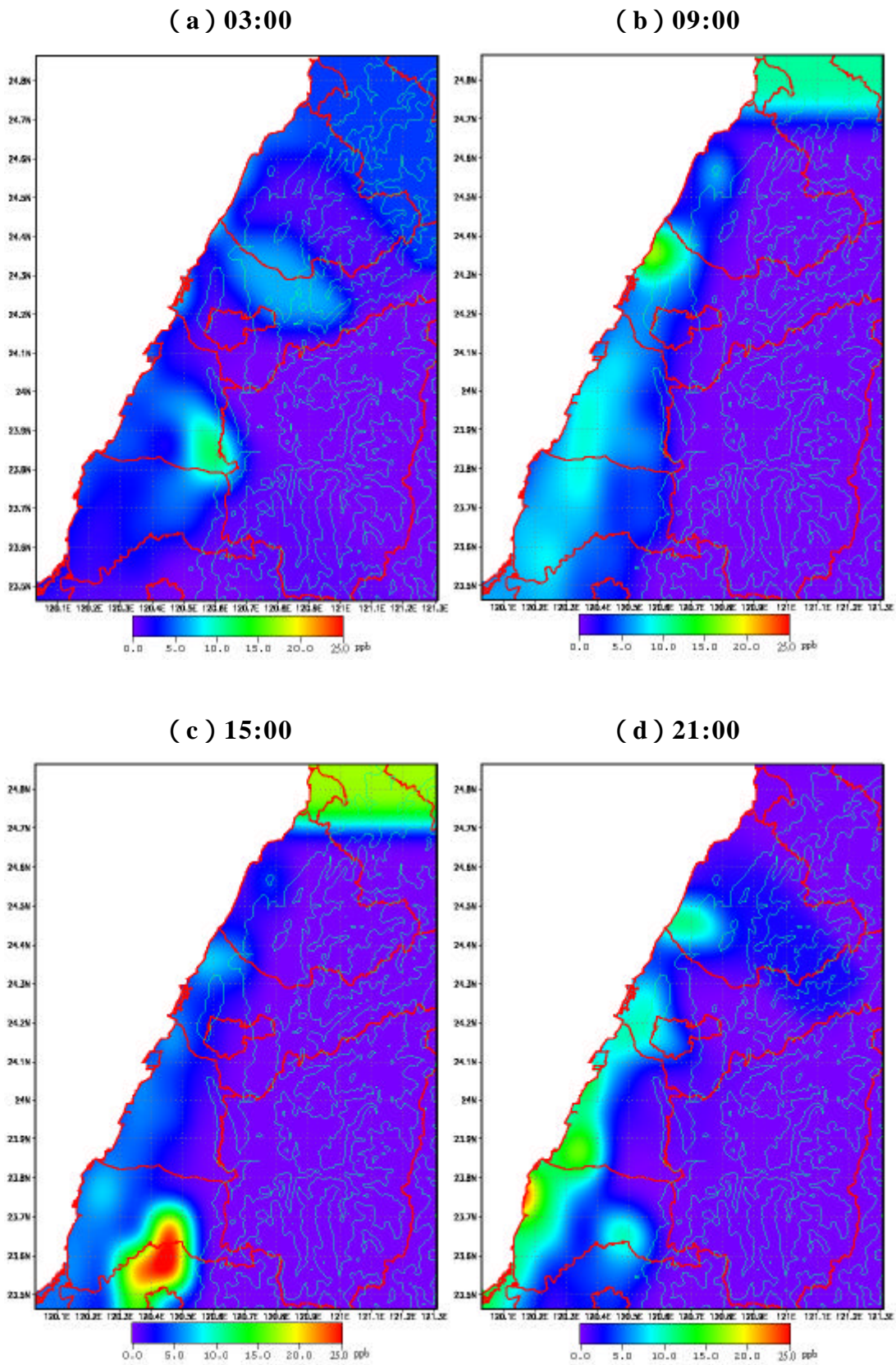


Fig. 31 Surface SO₂ concentration for different hours on 20 October 1998 obtained with ISC model.

Streak Line

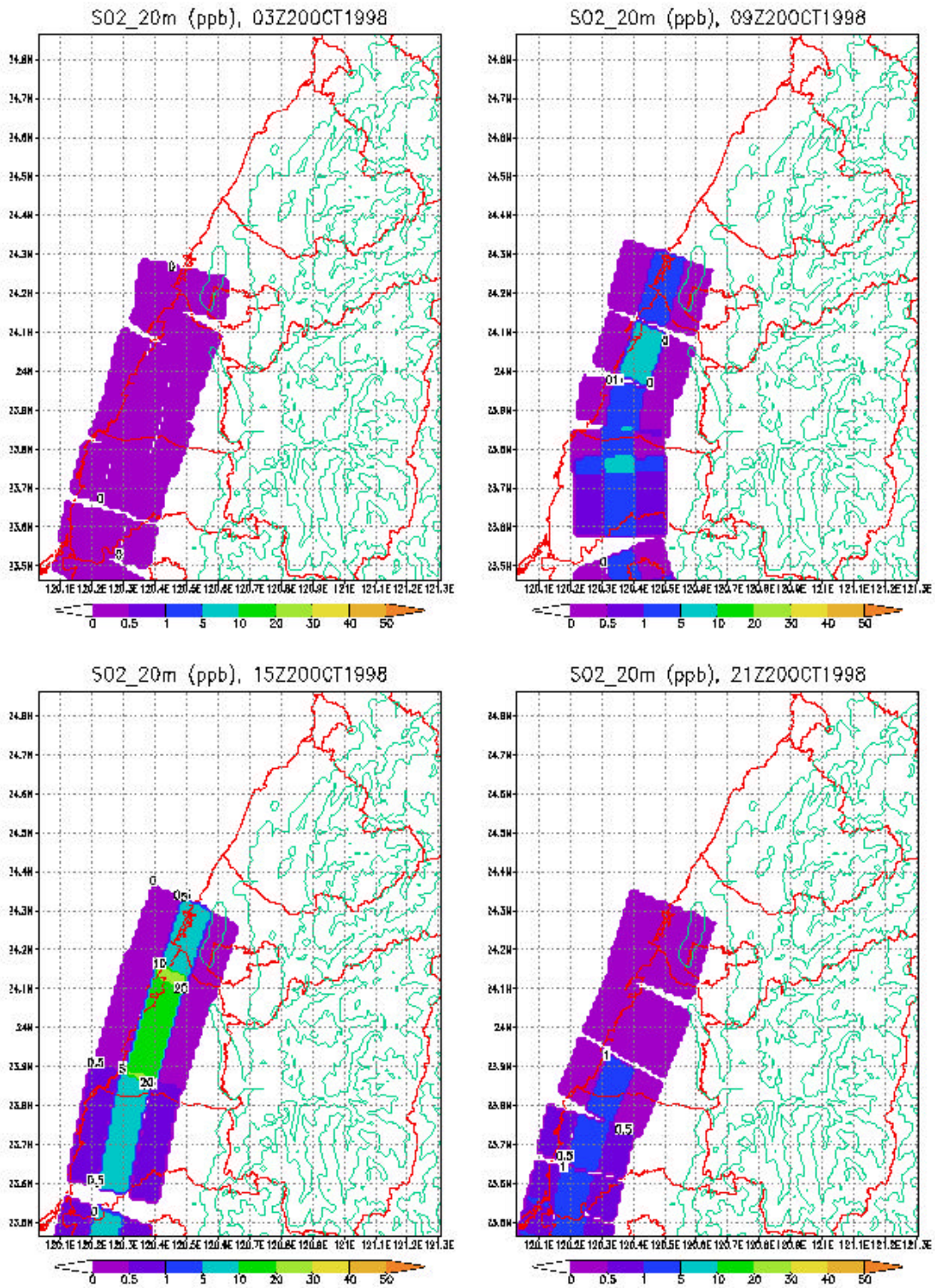


Fig. 32 Surface SO₂ concentration from Taichung power plant on 20 October 1998.

