

國立台灣大學理學院海洋研究所碩士論文

Institute of Oceanography

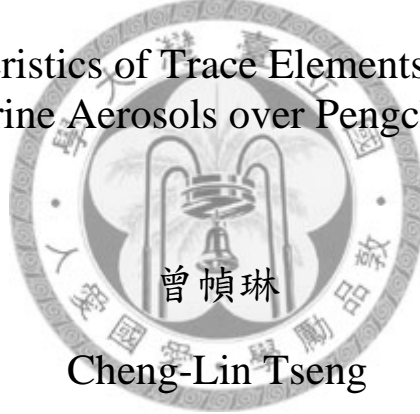
College of Science

National Taiwan University

Master Thesis

彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中金屬元素及水溶性離子之化學特
性研究

Chemical Characteristics of Trace Elements and Water-Soluble
Ions in Marine Aerosols over Pengchiayu Island



Cheng-Lin Tseng

指導教授:林斐然 博士

Advisor: Fei-Jan Lin, Ph.D.

中華民國九十七年七月

July, 2007

致謝

本研究能夠順利完成，首先要感謝恩師林斐然教授的悉心指導，除了課業之外，也給予生活上的關心以及幫助，在此對老師致上最誠摯的感謝。

除此之外，更感謝本所鄭偉力教授以及海洋大學陳宏瑜教授及洪慶章教授於論文考試期間給予指正與意見

還要感謝的，是實驗室黃致中學長及中央氣象局彭佳嶼氣象站工作人員協助標本的採集，劉建麟學長給予實驗上的指導，中央研究院環境變遷研究中心提供分析儀器(ICP-MS)及黃譯檉學長給予儀器分析上的幫忙；感謝神秘地下室空間所有的同伴，吳娜、屈、智睿、以瑛、建禕給予的照顧以及鼓勵。

特別感謝我的朋友們在這段期間內給我的幫助以及鼓勵，謝謝台大地質系的朋友，美妃、大頭、小黑、育瑄、IJ、烏茲。謝謝林盧盧、阿寄、三三、阿珍、金姐、PAT、阿寶、貓貓、TEN、阿比，因為有你們，讓我在心情低落的時候能很快振作。

非常重要的，要感謝我的家人，我父母，面對一個一直很自我很任性的女兒，能給我很大的包容，期許我自己以後可以讓你們稍微感到安慰與驕傲。謝謝我的姐姐和妹妹在我生活上的幫忙，我的哥哥，雖然很少連絡，但從不吝嗇給我必要的支援，使我能夠堅持到最後完成學業。

摘要

本研究共分析 365 個採自彭佳嶼海域的大氣懸浮微粒標本，標本收集的時間為 2004 年 12 月至 2006 年 2 月，這些標本均以離子層析儀分析其中所含的水溶性離子，此包括 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 及 SO_4^{2-} 等離子，另以感應耦合電漿質譜儀分析 2005 年春季標本中的金屬元素，此包括 Al、Fe、Na、Mg、K、Ca、Sr、Ba、Ti、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、Cd、Pb 及 Cr 等元素。

彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中水溶性離子的濃度分布呈現明顯的季節變化，以冬季和春季濃度較高，夏季濃度最低。與其他地區之大氣懸浮微粒水溶性離子濃度比較，彭佳嶼海域大氣中的地殼源以及污染源物質之比例較高，此主要是由中國大陸輸出的陸源物質所貢獻。大氣中 $\text{Cl}^- / \text{Na}^+$ 濃度之比值比海水的比值低，顯示彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中出現 Cl^- 虧損的現象。 $\text{NH}_4^+ / \text{nss-SO}_4^{2-}$ 莫耳濃度之比值計算結果顯示彭佳嶼海域大氣懸浮微粒的硫酸鹽主要是以 NH_4HSO_4 形式呈現。風向族群分析的結果顯示彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中水溶性離子以北風族群的濃度較大，大約是南風族群的 1.1 倍到 1.6 倍。比較 1996 年及 2005 年的濃度數據可發現 2005 年彭佳嶼大氣懸浮微粒中 NO_3^- 及 nss-SO_4^{2-} 的濃度比 1996 年高出一倍多。

本研究在 2005 年春季一共偵測到三次沙塵暴事件，其中最大的一次是發生在 2005 年 4 月 10 日到 15 日之間，在此期間彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中幾乎所有的元素均出現明顯的高值，特別是地殼元素。氣流軌跡回推圖顯示此沙塵暴物質是源自中國北方之內外蒙古一帶，經由長程傳輸至彭佳嶼海域，沙塵暴入侵時，大氣中 Fe/Al 的比值會下降至 0.5 左右，在此同時大氣中地殼來源的 $\text{Na}(\text{Na}_{\text{crust}})$ 濃度也會明顯增加，相對的會稀釋大氣中海水來源的 $\text{Na}(\text{Na}_{\text{sea}})$ 所佔的比例。主成分分析結果顯示在沙塵暴季節，彭佳嶼海域大氣化學組成之變化受陸源物質的影響最大，特別是地殼物質，污染物質的影響次之，海水物質的影響相對的比較小。其中污染物質又可區分為高溫污染成分如 Ni、Cu 和 Cr 及低溫污染成份 K^+ 、 NH_4^+ 、 nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、Cd 及 Pb，其在大氣中散佈的情形不盡相同，其中又以低溫污染成分的影響較大。

Abstract

Three hundred and sixty five aerosol samples were collected at Pengchiayu Island from December 2004 to February 2006. All of the samples were analyzed for water-soluble ions Na^+ , Mg^{+2} , K^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , NO_3^- and SO_4^{2-} , using ion chromatography. Samples collected from March to May of 2005 were also analyzed for trace elements Al, Fe, Na, Mg, K, Ca, Sr, Ba, Ti, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb and Cr, using inductively coupled plasma mass spectrometry.

The concentrations of water-soluble ions in aerosols collected at Pengchiayu island displayed strong seasonal variations with higher concentrations in winter and spring, and lower concentrations in summer. The aerosols at Pengchiayu Island contain high proportions of crustal and anthropogenic materials as compared with other areas, which are mainly exported from mainland China. The Cl^-/Na^+ ratios in aerosols are lower than that of sea water suggesting that there are chloride depletions in Pengchiayu aerosols. The calculations of molar ratios of $\text{NH}_4^+/\text{nss-SO}_4^{2-}$ reveal that the compound of sulfate in aerosols is mainly in the form of NH_4HSO_4 . Wind populations analysis shows that the concentrations of water-soluble ions in north wind population are 1.1 to 1.6 times higher than that of south wind population. It can be found that the atmospheric concentrations of NO_3^- and nss-SO_4^{2-} at pengchiayu Island in 2005 are higher nearly double than that of in 1996.

Three dust storm episodes have been identified in this study during the springtime of 2005. Among them the most heavily dust storm occurred in April 10 to 15, and the very high concentrations for most of elements are observed in this dust storm samples, especially for crustal elements. Airmass backward trajectories analysis suggests that the source materials of dust storm are from Mongolia in north China, which is transported to Pengchiayu Island through long-range transport. During the dust storm periods the

concentration ratios of Fe/Al in aerosols generally fall down to about 0.5, in the meantime, the concentrations of crustal derived Na will be increased significantly, and the proportions of seawater derived Na will be reduced relatively. Principal component analysis (PCA) shows that during the dust storm season the variability of chemical composition of aerosols at Pengchiayu Island is greatly influenced by the supply of land source materials including crustal and anthropogenic materials, and the impact of seawater derived materials is relatively small. Based on PCA study, the anthropogenic sources can be further classified into two groups: high temperature burning type components Ni, Cu and Cr, and low temperature burning type components K^+ , NH_4^+ , $nss-SO_4^{2-}$, NO_3^- , Cd and Pb.



目 錄

誌謝	i
中文摘要	ii
英文摘要	i ii
目錄	i
圖目錄	i ii
表目錄	iv
一、前言	1
1-1 研究背景	1
1-2 研究目的	6
二、研究方法	6
2-1 標本的採集	6
2-2 標本之一般性處理	7
2-3 標本之萃取處理	9
2-4 標本之全消化處理	9
2-5 儀器分析	10
三、結果與討論	12
3-1 彭佳嶼海域大氣懸浮微粒之水溶性離子	12
3-1-1 彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中水溶性離子之分析結果	12
3-1-2 彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中水溶性離子濃度之時序變化	15
3-1-3 彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中各水溶性離子濃度之相關性	22
3-1-4 彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中 NH_4^+ 與 nss-SO_4^{2-} 之莫耳比值	22
3-1-5 彭佳嶼海域大氣中氯的虧損	25
3-1-6 季風對水溶性離子分布之影響	27
3-1-7 彭佳嶼海域 2005 年與 1996 年主要污染源離子濃度之比較	29
3-2 沙塵暴季節大氣懸浮微粒之化學特性研究	29
3-2-1 沙塵暴季節大氣中各元素之分析結果	29
3-2-2 沙塵暴季節大氣中各元素濃度的時序變化	31
3-2-3 金屬元素與水溶性離子之主成分分析結果	34

3-2-4 沙塵暴季節大氣中各元素之來源鑑別	37
3-2-5 2005 年沙塵暴事件之探討.....	42
四、結論	47
五、參考文獻	49
附錄一	55
附錄二	63
附錄三	66



圖目錄

圖 1.1、大氣懸浮微粒粒徑分布圖.....	2
圖 1.2、大氣懸浮微粒主要離子之粒徑分佈.....	4
圖 2.1、彭佳嶼海域大氣標本採樣位置圖.....	8
圖 3.1、大氣懸浮微粒中水溶性離子之時序變化.....	16
圖 3.2、大氣懸浮微粒中水溶性離子之月平均濃度變化.....	20
圖 3.3、大氣懸浮微粒中 $\text{NH}_4^+/\text{nss-SO}_4^{2-}$ 莫耳比之月平均變化.....	24
圖 3.4、大氣懸浮微粒中 Cl^-/Na^+ 比值之時序變化.....	26
圖 3.5、大氣懸浮微粒中 Cl^- 的虧損度與 nss-SO_4^{2-} 濃度之相關作圖.....	26
圖 3.6、2005 年沙塵暴季節大氣懸浮微粒中各元素濃度的時序變化.....	32
圖 3.7、2005 年沙塵暴季節大氣懸浮微粒中各成分之主成分分析結果.....	36
圖 3.8、2005 年沙塵暴季節大氣懸浮微粒中各元素的平均地殼富集值(a) 以及海水富集值(b).....	39
圖 3.9、2005 年沙塵暴季節大氣懸浮微粒中 Mg(a)、Sr(b) 及 K(c)之地殼、 海水及污染來源所佔比例之時序變化.....	41
圖 3.10、2005 年沙塵暴季節大氣懸浮微粒中 Al 之濃度 與 Fe/Al 比值之時序變化.....	44
圖 3.11、2005 年沙塵暴季節大氣懸浮微粒中 Al 之濃度 與 $\text{Na}_{\text{ss}}/\text{Na}_{\text{total}}$ 比值之時序變化.....	44
圖 3.12(a)、2005 年沙塵暴事件發生時之氣流軌跡回推圖.....	45
圖 3.12(b)、2005 年低沙期間氣流軌跡回推圖.....	46

表目錄

表 2.1、NIST 參考樣本 SRM-1648 及 BCSS-1 之分結果	11
表 3.1、彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中主要陰陽離子之平均濃度、標準差、 最大值及最小值(2004年12月至2006年2月)	13
表 3.2、彭佳嶼海域與其他地區大氣懸浮微粒中主要陰陽離子平均濃度之比較	14
表 3.3、彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中主要離子間之相關係數	23
表 3.4、彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中水溶性離子 在南北風向族群中之濃度及比值	28
表 3.5、1996 年(吳, 1997)及 2005 年(本研究)彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中 NO_3^- 及 nss-SO_4^{2-} 濃度之比較	28
表 3.6、2005 年沙塵暴季節彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中 金屬元素之平均濃度及濃度範圍	30



一、前言

1-1 研究背景

大氣懸浮微粒是經由人為作用及自然因素作用等而形成的，依照其粒徑大小可分為粗顆粒的懸浮微粒(粒徑 $> 2.5 \mu\text{m}$)與細顆粒的懸浮微粒(粒徑 $< 2.5 \mu\text{m}$)，圖1.1是大氣懸浮微粒之粒徑分布圖(Whitby and Cantrell, 1976)，大氣懸浮微粒表面粒徑分布主要呈現三個峰值，一般是以 $2.5 \mu\text{m}$ 為界，分為粗顆粒及細顆粒，其中細顆粒又可細分為凝結核型(Transient nuclei)以及累積型(accumulation range)。粗細顆粒的大氣懸浮微粒其化學特性會有差異，形成機制也不同；粗顆粒的大氣懸浮微粒主要是以直接排放或者自然來源為主，例如風吹揚起的沙塵、海水浪花濺起的海鹽顆粒(Erickson et al., 1986)、火山爆發所產生的火山灰、生物產生的有機顆粒、生質燃燒及工業或者交通運輸排放的粗顆粒污染物質等(Chester et al., 1999; Chester, 2000)，粗顆粒主要是因重力作用而自大氣中移除並沈積至地面(Seinfeld and Pandis, 1998)。細顆粒的大氣懸浮微粒主要是工業排放經高溫燃燒所產生的污染物質以及經由大氣光化反應形成的，凝結核型顆粒主要是燃燒作用產生的氣體排到大氣中經過急速冷卻之後凝結而成，累積型顆粒主要由凝結核型顆粒經過凝絮作用而形成的，或是工業活動所直接排放之細顆粒懸浮微粒，細顆粒主要依靠雨水沖刷而自大氣中移除並沈積到地表(Seinfeld and Pandis, 1998)。

在整個大氣結構中，大氣懸浮微粒扮演成雲結霧重要的角色，雲霧作用也會影響大氣懸浮微粒的生成，傳輸與移除；大氣懸浮微粒的分布不僅會影響雲的結構，也會影響地球的輻射量，進而影響氣候(Huebert et al., 1996; Charlson et al. 1992;)。一般而言，大氣懸浮微粒在大氣中停留的時間大約是一到兩個星期，此與大氣懸浮微粒的粒徑大小有關。