Streak Line

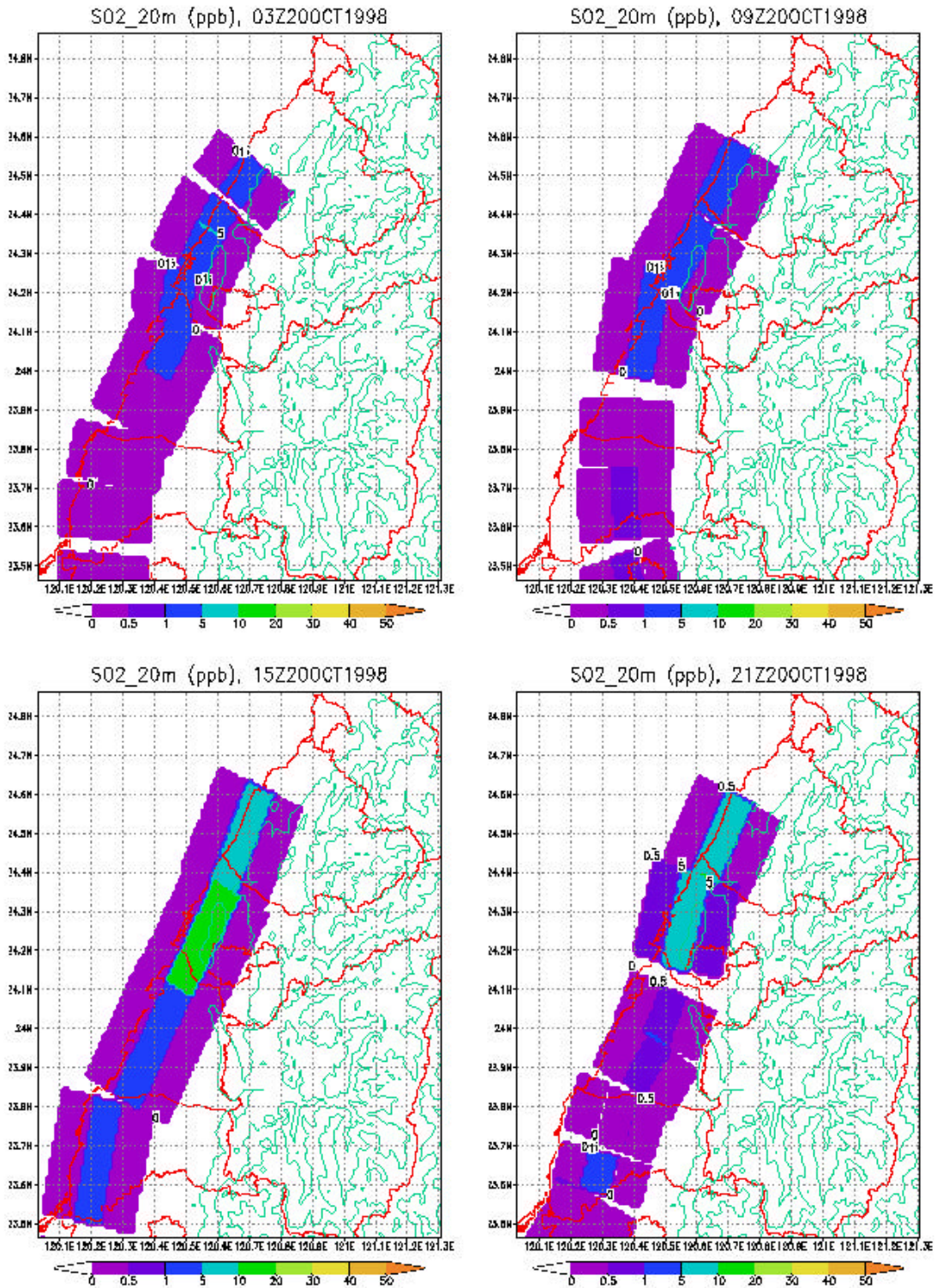


Fig. 33 Surface SO₂ concentration from Tungshiao power plant on 20 October 1998.

4.1.2 垂直方向污染物分佈趨勢

Fig. 34 為台中電廠於 1998 年 10 月 20 日 3、9、15、21 時污染氣團順軌跡模擬 SO₂、電廠轉換之硫酸鹽濃度與混合層高度之垂直剖面圖。3 時由於混合層高度較低，電廠有效煙流高度高於混合層高，污染物累積於混合層之上，不易擴散至地表，但隨著混合層於 7 時開始抬昇且風速較強，最大 SO₂ 濃度落點位於嘉義以南地區，約有 5ppb 左右。9 時混合層高度已發展至 800m，垂直方面混合良好，電廠排放對地面的影響範圍縮短，對電廠附近地區的影響較大。15 時開始隨著混合層高度的降低，污染物被侷限於混合層內，使得近地面 SO₂ 濃度有增加的趨勢，至隔日 8 時，逆溫層因地表加熱被破壞，污染物再度擴散至地表。21 時污染物被限制在混合層之上，煙流高度距地約 500m。

Fig. 35 為 1998 年 10 月 20 日通霄電廠順軌跡之混合層高度、SO₂ 與轉換的硫酸鹽垂直剖面圖，可以發現混合層高度隨日昇日落的增長變化，混合層的消長對於固定污染源污染物的傳輸與擴散有很大的影響。通霄電廠之煙囪高度為 120m，有效煙囪高度約在混合層高附近，而由 3 點出發之順軌跡與台中電廠不同的是，SO₂ 與轉換的硫酸鹽並未受到逆溫層的限制，對地面的影響較快，到清晨 7 點，垂直方向的擴散加劇，污染物濃度分散且均勻且濃度亦降低。9 時與 15 時出發之順軌跡由於混合層高度較高，垂直方向混合良好。夜間 3 時煙流高度在逆溫層之下，污染物易擴散至地表，待混合層於日間開始發展，污染物對地面的影響才逐漸減弱。