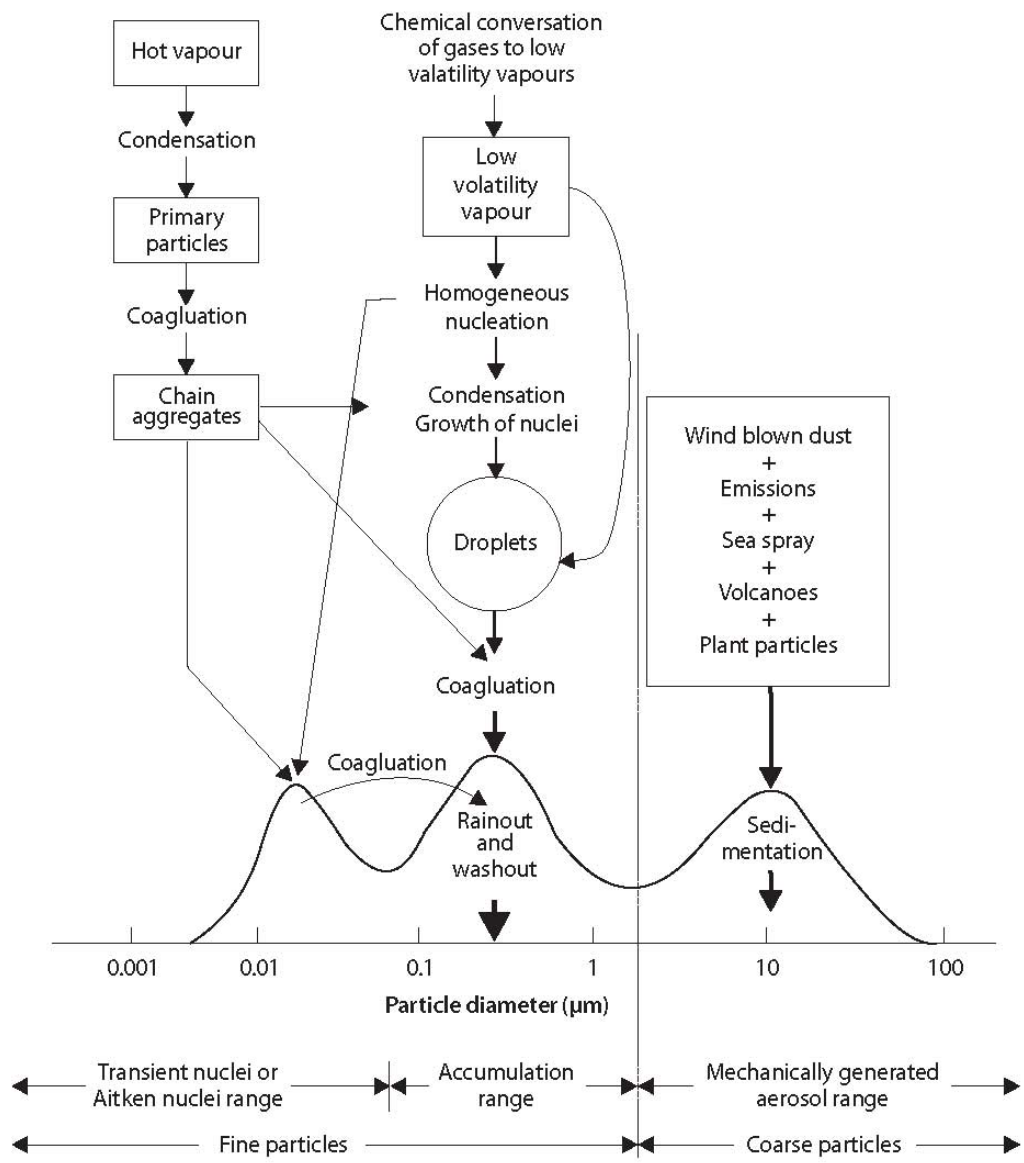


圖1.1 大氣懸浮微粒粒徑分布圖 (Whitby and Cantrell, 1976)

大氣懸浮微粒之成分依其來源物質與來源區之不同而有不同的化學特性，一般而言，大氣懸浮微粒的主要成分包括水溶性離子以及金屬元素。主要水溶性離子包括： Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 及 SO_4^{2-} 等，其中又以 Na^+ 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 及 SO_4^{2-} 的含量較高，圖1.2所示為大氣懸浮微粒中 Na^+ 、 Cl^- 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 及 SO_4^{2-} 的粒徑分布圖(Wall et al. 1988)，圖中顯示 Na^+ 、 Cl^- 是海水來源的成分，因此兩者皆以粗顆粒為主， NH_4^+ 及 SO_4^{2-} 主要分布在細顆粒中， SO_4^{2-} 主要是由大氣中 SO_2 氣體氧化成 H_2SO_4 ，其中的 SO_4^{2-} 會與 NH_4^+ 發生反應，並且以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 或 NH_4HSO_4 為主要形式存在(Walker et al., 2004)； NO_3^- 在粗細顆粒都有分布，主要是因為 NO_3^- 在都會地區可經由車輛直接排放產生，以粗顆粒為主(Yao et al. 2002)，細顆粒的 NO_3^- 會與 NH_4^+ 發生反應，而粗顆粒的 NO_3^- 則會與 NH_4^+ 及 Na^+ 發生反應(Wall et al. 1988)。

經由各種方式傳播到大氣中的懸浮微粒，會隨著大氣環流的運行而傳輸至世界各地(Henning et al., 2003)。大氣傳輸的物質是海洋中物質的主要來源之一，也是海水懸浮物以及海洋沈積物的重要來源，大氣傳輸至海洋的物質，在北半球顯著大於南半球(Duce et al., 1991)，大氣中的沙塵是懸浮微粒的主要成份，這些沙塵主要是來自乾燥以及半乾燥氣候區(Duce, 1995)，當地表風速大於5m/s的時候，這些沙塵就被帶到大氣中(Gillette, 1978)，前人也有許多關於沙塵長程傳輸的研究，包括北太平洋(Prospero et al., 1985)、地中海(Chester et al., 1984)、北大西洋(Arimoto et al. 1995; Duce et al. 1980)及北赤道大西洋(Ozloy et al., 2001)。亞洲以及非洲撒哈拉沙漠被認為是全球沙塵的主要來源區(Zhang et al., 1993)。

撒哈拉沙漠的沙塵可以經由長程傳輸橫越北赤道大西洋到加勒比海以及亞馬遜盆地，甚至可橫越地中海到達歐洲(Chester et al., 1984)。亞洲的沙塵也可以經由長程傳輸自中國大陸向日本(Uematsu et al., 2002; Uno et al., 2001)、韓國(Chen et al., 1997; Choi et al., 2001; Carmichael et al., 1996)傳輸，甚至跨越太平洋傳輸至美國西岸(Husar et al. 2001)

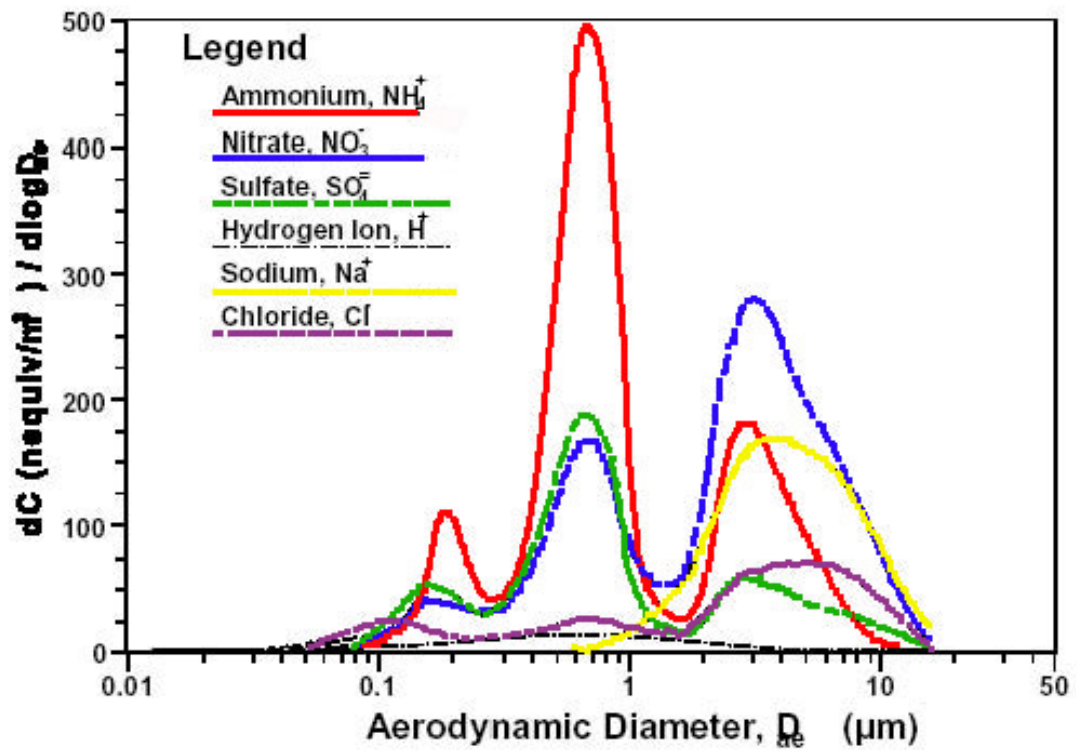


圖1.2 大氣懸浮微粒主要離子之粒徑分佈 (Wall et al. 1988)



亞洲沙塵主要是來自於中國大陸內陸的沙漠區，以中國西北，華北和蒙古一帶的八大沙漠為主，八大沙漠包括塔克拉瑪干沙漠(Taklamakan Desert，位於新疆塔里木盆地，面積約 $3.4 \times 10^5 \text{ Km}^2$)、古爾班通古特沙漠(Gurbantunggut Desert，位於新疆準噶爾盆地，面積約 $4.8 \times 10^4 \text{ Km}^2$)、巴丹吉林沙漠(Badain Jaran Desert，位於內蒙古西部，面積約 $4.43 \times 10^4 \times \text{Km}^2$)、騰格里沙漠(Tengger Desert，位於內蒙古，面積約 $4.27 \times \text{Km}^2$)、柴達木盆地沙漠(Tsaidam Basin Desert，位於青海省西北部，面積約 $3.49 \times \text{Km}^2$)、庫姆塔格沙漠(Kumhotage Desert，位於甘肅省敦煌市西邊，面積約 $1.95 \times \text{Km}^2$)、庫布齊沙漠(Kubuchi Desert，位於內蒙古，面積約 $1.86 \times \text{Km}^2$)、烏蘭布和沙漠(Ulan Buh Desert，位於內蒙古，面積約 $1.15 \times \text{Km}^2$)；在冬季以及春季，由於受到大陸內蒙古冷高壓以及冷鋒系統的影響，來自中國大陸內陸沙漠區的沙塵隨著氣流傳輸到各地，四月是亞洲沙塵暴發生最頻繁的時節(Merrill et al., 1989)，中緯度地區是受到亞洲沙塵暴影響最強烈的地區，包括台灣(Chang et al., 2006; Liu et al., 2006; Fang et al., 2005)、日本(Zhou et al., 1996; Okuda et al., 2006; Watanabe et al., 2006)、韓國(Lee et al., 2006; Kim et al., 2003; Arimoto et al., 2004)以及美國西岸((Jaffe et al., 1999; Jaffe et al., 2005)都能接收到亞洲沙塵暴所帶來的陸源物質，亞洲沙塵暴的組成除了地殼物質外，在傳輸過程中也會經過污染地區會將污染物質一併帶走並傳輸至各地(Arimoto et al., 1996; Kai et al., 2007)，進而影響各地的大氣組成(Liu et al., 2002)。

沙塵暴會帶來大量的懸浮微粒，也包括污染源的大氣懸浮微粒，其中 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 及 NH_4^+ 對於地球的氣候、環境以及大氣組成有重要的影響， SO_4^{2-} 會藉由反射作用干擾大氣的輻射平衡，也是雲凝結核的主要來源(Adams et al., 1999; Wu et al., 2006)。大部分大氣中的硫化物是以 SO_2 的形式經由石化燃燒以及生質燃燒排放至大氣中氧化形成 SO_4^{2-} ，只有少部份是以 SO_4^{2-} 的形式直接排放；火山活動排放的 SO_2 以及海洋生物產生的DMS則是大氣中硫化物的重要自然來源； SO_4^{2-} 在大氣中大約4-6天之後就沈降至地表或海洋(Adams et al., 1999; Huebert et al., 1996)。 NH_4^+ 在大氣懸浮微粒中扮演重要的中和角色，與 SO_4^{2-} 及 NO_3^- 發生中和反應，是決定雲凝結核與降雨之pH值最重要的角色，影響大氣中許多化學反應的速率，大氣中 NH_4^+ 主要的來原是家禽動物、肥料、農作物以及生質燃燒等，污染來源的 NH_4^+ 是自然來

源的四倍之多，(Bouwman et al., 1997) NH_4^+ 在大氣中的停留時間是4-6天(Adams et al., 1999)。大氣中的 NO_3^- 是 NO_x 氧化的產物， NO_x 主要是經由燃燒石化燃料、土壤的釋放、生質燃燒以及光化反應產生(Adams et al., 1999; Logan, J. A., 1983)。從大氣沈降至海洋的懸浮微粒對於海洋的生產力以及生態系統有一定的影響， SO_4^{2-} 與 NO_3^- 會影響海水的pH值(Lestari et al., 2003)而 NH_4^+ 和 NO_3^- 自大氣輸入到海洋，對於海水營養鹽的貢獻很大(Nakamura et al., 2005; Chen and Chen, 2008)。

1-2 研究目的

本研究之主要目的在分析大氣懸浮微粒中水溶性離子濃度以及沙塵暴季節之金屬元素的濃度，以了解這些成份在大氣中的時序變化，並且鑑別這些成份的來源，最終目的是要了解彭佳嶼海域的大氣懸浮微粒的化學特性及受污染的情況。