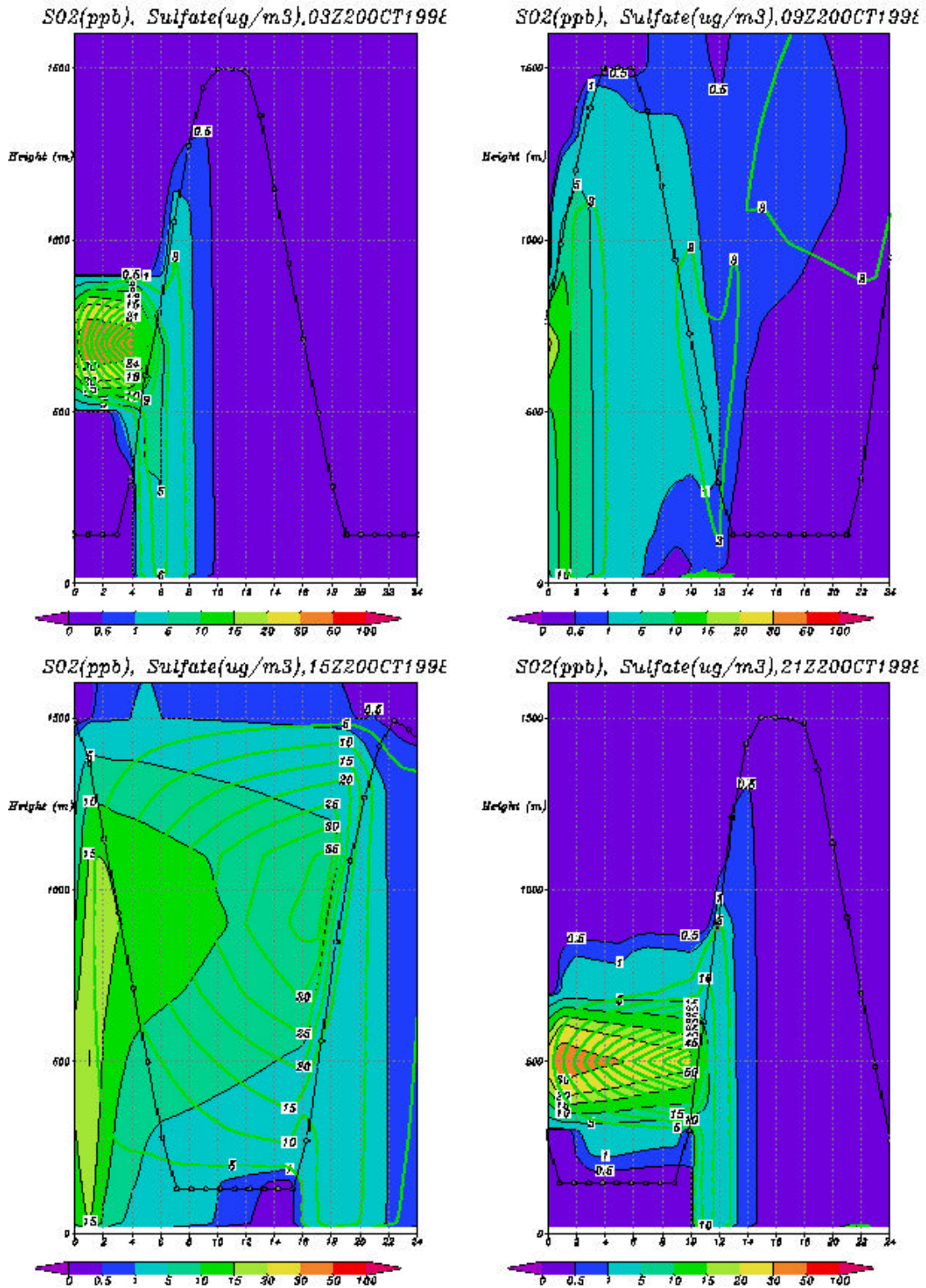


Fig. 34 Vertical profile of SO₂ sulfate concentration and mixing height from Taichung power plant on 20 October 1998.

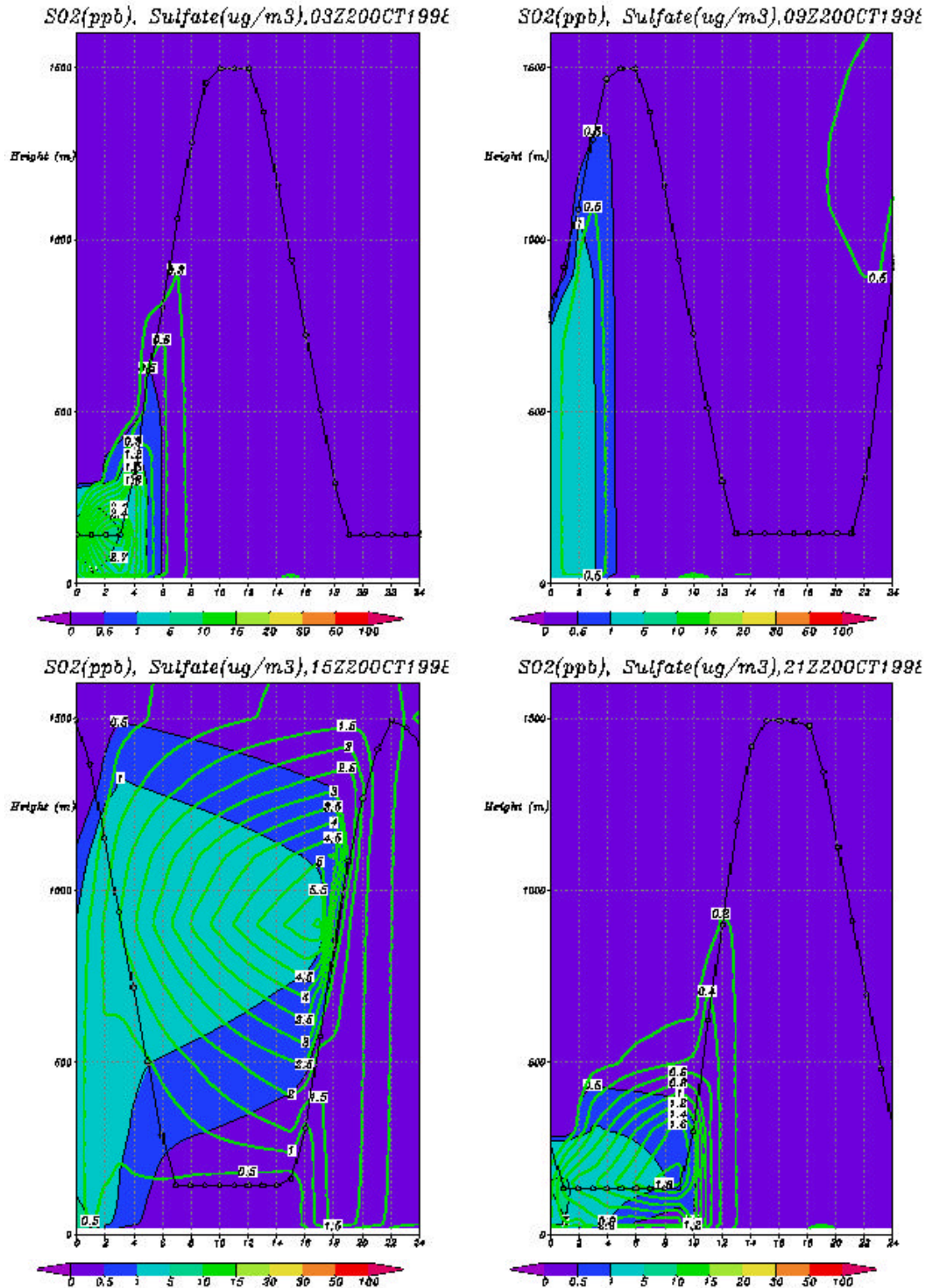


Fig. 35 Vertical profile of SO₂, sulfate concentration and mixing height from Tunghsiao power plant on 20 October 1998.