二、研究方法

2-1 標本採集

本研究分析的標本是採自彭佳嶼島上的大氣懸浮微粒標本。圖2.1是引用自中央氣象局網站的彭佳嶼氣象站的地理位置圖，彭佳嶼經緯度是北緯 $25^{\circ}37'46''$ 、東經 $122^{\circ}04'17''$ ，面積約114公頃，是一座海底火山噴發所形成的島嶼，位於中國大陸與台灣之間的東海海域，距離基隆港約50公里，島上的氣候與台灣本島相似，全年平均溫度 22°C ，相對溼度79%，海拔高度199公尺，可以忠實反映季風特性，降雨集中在五月的梅雨季節以及七月到九月的颱風季節，因為地理位置的關係，周圍有中國大陸、韓國、日本以及台灣等工業高度發展的國家，除此之外，受到季風影響，彭佳嶼可接收到東北季風帶來的大陸地區陸源物質以及西南季風帶來的海鹽及台灣島的陸源物質，本研究分析在彭佳嶼所收集的大氣懸浮微粒，可以了解在不同季節，不同來源的大氣懸浮微粒組成的化學特性以及其傳輸過程，並了解此區域之大氣受到中國大陸、台灣、日本及韓國等國經濟發展造成的污染情

形。採樣站設立於彭佳嶼氣象站的樓頂，距離地面約八公尺，距離海平面高度約102公尺，周圍無其他阻擋氣流流通之建築物，島上少有住民也無其他污染來源，因此在島上採集的標本可視為在海面上採集的標本，所收集的標本可代表東海海域之大氣懸浮微粒。

使用的標本採集儀器是高流量空氣採樣器以濾紙過濾方式收集總懸浮微粒(total suspended particles, TSP)，採樣儀器是由美國通用金屬公司(General Metal Works Inc.)所生產的GBM-2000H型抽氣馬達，流速為 $1.1\text{m}^3\text{min}^{-1}$ ，GFH-2100型不鏽鋼網架及G105型的連續流量記錄器所組成。流量校正採用G-25型流量校正器，濾紙採用Whatman 41型(20x25cm)醋酸纖維濾紙。

本研究的標本採集時間從2004年12月1日開始至2006年2月28日止，每24小時採集一個標本，單一標本之平均流量為 1745m^3 ，扣除因為颱風以及其他因素造成標本收集失敗，總計有365個收集成功的大氣懸浮微粒標本。標本採集之後將濾紙對折放入PE夾鏈袋中保存，再帶回實驗室進行化學處理分析。



2-2 標本之一般性處理

標本帶回實驗室保存在乾燥箱中待處理，處理時手戴拋棄式塑膠手套，將濾紙取出，在氣流罩桌(class-100 laminar flow bench)中將標本依照採樣時間進行編號，例如2004年12月1日的標本編號為PCY041201。接著將濾紙四周圍未收集到標本的空白部份以陶瓷剪刀剪下，為了之後實驗進行的方便，將濾紙分成四等分，接著放回原來的夾鏈袋保存，待之後標本處理。為了避免污染，每處理一個標本就換一雙手套。



圖2.1、彭佳嶼海域大氣標本採樣位置圖



2-3 標本之萃取處理

在進行萃取實驗之前，先準備好足夠數量的50 ml離心管，將離心管浸泡蒸餾水一天之後取出，置於氣流罩桌中風乾。接著取出四分之一張的濾紙對折兩次之後放入離心管中，加入30ml超純水，旋緊試管蓋子，用力搖晃數次，接著將離心管放置於試管架上，以水槽式超音波震盪器震盪1小時之後取出，將離心管中的萃取液以0.45 μm 的nuclepore濾紙過濾，過濾後的萃取液倒入新的標本瓶中，接著取0.5ml萃取液稀釋成50ml，然後用DIONEX公司製造的DX-120離子層析儀測定標本的主要陰陽離子之濃度，測定的陰陽離子包括 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等。

2-4 標本之全消化處理

在進行全消化實驗之前，先準備足夠數量的鐵氟龍燒杯，將燒杯浸泡清潔劑清洗，並以蒸餾水清洗數次，接著加入2 ml HNO_3 (Merck GR級 65%) 置於加熱板上以150°C加熱一小時進行酸洗，以確認無殘留物質存在，再以超純水清洗三次之後備用。全消化實驗步驟如下：

1. 將1 / 4張濾紙標本對折至適當大小，置入先前酸洗過的鐵氟龍燒杯，杯蓋上註明標本編號。
2. 將10 ml HNO_3 (Merck GR級 65%) 加入燒杯內並置於加熱板上，以90~100°C加熱8 -10小時。此時注意勿蒸乾。
3. 將5 ml HF (Merck suprapure 40%) 加入燒杯內，持續加熱溶解其中的鋁矽酸鹽礦物。
4. 將0.5 ml HClO_4 (Merck suprapure 70%) 加入燒杯內，溶解其中的碳灰，並持續加熱至溶液澄清，最後蒸乾成白餅狀。
5. 將2 ml HNO_3 (Merck GR級 65%) 加入燒杯內並持續加熱30分鐘，觀察標本是否

完全溶解，若未溶解完全，則重複步驟2-4至標本完全溶解為止。

6. 將50 ml超純水加入燒杯內，並持續加熱至溶液減少為10 ml左右。
7. 將燒杯取下放置冷卻之後，將溶液倒入25 ml定量瓶，將所有標本定量至25 ml。
8. 取步驟7的溶液稀釋1000倍，供ICP-MS測定其金屬濃度。

2-5 儀器分析

本研究以DIONEX公司製造的DX - 120離子層析儀分析經由萃取得到的標本稀釋溶液，測定其中的 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等主要陰陽離子。DX - 120離子層析儀包括一組分離管柱(separation column)、一組保護管柱(guard column)及一組抑制器(self-regenerating suppressed conductivity)，在陽離子測定方面，流洗液是20 mM MSA(Methane sulfonic acid)，流速設定為1.0 ml / min。在陰離子測定方面，流洗液是2.7mM Na_2CO_3 及0.3mM NaHCO_3 ，流速設定為1.1 ml / min。

另一方面，本研究經由消化實驗得到的標本溶液，以中研院環境變遷研究中心的感應耦合電漿質譜儀(Inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)分析其中主要及微量元素的濃度，分析的元素包括Al、Fe、Na、Mg、K、Sr、Ba、Ti、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、Cd、Pb及Cr。元素的定量是以Merck公司生產之各種元素標準溶液配製而成的標準液來繪製檢量線。各元素的濃度校正是以美國國家標準技術局(NIST)之大氣懸浮微粒參考樣品SRM-1648及沈積物參考樣品BCSS-1為標準，各標準品之分析結果列於表2.1。

表2.1、NIST參考樣本SRM-1648及BCSS-1之分析結果

Element	Certified	This Work	Recovery%	Precision%
SRM-1648(%)				
Al	3.42±0.11%	3.33±0.041%	97	1.2
Fe	3.91±0.10%	4.06±0.031%	104	0.8
Na	0.425±0.002%	0.45±0.345%	106	7.7
Mg	*0.8%	0.8±0.007%	100	0.9
K	1.05±0.01%	0.97±0.017%	92	1.8
Ti	*0.4%	0.38±0.003%	95	0.8
Zn	0.476±0.014%	0.51±0.008%	108	1.6
Pb	0.655±0.008%	0.66±0.007%	100	1.1
SRM-1648(ppm)				
Ba	737*ppm	752±5.21ppm	102	0.7
Mn	786±17ppm	841±6.00ppm	107	0.7
Ni	82±3ppm	80±2.36ppm	98	2.9
Cu	609±27ppm	603±28.84ppm	99	4.8
Co	*18ppm	18±0.759ppm	100	4.2
Cd	75±7ppm	74±2.728ppm	98	3.7
BCSS-1				
Sr	96ppm	97±1.358ppm	101	1.4
Cr	123±14ppm	105±3.255ppm	85	3.1

*: Non-certified value

三、結果與討論

3-1 彭佳嶼海域大氣懸浮微粒之水溶性離子

3-1-1 彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中水溶性離子之分析結果

本研究一共分析365個大氣懸浮微粒標本之主要水溶性離子濃度，此包括 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 及 SO_4^{2-} 等離子，分析結果如附錄一。本研究所採的標本是跨越三個年份從2004年12月1日到2006年2月28日止，在結果與討論中除了計算所有標本中各離子濃度的總平均值外(如表3.1)，另外也單獨計算2005年1月1日到12月31日的所採標本之濃度平均值，得到2005年全年的平均濃度。

硫酸根離子除了海水來源外，還包括污染源以及生物源，其中生物源是以海洋生物排放的DMS(dimethyl sulfide，二甲基硫)經氧化而產生的，因此本研究進一步利用海水中 Na^+ 與 SO_4^{2-} 的濃度比值求出海水來源的 SO_4^{2-} 濃度(以 ss-SO_4^{2-} 代表)，再將分析得到的總 SO_4^{2-} 濃度減去 ss-SO_4^{2-} 得到非海水來源的 nss-SO_4^{2-} 濃度。下面的結果討論是以 nss-SO_4^{2-} 為主。此外，本研究也以同樣的方法求出非海水來源的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 濃度，分別以 nss-Ca^{2+} 、 nss-Mg^{2+} 、 nss-K^+ 表示。

表3.1所示為所有標本之各離子的濃度總平均值計算結果，所有離子之濃度平均值($\mu\text{g}/\text{m}^3$)由高至低排列為： $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ 。濃度最高的 SO_4^{2-} 其濃度是濃度最低的 K^+ 之28倍。此外，本研究也以2005年1月1日到2005年12月31日的標本濃度計算2005年各離子之年平均濃度，目的在於觀察彭佳嶼海域大氣懸浮微粒之年變化，計算結果顯示2005年各離子之年平均濃度之高低順序與全部標本之平均值相同，但各離子之2005年平均濃度都比全部標本之平均濃度高。

從各離子濃度之最大值與最小值之比值看到 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 的濃度是全年變化較小的離子，濃度變化範圍在兩個數量級之內，顯示 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 的濃度分布相較其他離子而言是變化幅度較小的；而 NH_4^+ 、 K^+ 、 Cl^- 的濃度變化則比較大， NH_4^+ 的最大濃度甚至是最小濃度的1222倍之多，顯示這些離子的濃度分布之變化幅度比較大。造成濃度分布變化的因素有很多，包

括不同的物質來源，不同的來源區，而來源物質供應的強度以及傳輸途徑，季風變化及其他氣象因子等都會影響 (Gao et al., 1992a; 林, 1993)。表3.2是彭佳嶼海域與其他地區之大氣懸浮微粒水溶性離子平均濃度之比較，可以清楚的看出本研究區的懸浮微粒，其 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 濃度都比其他地區的濃度高，只有低於香港地區(Cheng et al. 2000)，顯示彭佳嶼由於是離島的緣故，其大氣組成中，海水來源的成分比其他非島嶼的地區高；而其他離子之濃度都比中國大陸的廣州、上海(Gao et al. 1996)等工業都會城市低，但是比韓國的Cheju(Kim et al. 2002)高，顯示彭佳嶼海域因為東北季風的關係，可以接收到從中國大陸帶來的陸源物質，包括 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 及 NO_3^- ，因此污染性離子濃度低於中國大陸的都會區但是比其他地方高。

表3.1、彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中主要陰陽離子之平均濃度、標準差、最大值及最小值(2004年12月至2006年2月)

	Mean conc.	S. D.	Max.	Min.	Max./Min.
Na^+	6.00	4.15	39.0	0.42	93
Mg^{2+}	1.00	0.58	4.63	0.09	51
K^+	0.39	0.36	3.73	0.03	124
Ca^{2+}	1.86	1.87	16.05	0.21	76
NH_4^+	1.96	1.97	12.22	0.01	1222
Cl^-	8.59	7.97	80.77	0.15	538
NO_3^-	5.21	3.72	20.52	0.38	54
SO_4^{2-}	11.16	7.08	41.14	1.31	31
nss - SO_4^{2-}	9.65	6.99	40.70	0.42	97

n=365

Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

表3.2、彭佳嶼海域與其他地區大氣懸浮微粒中主要陰陽離子平均濃度之比較

地點	區域型態	採樣時間	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Reference
彭佳嶼，台灣	島嶼	2004/12-2006/2	6	1	0.39	1.86	1.96	8.59	5.21	11.16	本研究
台中，台灣	都會區	1998-2001	2.79	0.82	0.81	1.83	5.82	3.73	6	12.6	Fang et al. 2002
香港	沿岸區	1995-1996	11.13	1.38	0.78	0.91	1.39	16.8	4.21	10.77	Cheng et al. 2000
廈門	沿岸區	1993	0.87	0.5	0.66	8.11	1.34	1.78	3.87	18.19	Gao et al. 1996
廣州	都會區	1993	1.65	0.58	2.47	6.71	8.49	5.13	9.59	43.68	Gao et al. 1996
上海	都會區	2003-2005	1.9	0.67	1.13	6.98	5.68	8.06	14.19	17.83	Wang et al. 2006(b)
Cheju，韓國	都會區	1997-1998	1.4	0.03	0.17	0.11	0.76	2.09	1.97	3.41	Kim et al. 2002

Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

3-1-2 彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中水溶性離子濃度之時序變化

圖3.1及圖3.2分別為2004年12月至2006年2月彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中水溶性離子的時序日變化以及月變化，本研究將12月-1月視為冬季、3月-5月為春季、6月-8月為夏季、9月-11月為秋季，從各離子的月變化圖發現 Na^+ 的濃度全年變化不大，7~8月的濃度最低($3.8\text{--}3.9\mu\text{g}/\text{m}^3$)，最高月平均濃度出現在10月($9.86\mu\text{g}/\text{m}^3$)； Cl^- 和 Mg^{2+} 的濃度變化趨勢大致與 Na^+ 相同，7-8月的月平均濃度最低，10月平均濃度最高； Na^+ 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 的濃度時序變化趨勢一致，在秋季濃度最高，冬季和春季次之，夏季最低。 K^+ 的濃度在7月的月平均濃度最低($0.1\mu\text{g}/\text{m}^3$)，最高月平均濃度是2006年1月份($0.7\mu\text{g}/\text{m}^3$)，冬季和春季濃度比較高，夏季則明顯偏低。 Ca^{2+} 的月平均濃度在6~8月的時候最低($0.5\mu\text{g}/\text{m}^3$)，3月的時候最高($2.87\mu\text{g}/\text{m}^3$)； NH_4^+ 的月平均濃度最低是2005年8月($0.98\mu\text{g}/\text{m}^3$)，最高月平均濃度出現在2005年11月($3.32\mu\text{g}/\text{m}^3$)， NO_3^- 的月平均濃度最低與 NH_4^+ 同樣是2005年8月($3\mu\text{g}/\text{m}^3$)，最高月平均是2005年3月($9.13\mu\text{g}/\text{m}^3$)。 Ca^{2+} 、 NO_3^- 及 NH_4^+ 的濃度春季最高，秋冬次之，夏季最低。 nss-SO_4^{2-} 濃度變化幅度不大，最低月平均濃度是2005年8月($6.67\mu\text{g}/\text{m}^3$)，最高月平均濃度是2005年11月($14.71\mu\text{g}/\text{m}^3$)，春季和秋季較冬季稍微高些，而夏季較低， SO_4^{2-} 的來源除了直接排放之外，還有二次轉換生成，夏季濃度仍然維持高值是因為太陽輻射較強，光化作用較強烈所致。