4.2 1999 年秋季案例

4.2.1 地面氣象環境與 SO₂ 濃度分佈

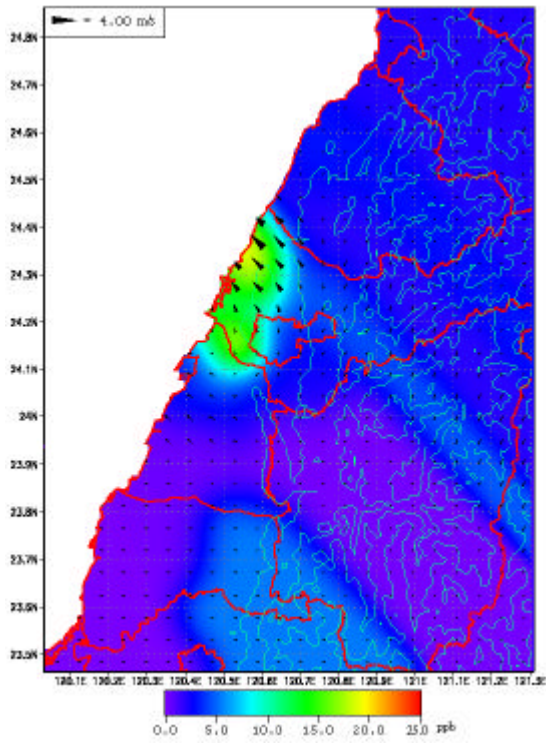
10 月 30、31 日天氣狀況良好，風速低於 4m/s，地面風向以偏北風為主，31 日有海風現象，且太陽輻射強，為一晴朗天氣，地面風速自 11 月 1 日中午以後受東北季風影響，有增強的趨勢，最高風速大於 10m/s，風向維持西北向。

Fig. 36 為 10 月 31 日中部地區 3、9、15、21 時之地面風場與 SO₂ 等濃度圖，由圖發現當日地面風向紊亂，於 15 時有明顯海風現象，風向以西偏北為主，風速維持在 4m/s 以下。當日地面 SO₂ 濃度有累積於清水、伸港一帶沿海的現象，濃度約 15ppb 左右的濃度值，頭份測站於 9 時有 24ppb 的高值，其它地區一般均低於 5ppb，15 時由於有海風現象，地面風速增強，台中港區 SO₂ 濃度值有些微下降，待夜間 21 時風速微弱，地面 SO₂ 濃度值又開始增加。

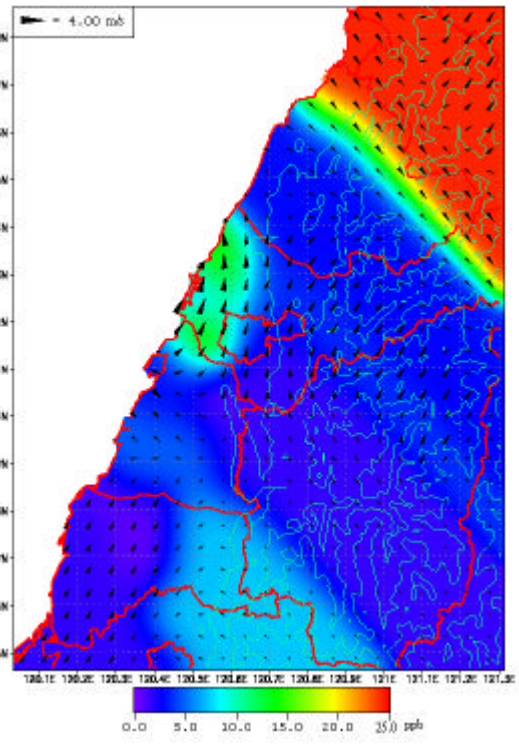
Fig. 37 以 ISC 模式模擬 10 月 31 日地面 SO₂ 濃度，以 10 km × 10 km 網格輸出，3 時之地面濃度與測站之監測濃度十分接近，於台中港區有 10~15ppb 左右的濃度值，經模式計算為來自彰化某化學工廠之貢獻，9 時由模式輸出之 SO₂ 濃度一般均低於 5ppb 以下，頭份站監測之高值經比對當地之風向，其污染來源可能來自模擬範圍外其它污染源，且當時中部地區地面風場較為混亂，單一氣象場容易造成相當大的誤差。15 時於通霄以北 10 km 處有一相對高值發生，其濃度與實際值約相差 5ppb，夜間 21 時之模擬結果與監測結果相似，在台中縣沿海一帶具有相對高值發生，綜合以上四個時段之模擬，以 ISC 模式模擬中部地區地面 SO₂ 濃度已有相當不錯的結果。

Fig. 38 為 1999 年 10 月 31 日台中電廠於 3 時、9 時、15 時、21 時之 SO₂ 地面 20m 煙線圖，3 時與 9 時之煙線往北受到山脈阻擋而累積於苗栗地區，SO₂ 最大濃度達 20ppb 左右。15 時之煙線一開始由於受到風速微弱的影響，在台中港區與台中市之間有累積的現象，SO₂ 濃度介於 10~20ppb 之間，與台電大肚、伸港等地面測站所監測之 SO₂ 濃度相差不大，15 時於台中沿海之高濃度值應為台中電廠所貢獻，另外，15 時由通霄電廠 (Fig. 39) 出發之軌跡亦造成通霄電廠周圍有發生高值的現象，此結果與 ISC 模擬之結果相似，但相較於監測值均有高估的現象。11 月 1 日東北季風增強，煙線迅速隨著海岸往南到達彰化、雲林等地區。21 時由於受強烈東北季風影響，污染物不易累積，故並無發生高值。