濃度時序變化的結果顯示大部分的水溶性離子在春季以及冬季濃度都比較高，夏季最低，主要是受到季風的影響，夏季來自大洋的西南氣流或東南方氣流比較乾淨，大氣懸浮微粒濃度較低，冬季以及春季來自中國大陸的北方氣流，帶來許多的陸源物質，包括污染物質，因此大氣懸浮微粒的濃度比較高(Wang et al., 2006a)。

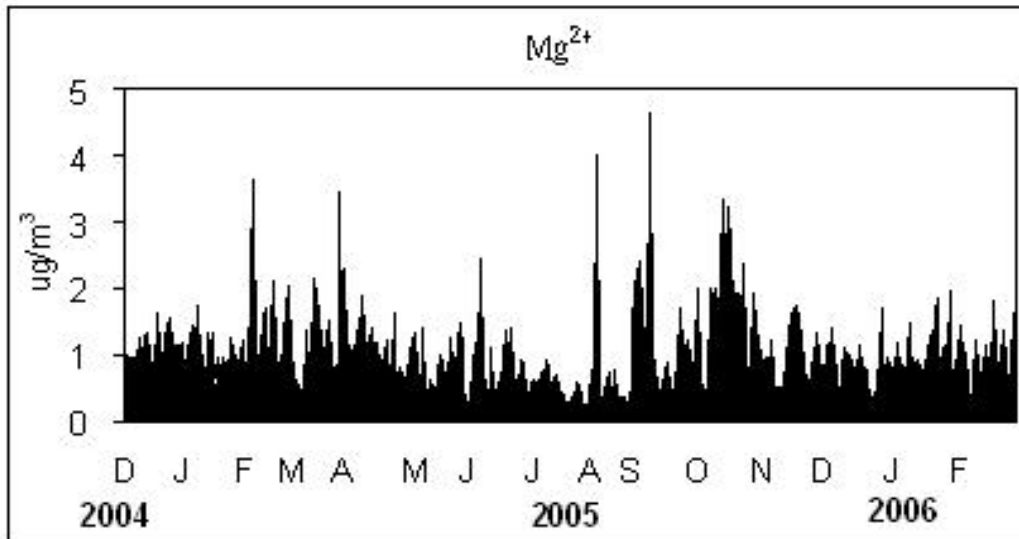
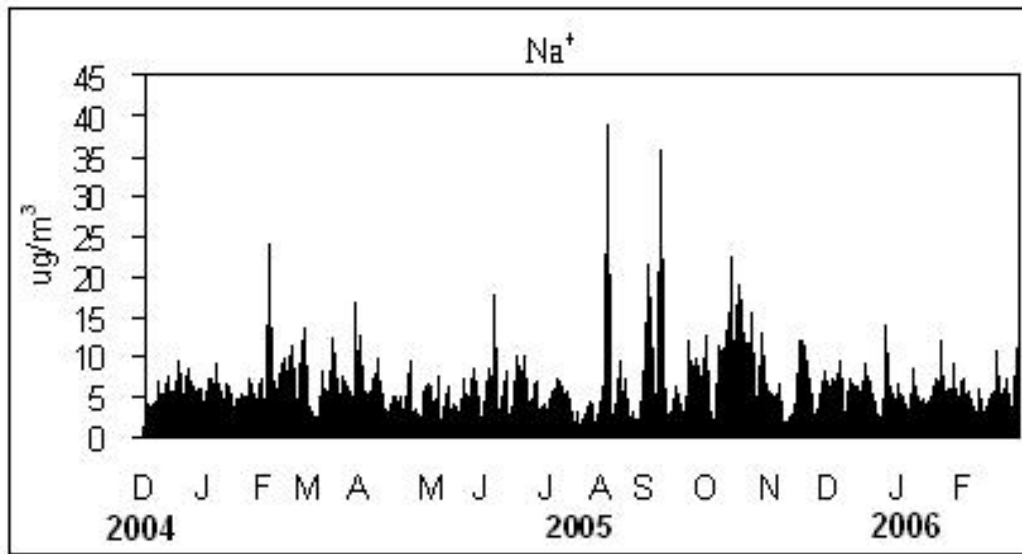


圖3.1 大氣懸浮微粒中水溶性離子之時序變化

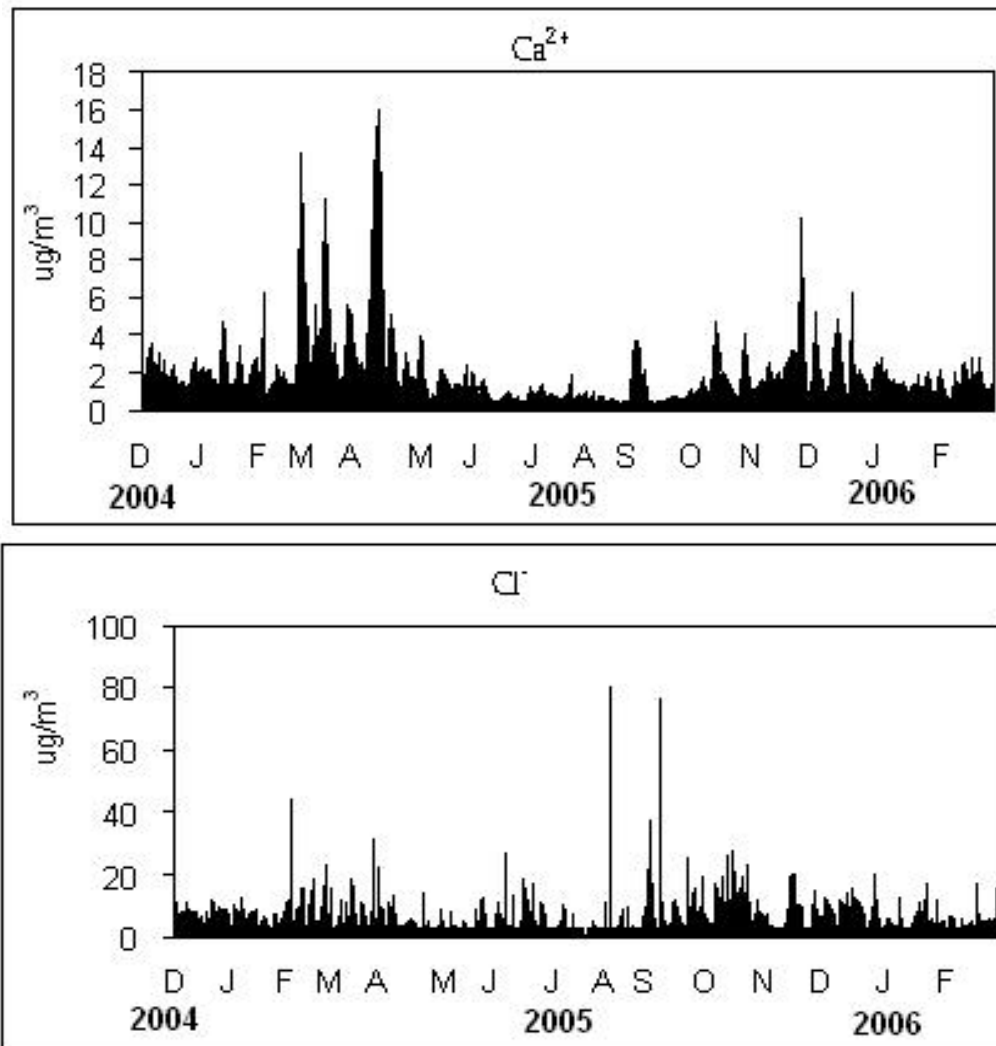


圖3.1 續

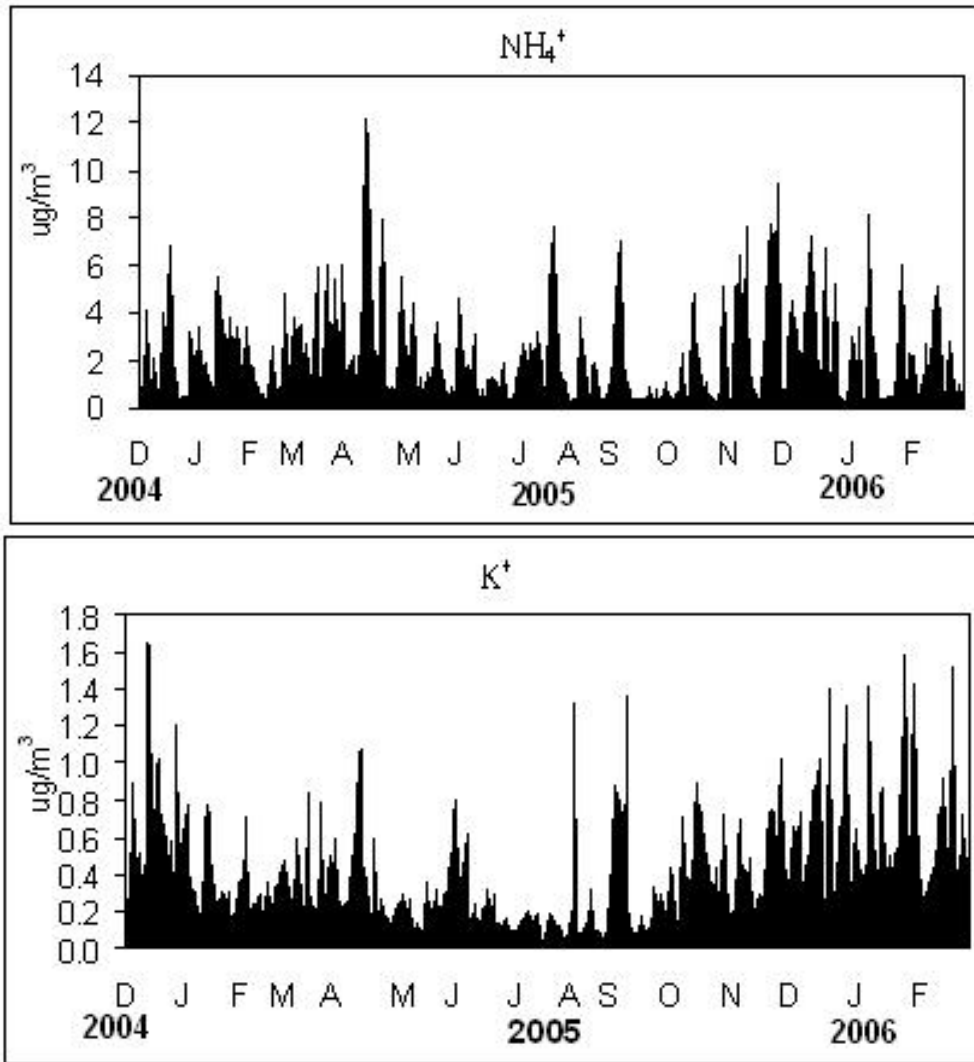


圖3.1 續

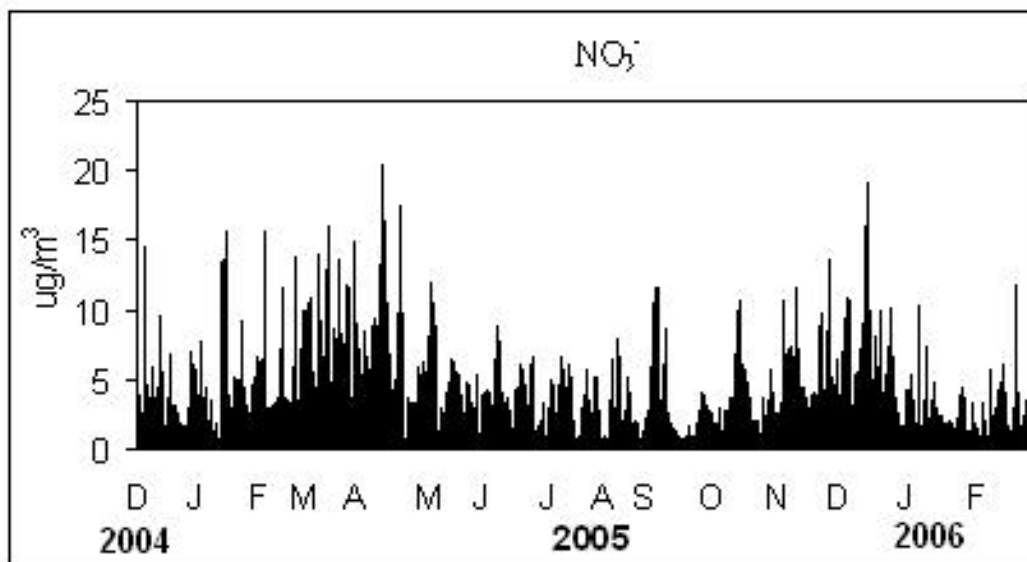
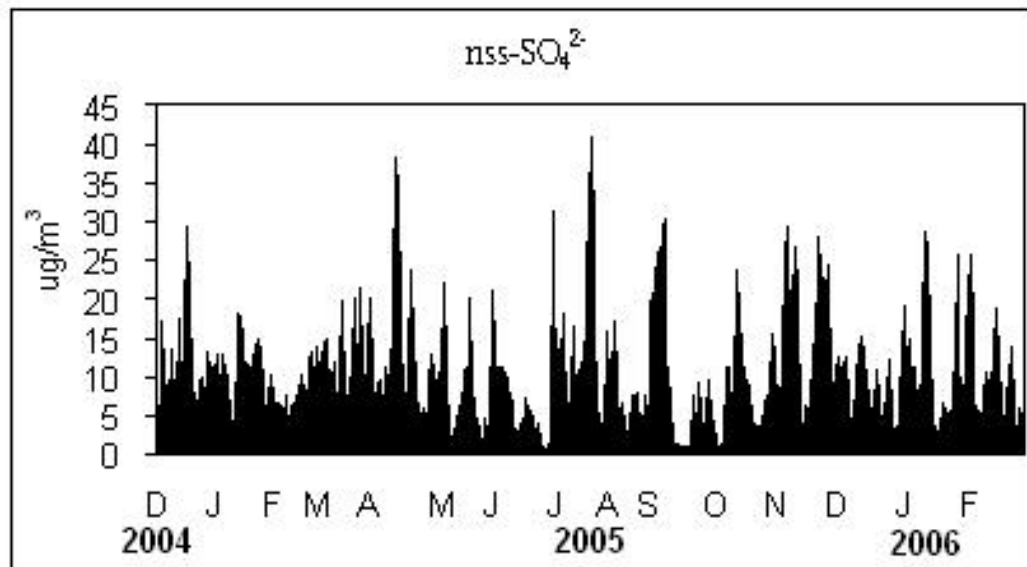


圖3.1 續

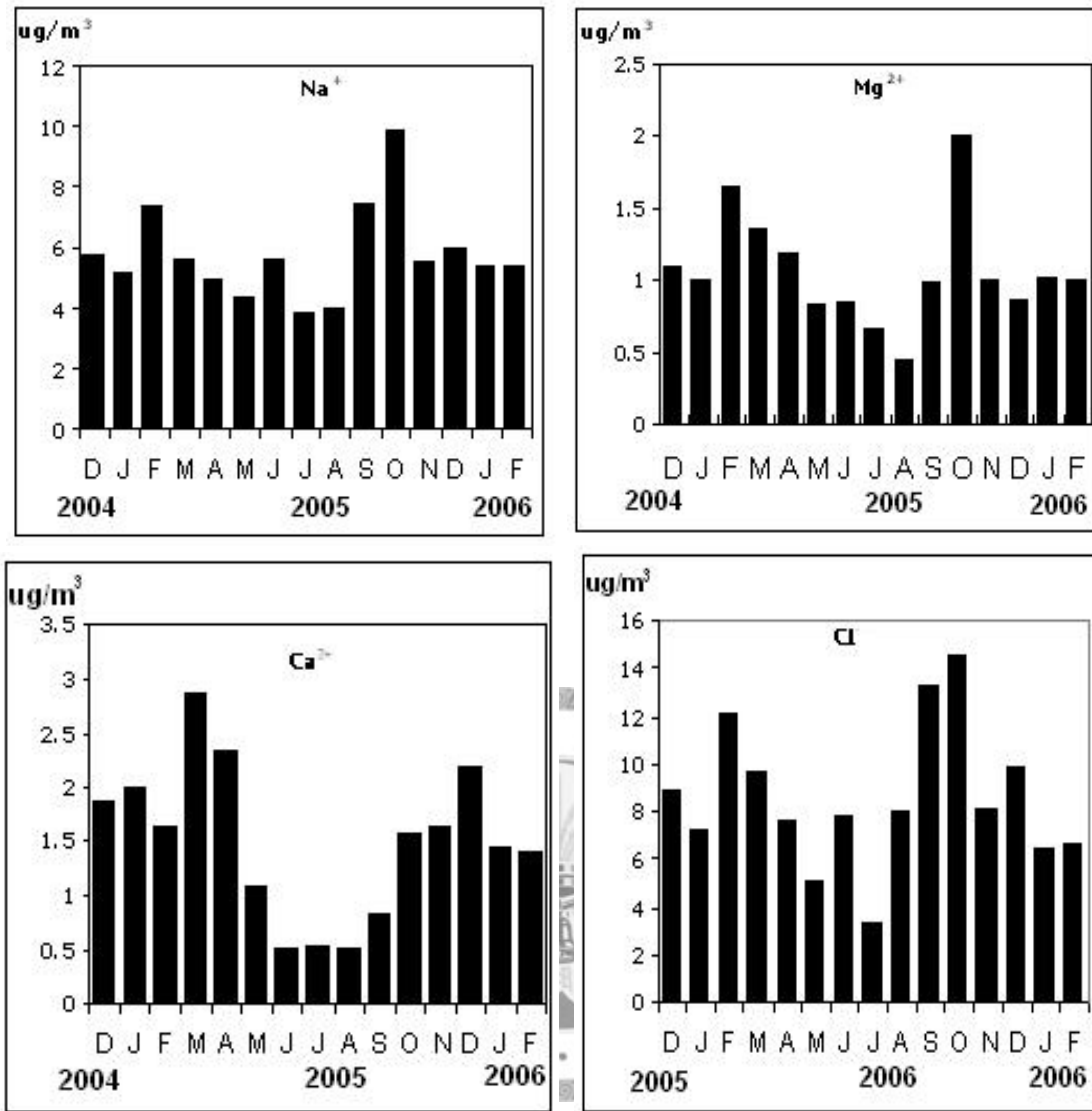


圖 3.2、大氣懸浮微粒中水溶性離子之月平均濃度變化

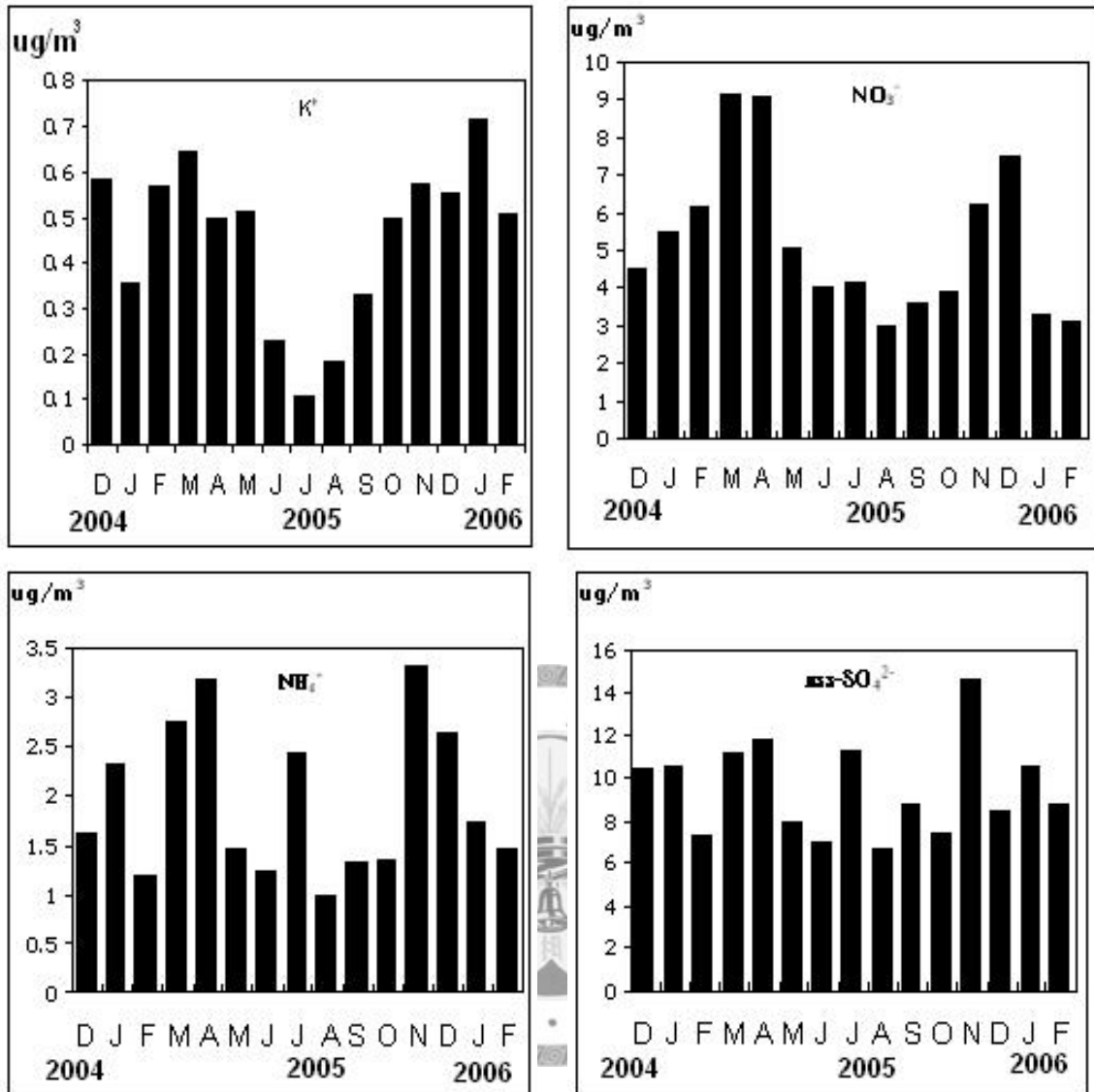


圖3.2、續

3-1-3 彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中各水溶性離子濃度之相關性

計算各離子濃度之間的相關係數值，可以初步了解各成分離子間的關係，相關係數值越高，代表這些成份可能有相似的來源，相同的化學性質或是相同的傳輸機制。表 3.3 是本研究所有標本之主要離子濃度的相關係數值；從此結果可以看出有些離子彼此間的相關性良好，依照此結果，大致可以將所有離子分成三個群組，第一群組為 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- ，這些成分彼此之間的相關性很好，其中 Na^+ 跟 Cl^- 、 Mg^{2+} 的相關係數值都超過 0.9， Mg^{2+} 跟 Cl^- 的相關係數值也接近 0.9，顯示這些成分的來源或者性質可能非常相似。第二群組為 Ca^{2+} 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 等離子，這些成分之間也有很好的相關性，顯示他們之間的性質也有相當程度的類似。第三群組為 NH_4^+ 與 nss-SO_4^{2-} 其相關係數值達 0.82，顯示這兩個成分彼此之間的化學作用以及來源非常類似且與其他成份不同。若以來源角度研判，第一群組的成分與 Na^+ 有良好的相關，顯示他們可能與海水來源有關；第二群組以及第三群組均屬污染來源，但形成機制與傳輸過程可能並不完全相同。

3-1-4 彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中 NH_4^+ 與 nss-SO_4^{2-} 之莫耳比值

根據表 3.3 列出的水溶性離子之間的相關係數，其中 NH_4^+ 與 nss-SO_4^{2-} 的相關係數達到 0.82，顯示這兩個離子關係是非常密切的，在大氣中， NH_4^+ 會優先與 SO_2 結合產生中和反應，若有剩餘的， NH_4^+ 才會與 NO_3^- 產生反應 (Seinfeld and Pandis 1998)，污染來源的 SO_2 經過一連串化學作用形成 H_2SO_4 ，並且與 NH_4^+ 結合形成 NH_4HSO_4 或者 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 等化合物 (Wang et al., 2006b)，而 $\text{NH}_4^+ / \text{nss-SO}_4^{2-}$ 莫耳比在 NH_4HSO_4 以及 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 中分別是 0.5 ~ 1.25 以及 2，如果 $\text{NH}_4^+ / \text{nss-SO}_4^{2-}$ 莫耳比小於 2，顯示大氣中 NH_4^+ 含量較少，因此兩者無法完全中和 (Seinfeld et al. 1998)，圖 3.3 是彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中 $\text{NH}_4^+ / \text{nss-SO}_4^{2-}$ 莫耳比之月平均變化，總平均 $\text{NH}_4^+ / \text{nss-SO}_4^{2-}$ 莫耳比是 1.10，顯示彭佳嶼海域大氣中 NH_4^+ 與 nss-SO_4^{2-} 主要以 NH_4HSO_4 形式存在，而此區域的 nss-SO_4^{2-} 含量多於 NH_4^+ ，彭佳嶼海域的 nss-SO_4^{2-} 大多是來自中國大陸的污染物質，經由東北季風傳輸至此，此顯示彭佳嶼海域受到相當程度的污染。

表 3.3、彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中主要離子間之相關係數

	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
Na ⁺	1.00								
Mg ²⁺	0.93	1.00							
K ⁺	0.35	0.39	1.00						
Ca ²⁺	0.11	0.28	0.37	1.00					
NH ₄ ⁺	-0.11	-0.03	0.37	0.59	1.00				
Cl ⁻	0.95	0.87	0.29	0.13	-0.15	1.00			
NO ₃ ⁻	0.11	0.20	0.28	0.68	0.71	0.12	1.00		
SO ₄ ²⁻	0.17	0.24	0.41	0.45	0.79	0.04	0.48	1.00	
nss-SO ₄ ²⁻	0.02	0.10	0.37	0.45	0.82	-0.11	0.47	0.99	1.00

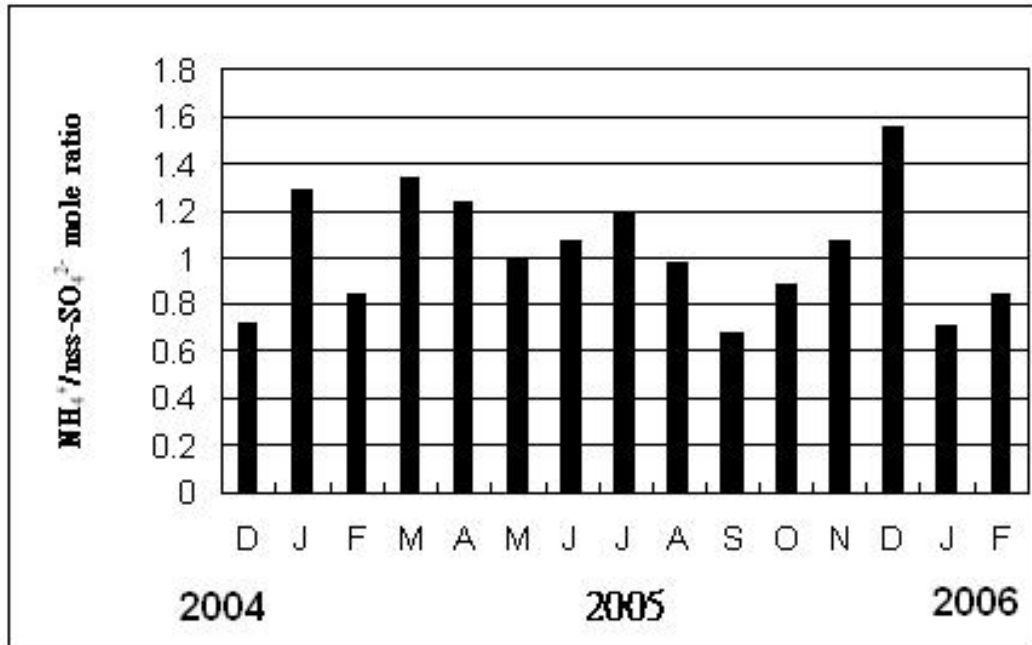
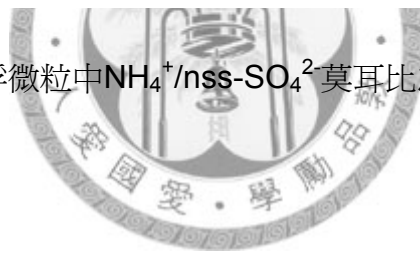