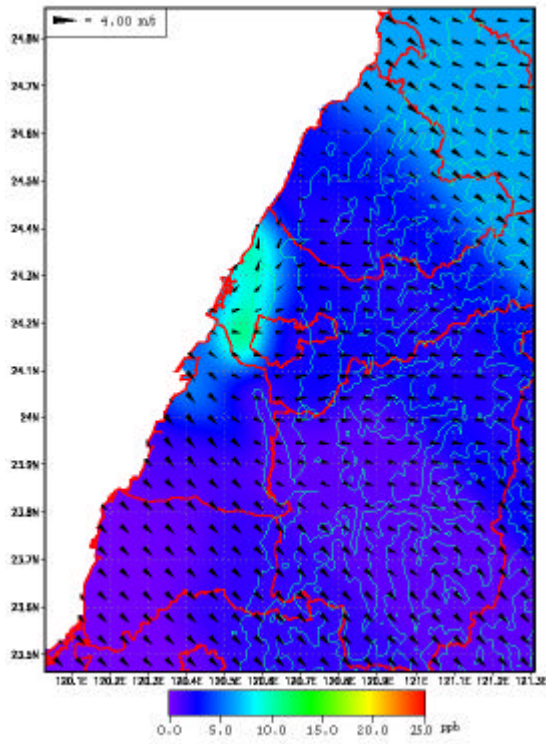
(a) 03:00



(b) 09:00



(c) 15:00



(d) 21:00

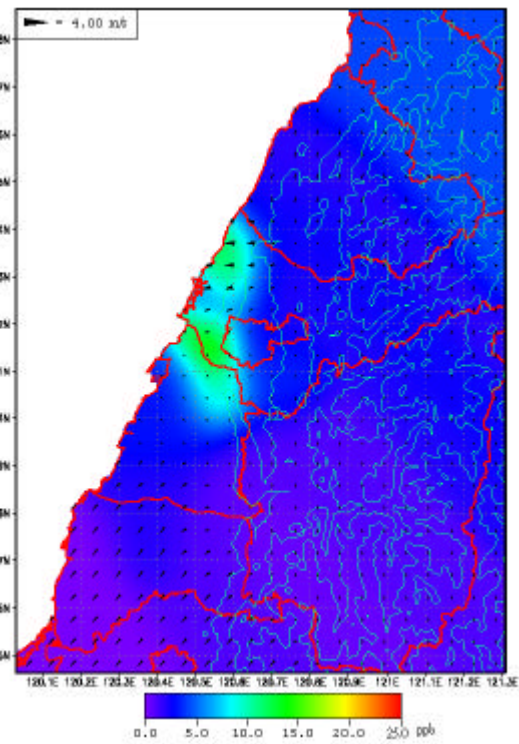
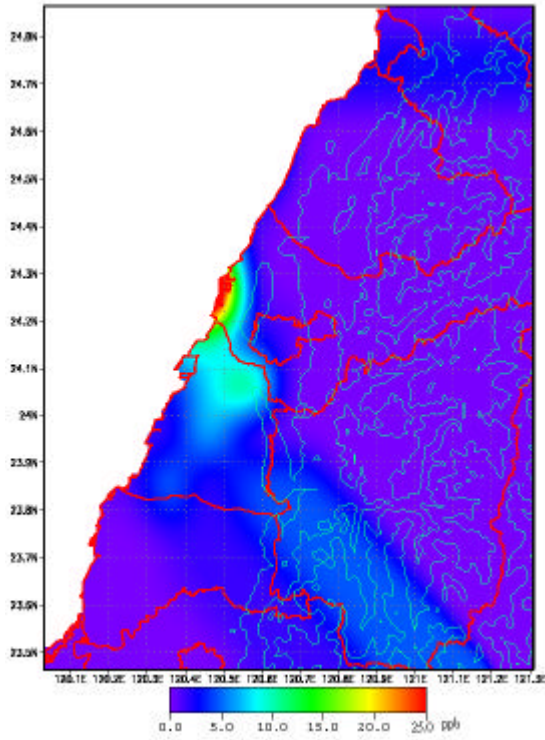
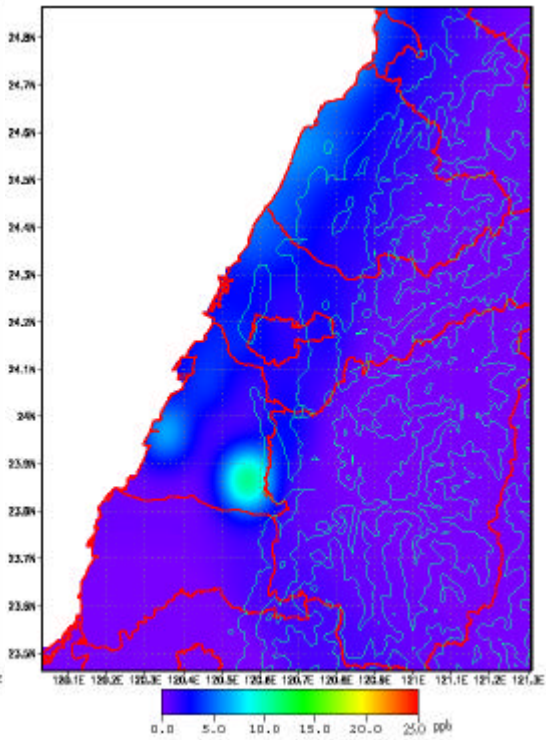


Fig. 36 SO₂ concentration and wind field in central Taiwan on 31 October 1999.

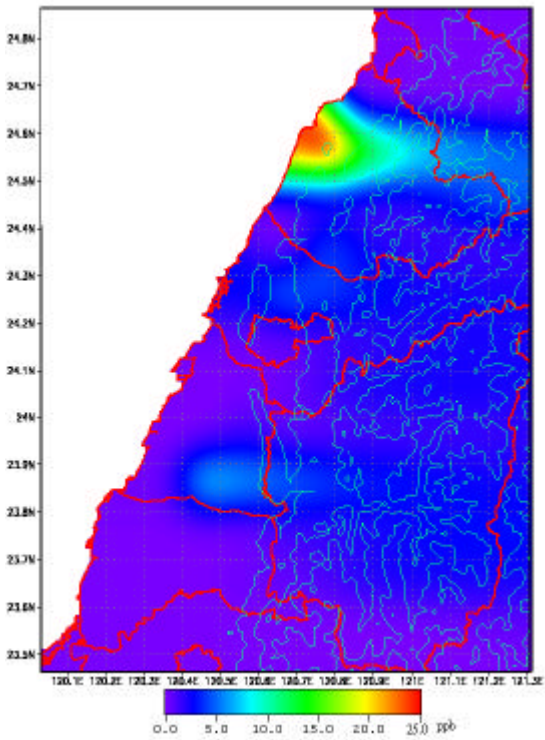
(a) 03:00



(b) 09:00



(c) 15:00



(d) 21:00

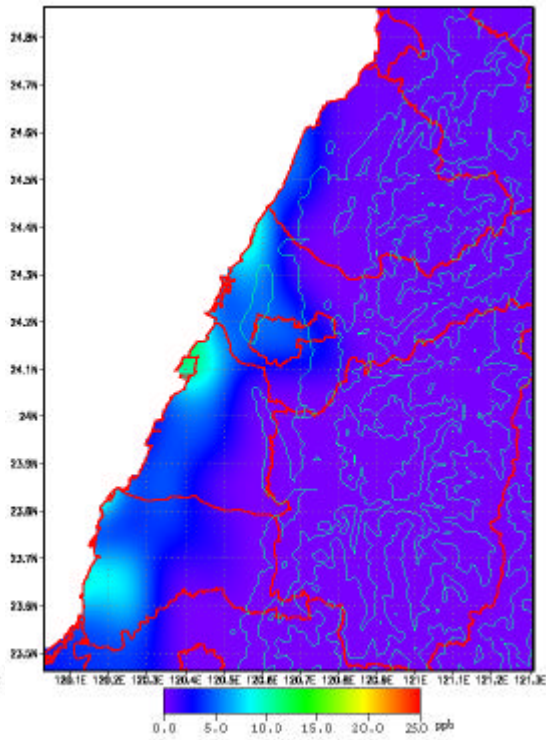


Fig. 37 Surface SO₂ concentration for different hours on 31 October 1999 obtained with ISC model.

Streak Line

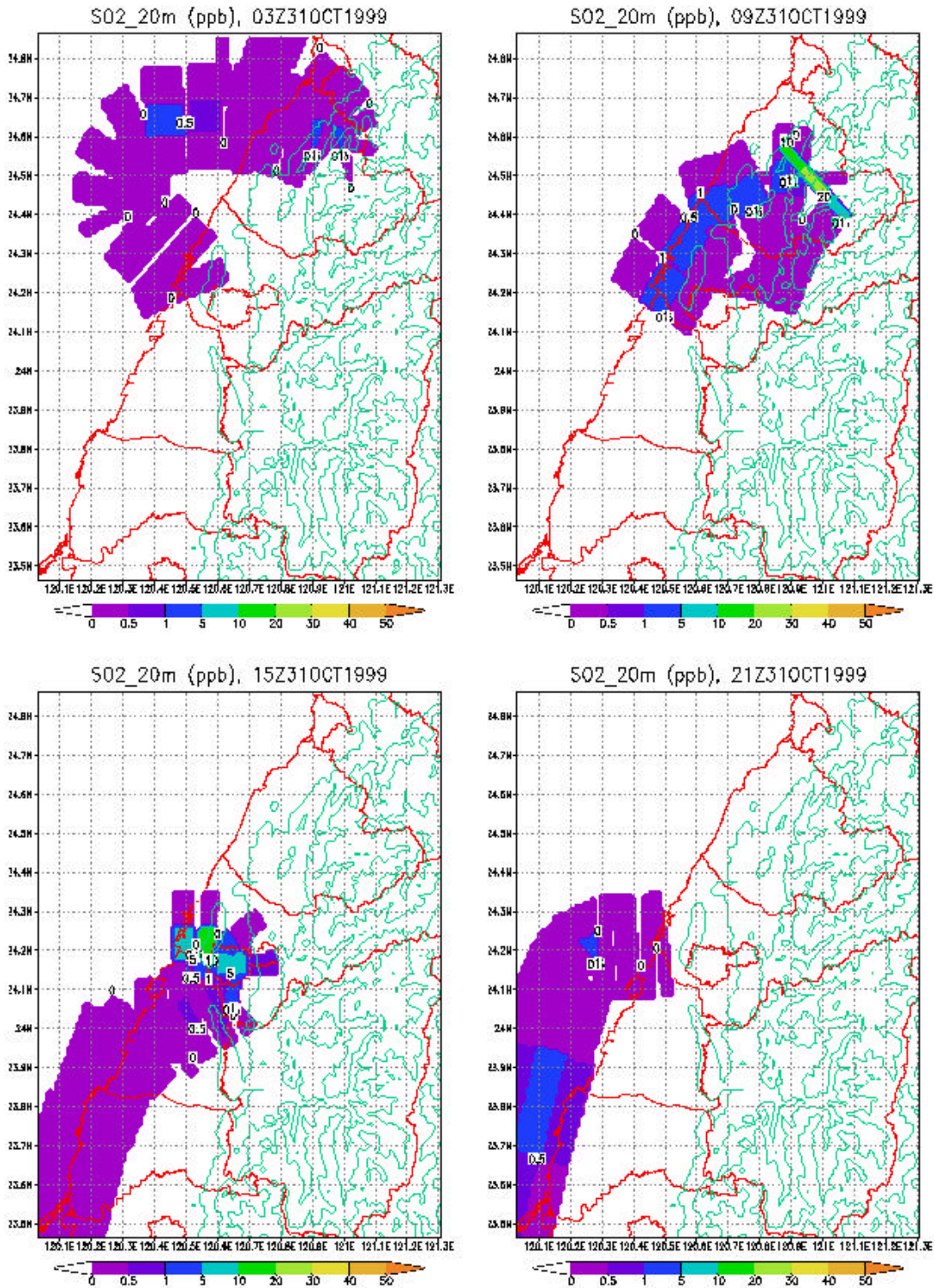


Fig. 38 Surface SO₂ concentration from Taichung power plant on 31 October 1999.

Streak Line

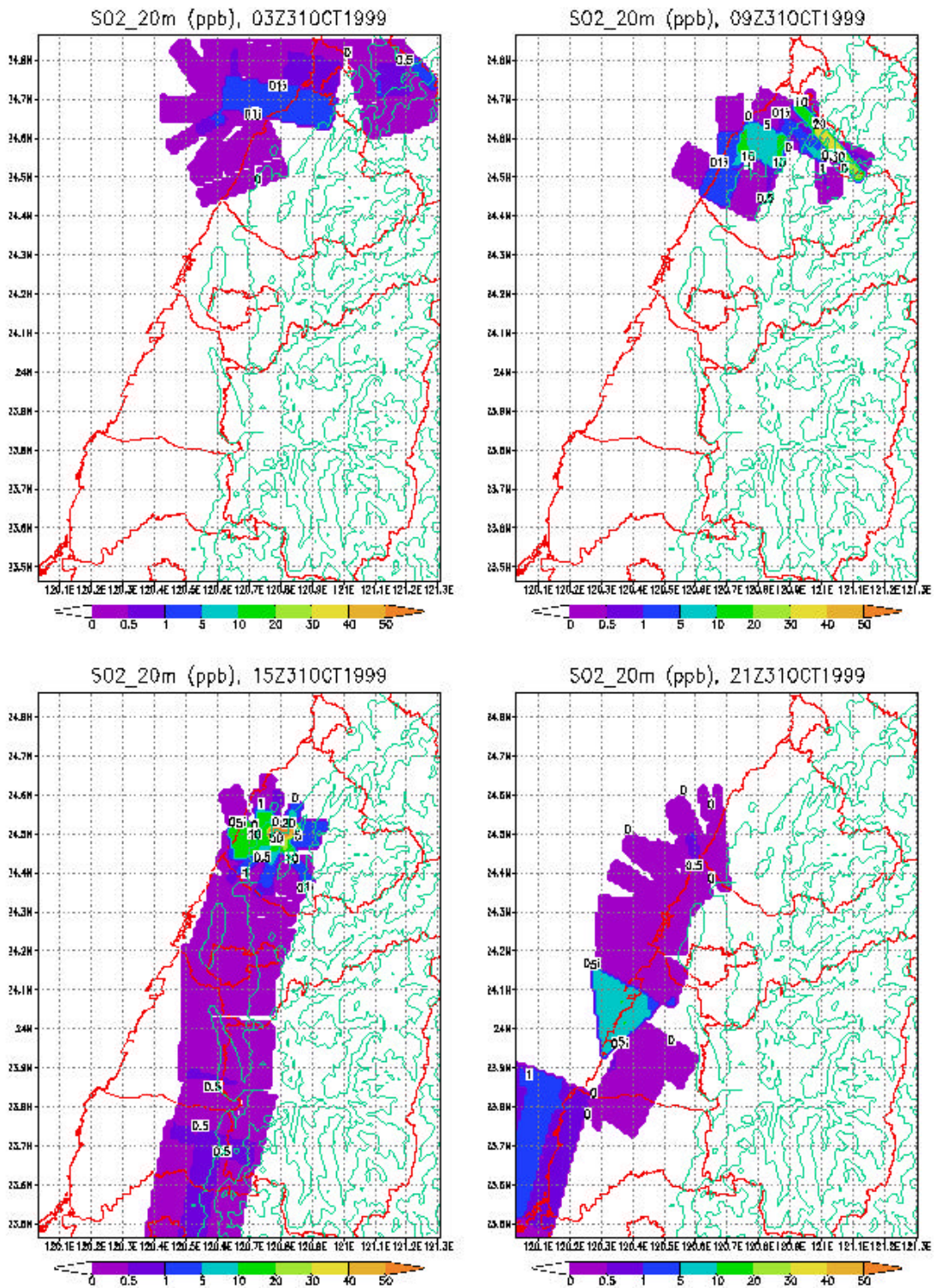


Fig. 39 Surface SO₂ concentration from Tunghsiao power plant on 31 October 1999.