圖3.3、大氣懸浮微粒中 $\text{NH}_4^+/\text{nss-SO}_4^{2-}$ 莫耳比之月平均變化



3-1-5 彭佳嶼海域大氣中氯的虧損

NaCl是大氣懸浮微粒中主要的海水來源成份，經由海水飛沫進入大氣中，在傳輸的過程中，NaCl會與大氣中的酸性物種發生反應，形成HCl逸散至大氣中 (McInnes et al. 1994)，反應式如下：

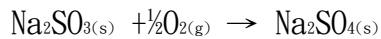
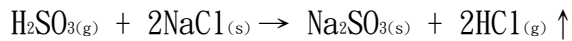
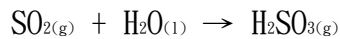
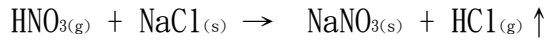


圖3.4是本研究大氣懸浮微粒中Cl⁻離子與Na⁺離子濃度比值之時序變化，圖中紅線是代表海水中Cl⁻離子與Na⁺離子的比值1.8，從圖中可以發現彭佳嶼海域大氣中Cl⁻離子全年幾乎都是虧損的情況，顯示本區域大氣中有許多污染來源的酸性物種與NaCl產生反應。若將Cl⁻ / Na⁺比值除海水中Cl⁻與Na⁺的比值1.8，再以1減去此數值，得到的數值可代表Cl⁻虧損的程度，圖3.5是Cl⁻的虧損度與nss-SO₄²⁻濃度之相關圖，可看到兩者兼有很好的相關性，顯示本區域大氣中明顯受到nss-SO₄²⁻的污染。

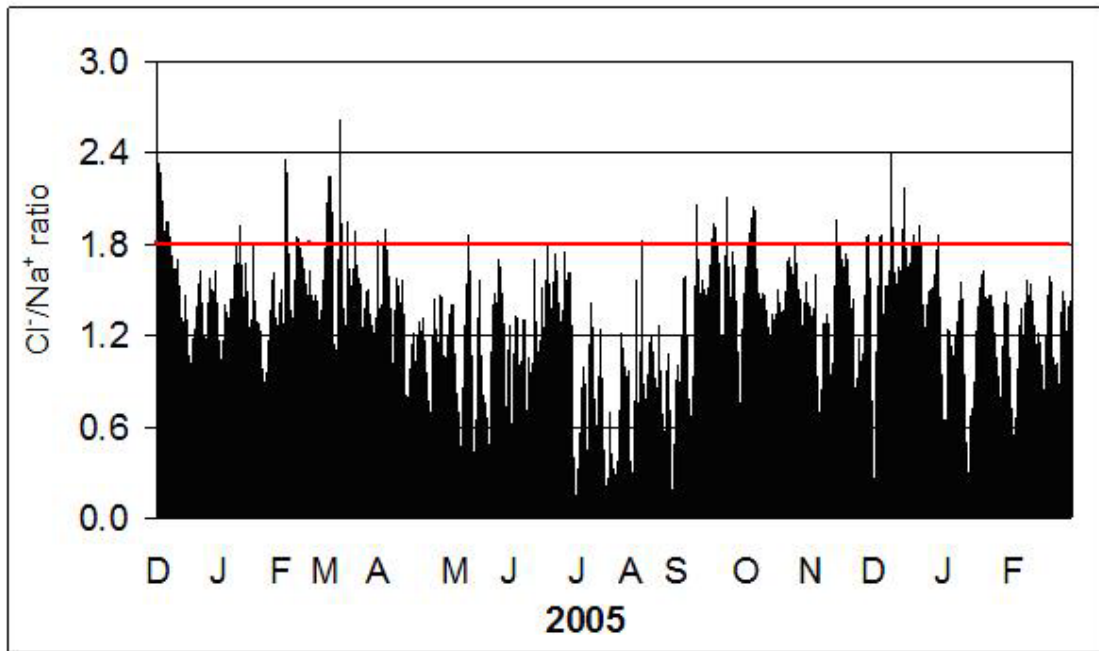


圖3.4、大氣懸浮微粒中Cl⁻/Na⁺比值之時序變化

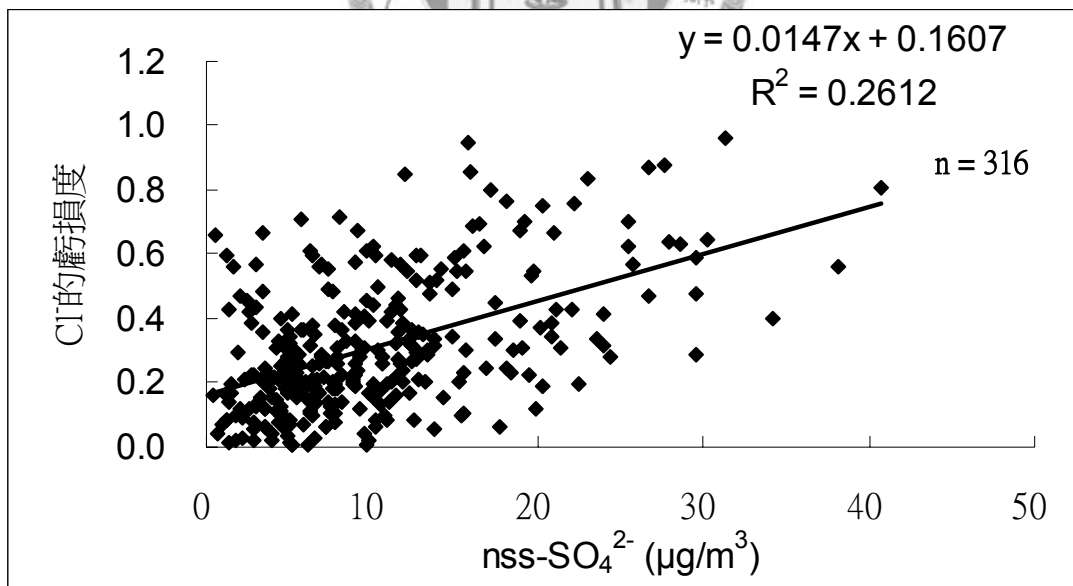


圖 3.5、大氣懸浮微粒中 Cl⁻的虧損度與 nss-SO₄²⁻濃度之相關作圖

3-1-6 季風對水溶性離子分佈之影響

彭佳嶼屬於季風氣候區，冬季受到蒙古高壓的影響，盛行東北季風，夏季則受到海陸位置分布的影響盛行西南季風，本研究大致將風向分為南風族群(S)與北風族群(N)，以討論彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中水溶性離子於南北風向族群標本中的濃度比值(N/S)與來源之關係，並且也將南北風之風速(Winspeed)列入比較。結果如表3.4所示，所有的水溶性離子之濃度，都以北風族群的濃度較高，N/S之濃度比值最大的是 K^+ 的1.69，最小的是 NO_3^- 的1.05，N/S比值由大至小排列依序為： $K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Windspeed > Cl^- > Na^+ > SO_4^{2-} > nss-SO_4^{2-} > NH_4^+ > NO_3^-$ ，北/南風(N/S)之比值大於1表示此成份北風來源的貢獻較多， K^+ 跟 Ca^{2+} 的濃度主要由北風貢獻， K^+ 的來源以污染來源為主，主要是生質燃燒，例如燒稻草或者木材產生的； Ca^{2+} 的來源有很大的一部份是地殼來源，特別是沙塵暴所產生的塵土。這兩個離子的N/S比值如此高，顯示出中國大陸之來源貢獻相當大，此可能與中國大陸人民冬天燃燒木材取暖以及春季的沙塵暴有關。此外，風速(Windspeed)與 Na^+ 、 Mg^{2+} 及 Cl^- 之N/S比值都接近1.2，顯示彭佳嶼海域大氣中海水來源的成份受到風力大小的影響，當海面上風力大的時候，海水來源的成份濃度均增加，數據也顯示北風的風速比南風的風速強。 $nss-SO_4^{2-}$ 與 NH_4^+ 之N/S比值很接近，顯示在彭佳嶼海域大氣中 $nss-SO_4^{2-}$ 與 NH_4^+ 的來源相同而且主要由北風從中國大陸將污染物質帶至此地，可能與中國大陸的工業燃燒石化燃料以及燒煤取暖有關。 NO_3^- 的N/S比值接近1，顯示南北風對於彭佳嶼海域大氣中 NO_3^- 的貢獻沒有很大的差異，主要是因為除了中國大陸的污染外南風也從台灣就近帶來相當多量的 NO_3^- 所造成的。

表 3.4、澎佳嶼海域大氣懸浮微粒中水溶性離子在南北風向族群中之濃度及比值

	North wind population(N) (ug/m3)				South wind population (S)(ug/m3)				N/S
	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum	
Windspeed	8.63	3.38	2.80	19.40	6.92	2.56	2.10	14.50	1.25
Na⁺	6.56	3.82	0.64	23.85	5.41	4.39	0.97	38.98	1.21
Mg²⁺	1.27	0.71	0.09	4.68	1.01	0.66	0.17	5.88	1.26
K⁺	0.62	0.60	0.08	5.97	0.37	0.30	0.03	1.57	1.69
Ca²⁺	1.70	1.22	0.23	8.09	1.26	1.16	0.17	8.49	1.35
NH₄⁺	2.10	1.93	0.06	9.44	1.83	2.00	0.01	12.22	1.15
Cl⁻	9.44	6.49	0.41	44.54	7.71	9.26	0.15	80.77	1.22
NO₃⁻	5.35	3.78	0.61	19.23	5.11	3.63	0.38	20.52	1.05
SO₄²⁻	12.01	6.77	1.31	41.14	10.27	7.29	1.66	39.13	1.17
nss-SO₄²⁻	10.36	6.62	0.60	40.70	8.91	7.28	0.42	38.08	1.16

表 3.5、1996 年(吳，1997)及 2005 年(本研究)澎佳嶼海域大氣懸浮微粒中 NO₃⁻ 及 nss-SO₄²⁻濃度之比較

	1996(μg/m ³)		2005(μg/m ³)	
	Mean Conc.	Range	Mean Conc.	Range
NO₃⁻	2.2	0.17-9.7	5.7	0.38-21
nss-SO₄²⁻	5	0.04-23.8	9.6	0.42-41

3-1-7 彭佳嶼海域2005年與1996年主要污染源離子濃度之比較

彭佳嶼由於地理位置的關係，可以接收到相當多的來自中國大陸的陸源物質，特別是污染物質，中國在近年來積極發展工業，經濟成長相當驚人，但也因此對環境造成大量的污染，本研究比較2005年與1996年(吳，1997)彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中 nss-SO_4^{2-} 與 NO_3^- 之濃度，如表3.5所示，這二種主要污染性離子在2005年的平均濃度都比1996年高出許多，大約在2倍左右，不論最低濃度或者最高濃度，2005年的濃度均比1996年多出將近一倍，顯示最近10年來，來自彭佳嶼海域周圍國家所排放的污染物質明顯增加。

3-2 沙塵暴季節大氣懸浮微粒之化學特性研究

3-2-1 沙塵暴季節大氣中各元素之分析結果

除了分析水溶性離子的濃度外，為了進一步探討沙塵暴季節大氣組成的變化，本研究特別分析了2005年3月至5月彭佳嶼海域大氣懸浮微粒之金屬元素濃度，包括Al、Fe、Na、Mg、K、Sr、Ba、Ti、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、Cd、Pb、Cr等十五個元素，每年3月至5月的春季是一年當中沙塵暴發生最頻繁的季節，因此分析這段時間採集的標本對了解彭佳嶼海域沙塵暴季節時的大氣組成變化相當有意義。表3.6是春季時大氣懸浮微粒中各元素的平均濃度以及濃度的最大值和最小值。各元素中以Na的濃度最高為 4873 ng/m^3 ；Co的濃度最低為 0.38 ng/m^3 ；各元素的平均濃度由高至低依序是 $\text{Na} > \text{Al} > \text{K} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Ti} > \text{Pb} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Ba} > \text{Sr} > \text{Cr} > \text{Cd} > \text{Co}$ 。依據其濃度高低，大致可將元素分為高、中、低濃度三個族群；其中Fe、Al、Na、Mg、K是屬於高濃度族群，濃度皆大於 100 ng/m^3 ；Ti、Pb、Mn、Cu、Ni、Ba、Sr、Cr、Cd是屬於中等濃度族群，濃度介於1至 100 ng/m^3 ，Co的濃度低於 1 ng/m^3 ，是低濃度族群。觀察各元素濃度之最大值與最小值可以發現Na和Mg的濃度全年變化很小，顯示Na和Mg的濃度分布相較於其他元素而言是比較穩定的；而其他元素的濃度變化則比較大，變化幅度大約在2~3個數量級。造成濃度分布變化的因素有很多，包括不同物質來源，不同的來源區以及來源物質供

應的強度和傳輸途徑，季風變化及其他氣象因子等(Gao et al., 1992b; 林, 1993)。

表 3.6、2005 年沙塵暴季節彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中
金屬元素之平均濃度及濃度範圍

Element	Mean Conc.	Min.	Max.	Max/Min
Al	1212	44	8213	186
Fe	732	55	3762	69
Na	4873	1725	13601	8
Mg	816	260	1928	7
K	1077	199	4124	21
Sr	9	1.84	33	18
Ba	12	0.56	57	103
Ti	67	2.50	454	182
Mn	24	2.19	112	51
Co	0.38	0.06	2	32
Ni	15	2.35	124	53
Cu	15	0.29	47	162
Cd	1	0.07	4	56
Pb	31	0.44	143	322
Cr	5	0.26	18	69

UNIT:ng/m³ N=57

3-2-2 沙塵暴季節大氣中各元素濃度的時序變化

圖 3.6 為沙塵暴季節大氣懸浮微粒中各元素濃度的時序變化，從圖中可以發現 Al, K, Fe, Ti, Pb, Mn, Ni, Ba, Sr, Cr, Cd 和 Co 等元素的濃度在沙塵暴期間最高值都出現在 4 月 10 日到 4 月 15 日之間，顯示這段期間有比較強的沙塵暴發生。藉由觀察 Al 的濃度變化也可以確切看出沙塵暴發生的時間，這是因為 Al 普遍被認為是地殼物質來源的指標性元素，在沙塵暴發生的期間，大量的地殼物質會隨氣流帶至大氣中，因此若 Al 的濃度出現高值時就可能與沙塵暴的發生有關。亞洲沙塵暴主要是從中國內陸經由長程傳輸至各地，台灣周圍海域也會受到亞洲沙塵暴的影響，沙塵暴發生時，Al 的濃度會明顯增加許多倍(Gao et al., 1992b; 林, 1996; Carmichael et al., 1997)。在 2005 年 4 月 11 日的標本中，Al 的濃度是最高的，達到 8213 ng/m³，在此標本中同時出現最高值的元素還包括 Fe、Mg、K、Ba、Ti、Mn 及 Co；其他元素雖然在此標本中沒有出現最高濃度值，但是濃度也比平常高許多倍，可見在沙塵暴發生期間各元素濃度都會大幅增加。Na 和 Mg 濃度的時序變化比較一致，和其他元素比較不一樣，這兩個元素在沙塵暴季節的濃度變化並不如 Al 和 Fe 等元素變化大，大氣中 Na 和 Mg 的主要來源是從海水飛沫而來(Gao et al., 1992b)，風速的強弱會影響 Na 和 Mg 濃度的變化，風速越強則 Na 和 Mg 的濃度也相對的越高，尤其對 Na 的影響最明顯，這是因為 Na 的來源幾乎是以海鹽為主，Mg 則有部份是陸源成份；在所分析的標本中，Na 濃度最高值出現在編號 PCY050302 (2005 年 3 月 2 日) 的標本中，此標本的平均風速達 9.7 m/s，最高風度達 16 m/s，Mg 的濃度在此標本雖然不是最高值，但仍然比其他標本高出許多。

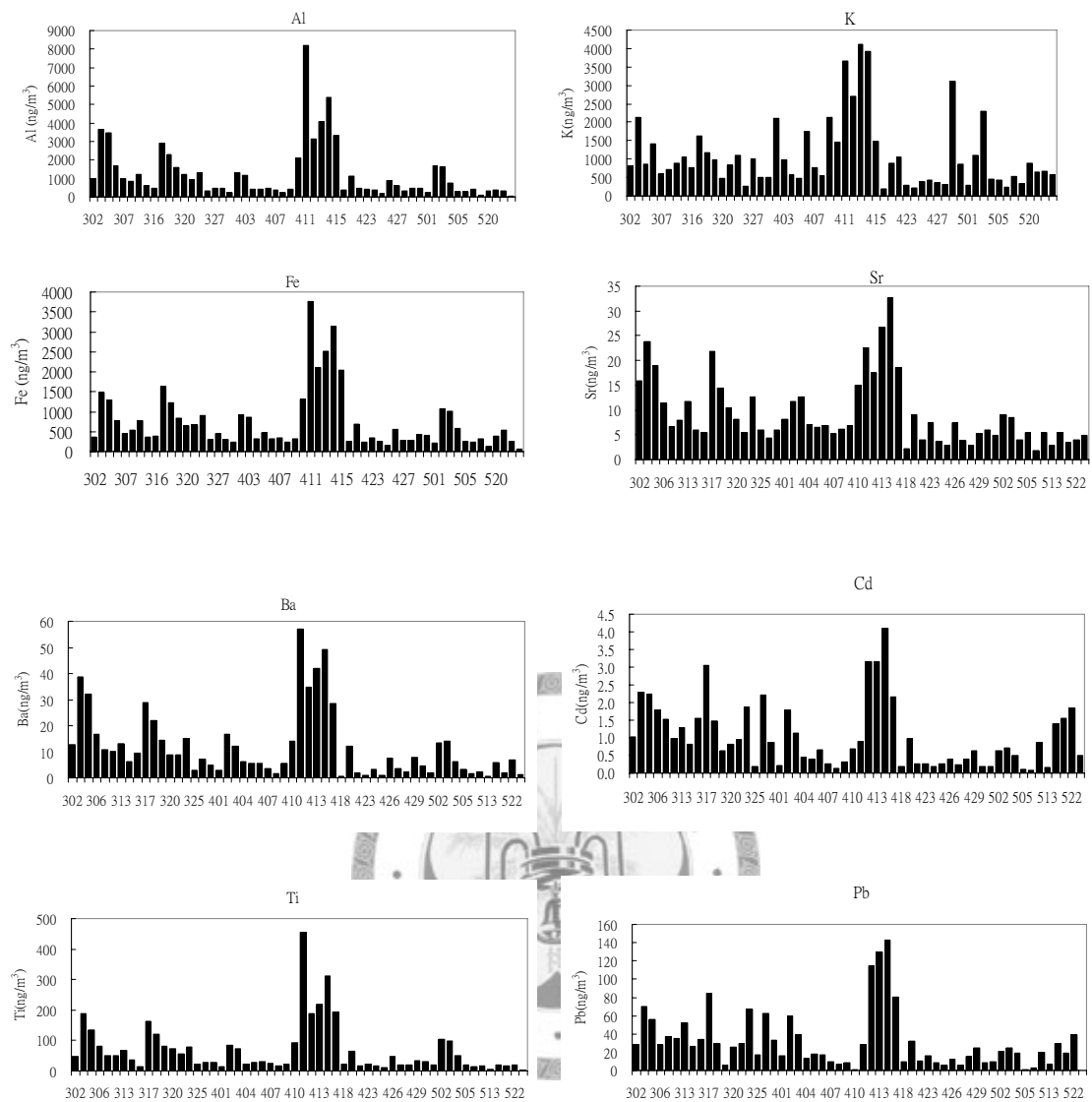


圖 3.6、2005 年沙塵暴季節大氣懸浮微粒中各元素濃度的時序變化

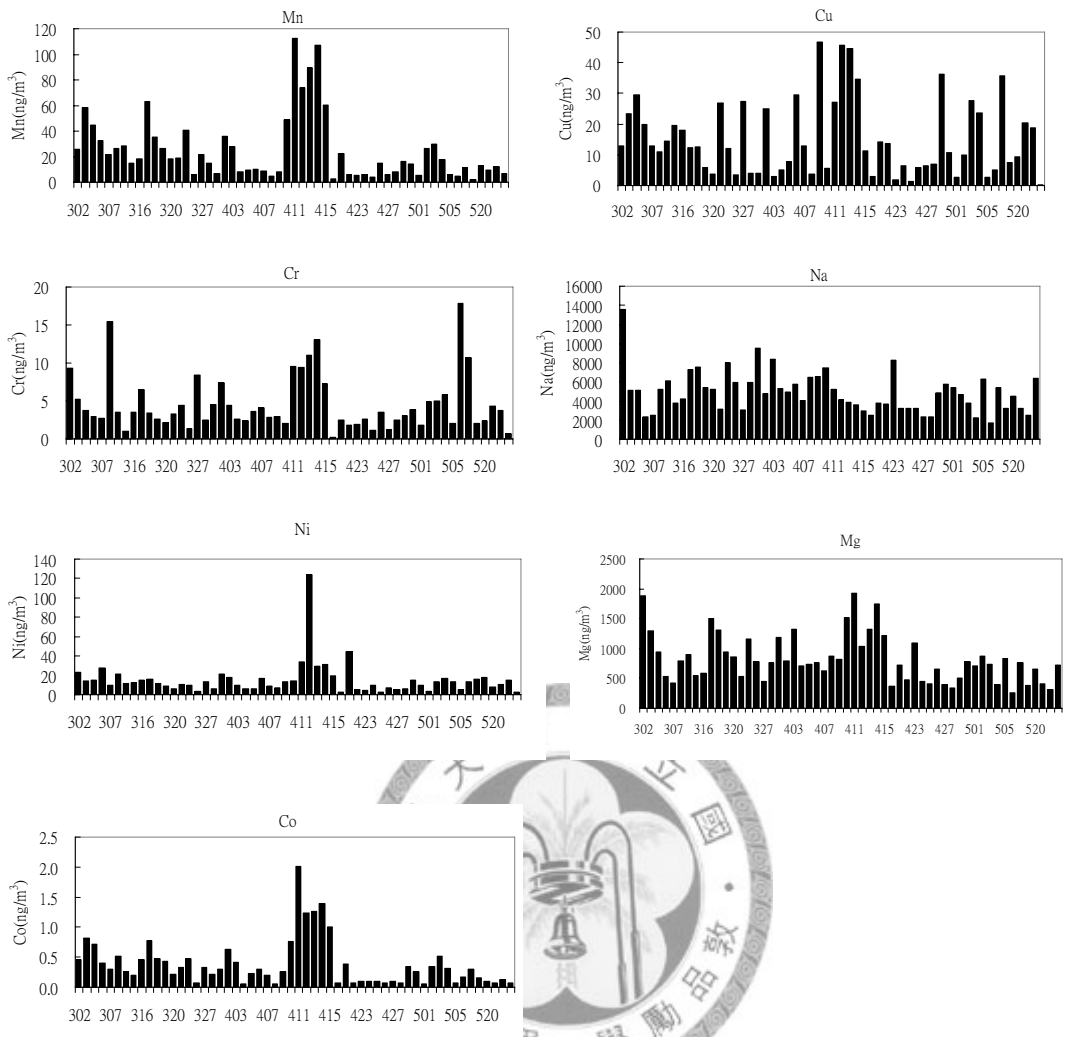


圖 3.6、(續)

3-2-3 金屬元素與水溶性離子之主成份分析結果

為了清楚的分辨真正影響大氣懸浮微粒組成的因素，在以下的討論中，我們藉由主成份分析法(principal component analysis) 將沙塵暴季節所有標本之水溶性離子濃度以及金屬元素濃度之數據綜合計算並且歸納出影響各組成成分濃度高低的主要原因及其機制。主成份分析法是一種多變量統計方法，主要是用較少的變數去解釋原始資料的大部分變異，將多個變化量綜合成幾個少數共同的因子，這個方法有助於簡化大量的資料，更容易進行討論。此方法可應用於兩個方面：一個是簡化觀測系統，一是將變量或是樣品加以分類。目前此數值方法被廣泛應用在心理學、社會學、人口學、經濟學、地質學、生理學與物理學各方面(邱，2002)

我們使用SPSS軟體進行因子分析，以便進一步探討水溶性離子和金屬元素之間的關連。根據分析結果，變數之間相關值高的，可能表示這些項目之間有相同的來源、傳輸過程、移除機制或其他相關性質。

本研究有20個變數(包括7個水溶性離子濃度與13個金屬元素濃度)，為了使因素負載量(factor loading)值變大以利於解釋，採取直交轉軸法(orthogonal rotation)中的最大變異法(varimax)進行分析，使得分析出來的共同因素更加明確且彼此之間獨立無相關性。主成份分析結果如圖3.7所示，總共得到四個因子，分別以Factor 1至Factor 4表示，這四個因子佔總變異量的87.51%，由Factor 1至Factor 4依序佔34.98%，26.43%，15.13%及10.97%，因子負載量/loading)大於0.5則表示這些成份的濃度分布之間彼此相關，以下將針對每個因子進行討論。

因子一(Factor 1) 佔34.98%的變異量，以Fe、Al、Ti、Ca²⁺、Sr、Ba、Mn及Co等成分為代表，其中Al和Fe 的負載量分別達到0.96與0.9，這些成分的相關性佳，而且與地殼來源的代表性元素Al有關，顯示Factor 1所代表的意義為地殼來源的影響，在3月到5月的春季，此區域主要受到東北季風影響，從中國大陸北方帶的來許多地殼物質影響此區域大氣中的成份，這個因子代表的含意為陸源地殼物質的影響。

因子二(Factor 2) 佔26.43%的變異量，以Ca²⁺、K⁺、NH₄⁺、nss-SO₄²⁻、NO₃⁻、Cd

及Pb為代表，其中以 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 的負載量最大，顯示這個因子與污染來源物質有相當大的關係，主要來源是中國大陸並且是藉由東北季風帶來的。

因子三(Factor 3) 佔15.13%的變異量，以Na、 Mg^{2+} 及 Cl^- 為代表，這三個成分的負載量都超過0.9，且與海水來源的代表性元素Na有關，顯示Factor 3所代表的意義為海水來源的影響。

因子四(Factor 4) 佔 10.97%的變異量，以Ni、Cu及Cr為代表，此因子也是以污染來源物質為主，但是與Factor 2不同的是，這個因子是以高溫燃燒所排放的污染物質為主，特別是冶煉工業，而Factor 2則可能是以煤的燃燒以及石化燃料燃燒為主。