4.2.2 垂直方向污染物分佈趨勢

Fig. 40 為 10 月 31 日 3 時、9 時、15 時、21 時從台中電廠出發之污染氣團順軌跡 SO₂、硫酸鹽以及混合層高度之垂直剖面圖，由 Fig. 40 可以發現混合層高度的變化對污染物的傳輸與擴散有很大的影響，混合層高度隨著時間變化，最高為 1500m，最低為 150m，由於 11 月 1 日天氣陰晴不定，混合層的發展受到限制，所以混合層僅達 1000m 左右。由 3 時以及 21 時的垂直剖面圖中，由於夜間輻射逆溫，混合層高度不高，使得有效煙囪高度高於混合層，污染物累積於混合層上，待逆溫層消失或混合層開始成長，污染物便開始擴散或沉降至地表。9 時以及 15 時由於混合層高度頗高，污染物排放至大氣後，由於垂直方向的混合良好，並沒有發生污染物累積的現象。

Fig. 41 為由通霄電廠出發之順軌跡垂直剖面圖，由於通霄電廠之煙囪有效高度並不高，一般均在 200m~250m 之間，使得在夜間混合層高度不高的情況之下，容易造成電廠附近地區近地面污染物濃度發生高值。由於 10 月 31 日當天地面風速微弱，造成在電廠附近地區有污染物累積的情況發生，而 11 月 1 日開始東北季風轉強，地面風速普遍到達 7~8m/s，故污染物受到水平擴散，污染物迅速被帶往下風處。

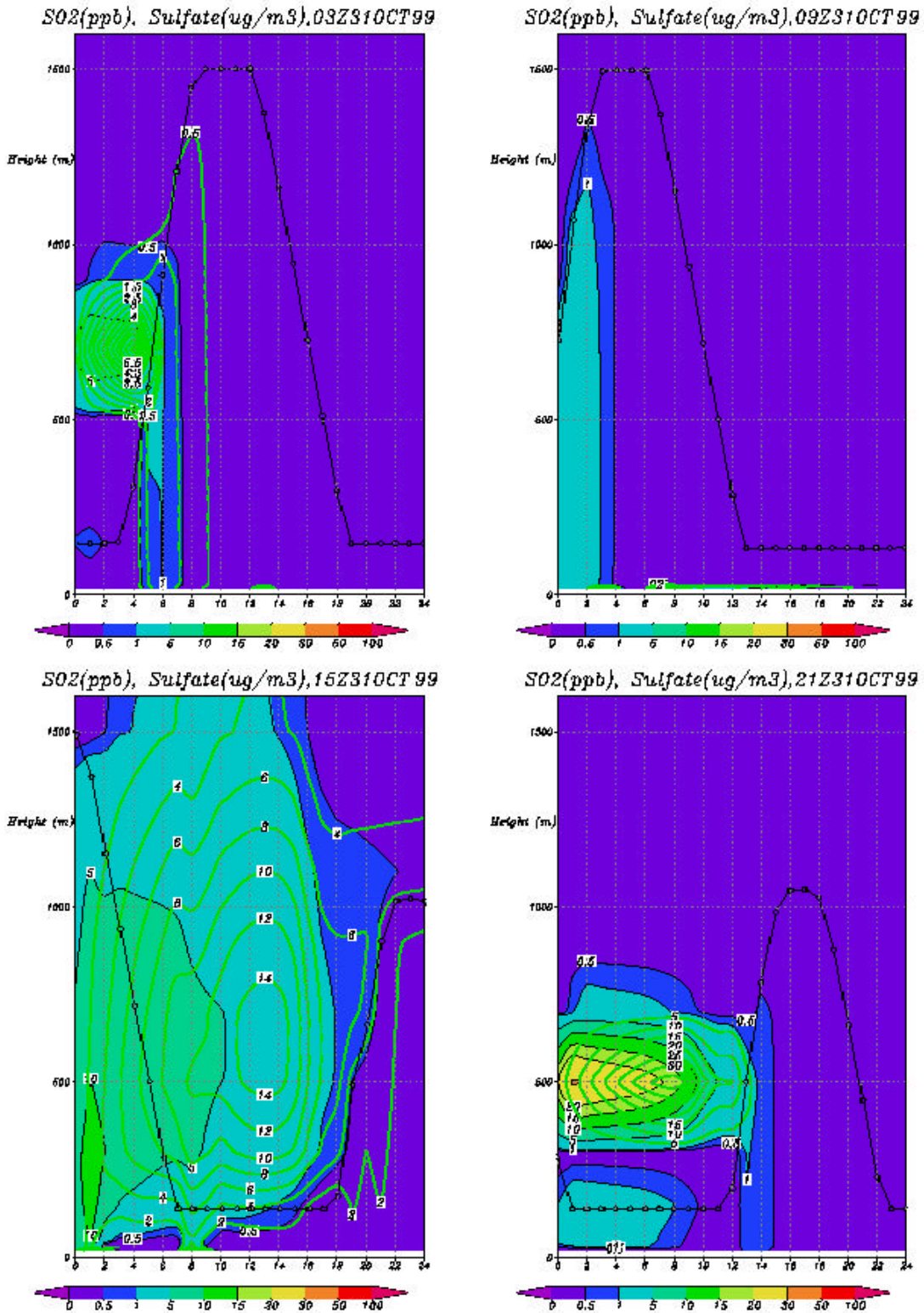


Fig. 40 Vertical profile of SO₂, sulfate concentration and mixing height from Taichung power plant on 31 October 1999.

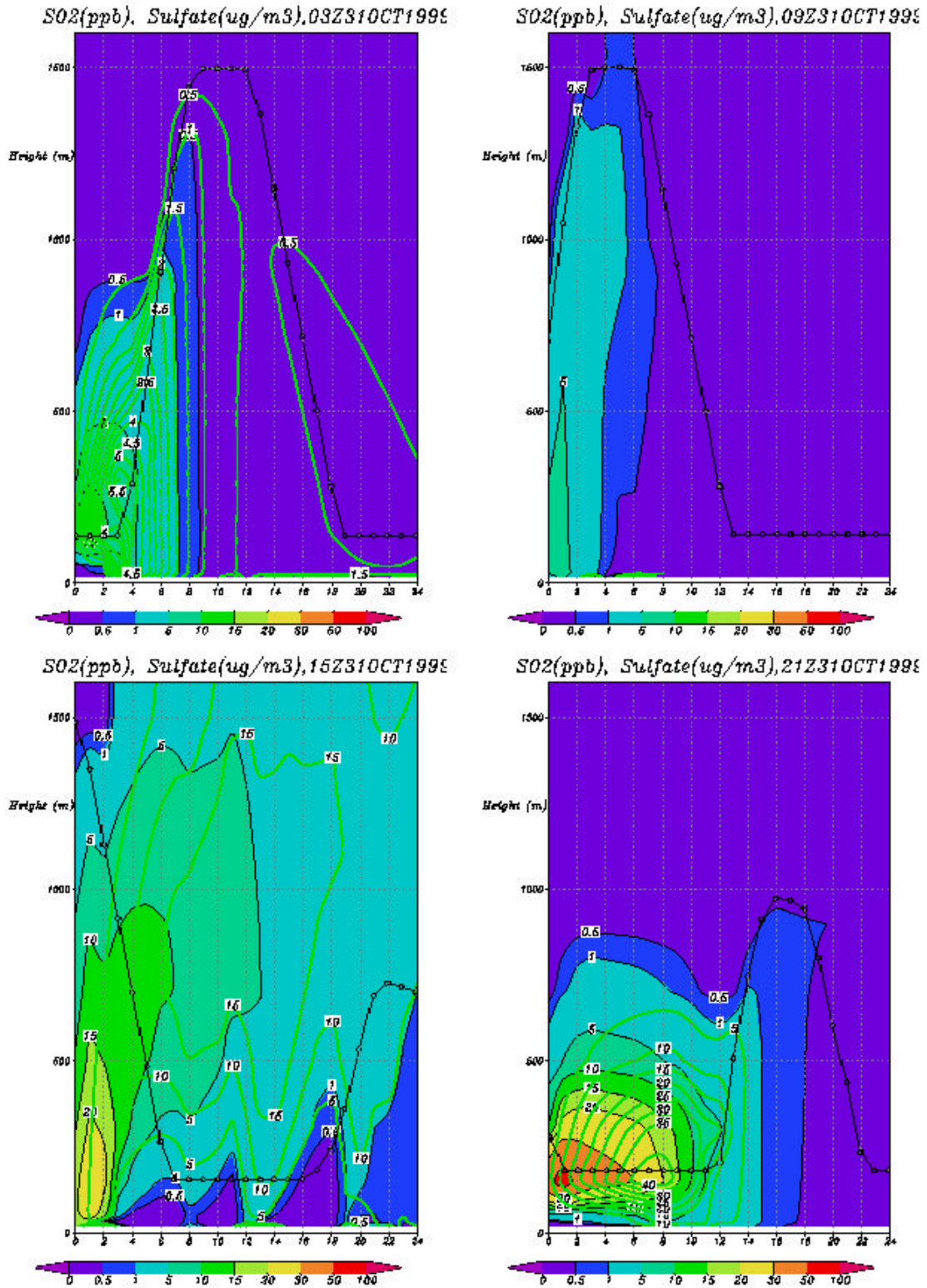


Fig. 41 Vertical profile of SO₂, sulfate concentration and mixing height from Tunghsiao power plant on 31 October 1999.

4.3 小結

案例的研究方面，由於較難去做驗證，只能由氣象場和地形等去探討可能影響污染物擴散的機制，為了探討電廠減量與地面 SO₂ 濃度的關係，選擇兩年之秋季案例來做比較，由兩年之天氣型態、溫度、雲量、日照強度、日照時間與相對溼度等氣象條件來看都十分接近，在氣象狀況相近的前提之下，比較地面測站 SO₂ 監測數據，1999 年秋季案例的地面濃度相較於 1998 年有些微下降的趨勢，尤其在台中電廠下風處的彰化、雲林地區，降低的程度更加明顯。順軌跡模擬的結果亦顯示電廠污染物的排放減量的確對地面 SO₂ 濃度有所改善。

順軌跡模式之模擬結果發現，在台中、通霄電廠下風處發生高值的地區與監測結果相當一致，以 1998 年秋季案例為例，通霄電廠在 3 時與 9 時在清水地區約有 5ppb 的貢獻，15 時與 21 時則有 10ppb 以上的貢獻濃度，此與實際值增加的趨勢相當接近，此結果可顯示模式在模擬電廠減量上的可信度，證實電廠在硫氧化物減量上對地面 SO₂ 濃度改善的成效。ISC 模式之模擬結果與實際監測趨勢一致，高濃度主要集中在沿海地區。

第五章 結論

本研究分別以順軌跡模式與 ISC 模式模擬台中電廠在硫氧化物逐年減量與通霄電廠的排放之下，對中部地區地面 SO₂ 濃度的改善情況，並選擇 1998 年與 1999 年秋季案例進行探空實驗，探討電廠在排放量的前後變化對中部地區的影響。

(1) 台中電廠減量效應

台中電廠在 1999 年 10 月完成八部機組的排煙脫硫設備之後，SO_x 排放量已明顯有大幅降低的趨勢，由台中電廠貢獻之地面 SO₂ 濃度分佈來看，電廠貢獻比例亦逐年降低。由台電五個地面測站的模擬結果發現，台中火力發電廠的貢獻比率以及傳達到地面的濃度皆有逐年降低的趨勢，其中，以鹿港站之降幅最為明顯，顯見對於排放量集中的點源污染源，管制的成效相當顯著。

台中電廠排放硫氧化物經轉換後形成之硫酸鹽濃度亦有逐年降低的趨勢，對中部地區主要指標污染物懸浮微粒濃度應會有所改善。

雖然 1997 年排放量高於 1998 年，但由 1997 年與 1998 年 1 月台中電廠貢獻濃度來看，卻呈現相反的結果，此與氣象狀況的差異有關，應是受到日照輻射量的影響所導致，由此結果看來，地面污染物濃度並非完全由污染物的排放量來決定，氣象狀況對污染物濃度的影響程度亦不容忽視。

(2) 通霄電廠排放

通霄電廠對中部地區地面 SO₂ 濃度的貢獻變化不大，且受地形的影響，傳輸距離大約僅達 20 km，對大肚山附近地區之影響較大。通霄電廠由於並無脫硫設備，使得在近幾年的硫氧化物的排放上並無大幅度的削減，且在 2000 年的排放量上亦超越台中電廠，未來通霄電廠在改以天然氣為燃料發電之下，污染物的排放量應會有所改善。

(3) 地面污染物分佈

春、夏季受到海陸風的影響較大，台中電廠對南投等內陸地區的影響較大；秋、冬由於東北季風盛行，影響範圍集中在沿海地區，污染氣團可達雲嘉

南空品區。台中電廠及通霄電廠各季節的貢獻濃度以夏季最低，應與混合層高度較高，垂直擴散良好有關，此與中部地區 SO₂ 季節性變化之趨勢一致。

(4) 最大濃度落點

台中電廠由於煙囪高度較高，加上煙囪出口速度高，使得煙囪有效高度在夜間經常高於混合層高，造成污染物不易到達地面，傳輸距離常可達 100 km 以上到達高屏地區，在盛行風微弱，海陸風較強時，煙流則是有撞山的現象發生；通霄電廠的煙囪有效高度較低，污染物傳輸距離不遠，在偏北風系下對於台中縣市地面 SO₂ 濃度以及硫酸鹽濃度有相當大的貢獻。

(5) 其它

在其它點源方面，台灣玻璃股份有限公司以及台灣化學纖維股份有限公司在貢獻比率上有逐年增加的趨勢，為中部地區最主要的 SO₂ 排放源，雖然其排放量並不如台中電廠，但是在點源所在地點以及煙囪高度低的情況之下，造成台玻以及台化在貢獻比率上居高不下。

由順軌跡模式模擬電廠之結果與實際監測值比較有高估的現象，有待模式機制及污染源排放量的確定。另外，由於 ISC 模式受到氣象場單一化的限制，故無法計算出氣流的變化，由模擬結果發現，當距離大於 40 km 時，容易受風場變化及地形的影響，所以在資料前處理的部分，必須選擇較能代表模擬地區的測站，且由於 ISC 模式對風向相當敏感，高空與地面風向的差距，容易造成很大的誤差。