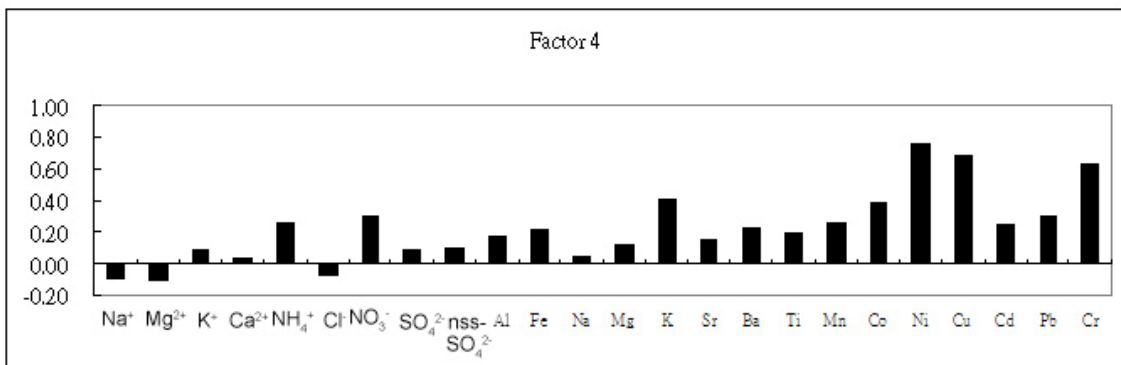
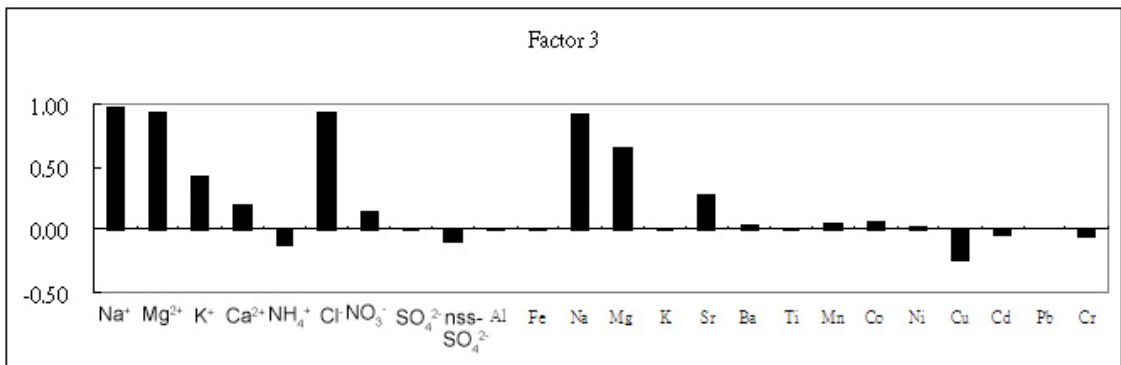
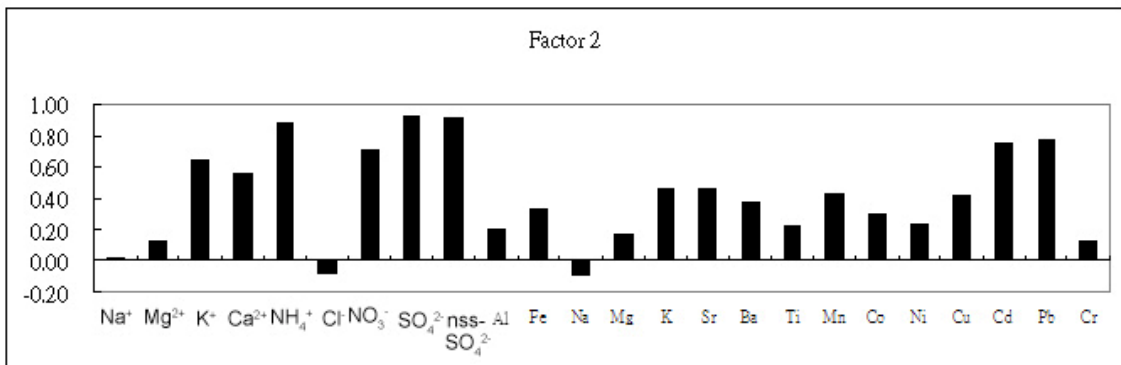
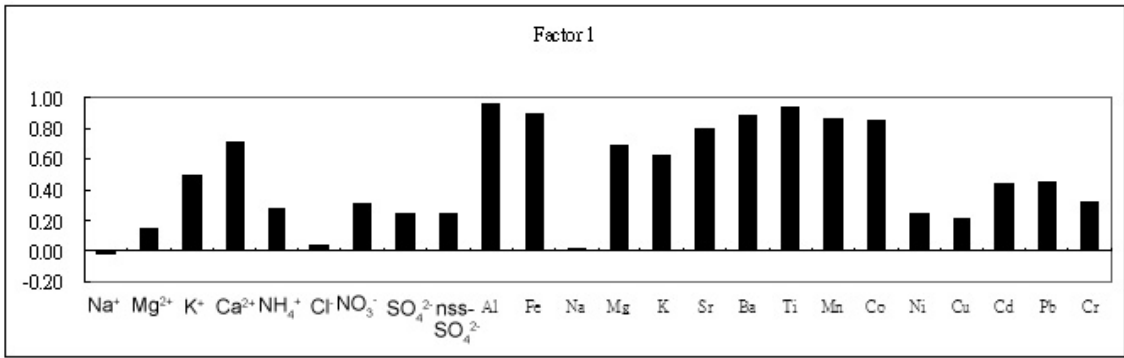


圖 3.7、2005 年沙塵暴季節大氣懸浮微粒中各成分之主成分分析結果

3-2-4 沙塵暴季節大氣中各元素之來源鑑別


了解各元素在沙塵暴時期濃度的時序變化之後，為了更進一步探討元素的來源，我們計算各元素的富集值，此主要是利用指標性元素計算某元素相對於地殼及海水組成的富集度，計算的結果可以讓我們更了解地殼、海鹽或者污染來源對各元素的貢獻度。元素富集值(EF)的計算公式如下：

$$EF_{source} = (E/I)_{aerosol} / (E/I)_{source}$$

EF_{source} : 某元素對來源的富集值

$(E/I)_{aerosol}$: 大氣中某元素與指標元素之濃度比

$(E/I)_{source}$: 來源物質中某元素與指標元素之濃度比值



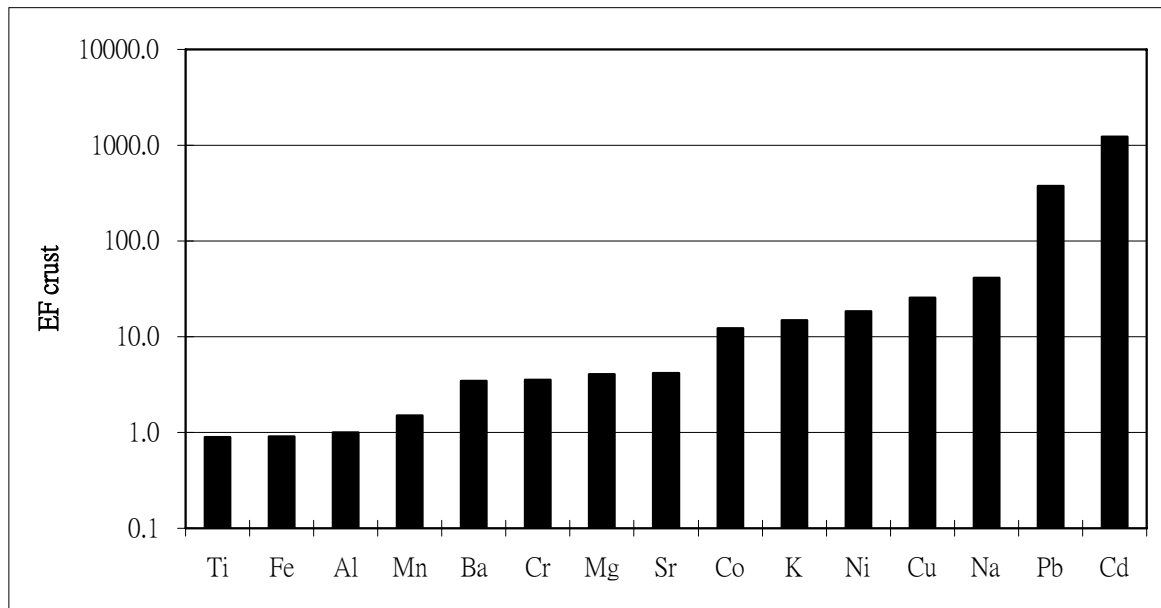
大氣中元素主要的來源包括地殼、海水以及污染來源(Chester, 2000)，地殼以及海水有一定的組成，因此可以很容易的找到指標性元素並且計算出元素富集值，污染元素由於來源比較複雜，無法明確找到指標性元素，因此在計算元素富集值的時候，大多只計算地殼富集值以及海水富集值，再以二者的富集值大小來推斷污染來源，計算地殼富集值所採用的地殼平均組成是以 Taylor and McLennan (1985) 之數據為標準，海水組成則以 Riley and Chester (1971) 的數據為標準。元素富集值接近 1 表示某元素以該來源為主，若大於 10 則表示不以該來源為主，如果某元素的地殼以及海水富集值都大於 10，則表示某元素以污染來源為主。本研究以 Al 作為地殼源的指標性元素，以 Na 作為海水來源的指標性元素，因為這兩個元素分別是地殼以及海水中含量豐富且穩定的元素，以下為地殼富集值以及海水富集值的計算公式：

$$EF_{\text{crust}} = (E/I)_{\text{sample}} / (E/I)_{\text{crust}}$$

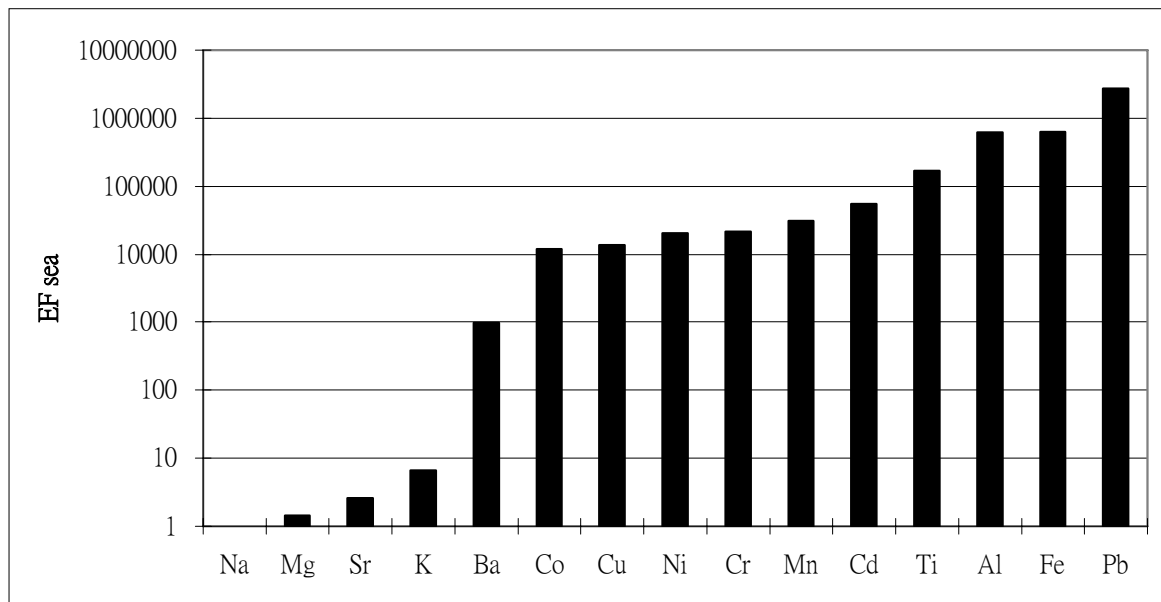
$$EF_{\text{sea}} = (E/I)_{\text{sample}} / (E/I)_{\text{sea}}$$

各標本之元素的地殼以及海水富集值之計算結果列於附錄二及附錄三，所有標本之平均地殼及海水富集值以圖3.8表示，從圖3.8(a)可以發現Ti、Fe、Al、Mn、Ba、Cr、Mg及Sr等元素的 EF_{crust} 值都低於10，顯示這些元素的來源有很高的比例是地殼來源，而Ti、Fe、Al、Mn等元素的 EF_{crust} 值非常接近1，顯示這幾個元素幾乎以地殼來源為主。圖3.8(b)可看出Na、Mg、Sr、K等元素的 EF_{sea} 值都低於10，其餘元素都遠遠超過10，顯示彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中的元素除了Na、Mg、Sr、K主要來源是海水外，其他元素都不是以海水為主要來源。除此之外，Co、Ni、Cu、Pb、Cd的 EF_{crust} 及 EF_{sea} 都很高(大於10)，顯示這些元素是以污染來源為主。





(a)



(b)

圖3.8、2005年沙塵暴季節大氣懸浮微粒中各元素的平均地殼富集值(a)
以及海水富集值(b)

除此之外，從圖3.8也可以看到，Mg、Sr、K的 EF_{crust} 值及 EF_{sea} 值都低於或者接近10，顯示這三個元素具有地殼以及海水雙重來源，因此我們可以藉由這些元素在平均地殼以及平均海水組成中所佔的比例來計算這些元素之地殼以及海水來源所佔的比例，計算公式如下：

$$Na_{sea} = Na_{aerosol} - (Na/Al)_{crust} \times Al_{aerosol}$$

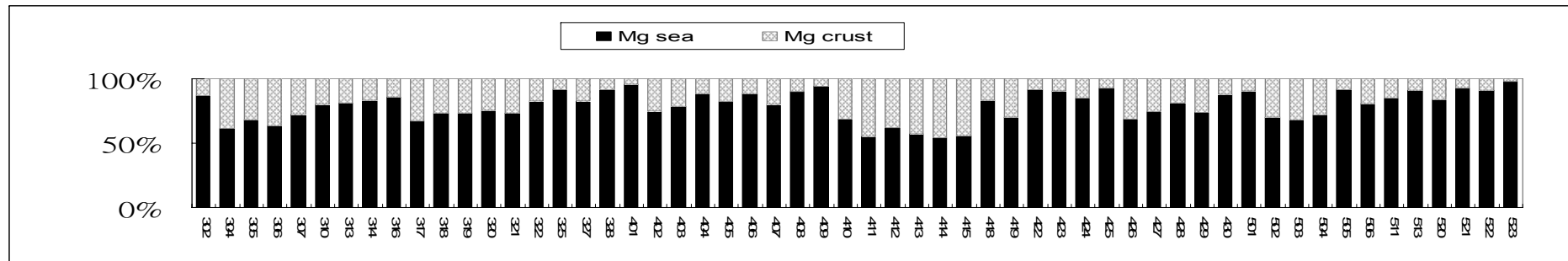
$$E_{crust} = (E/Al)_{crust} \times Al_{aerosol} \quad E_{crust} : \text{元素E之地殼來源濃度}$$

$$E_{sea} = (E/Na)_{sea} \times Na_{sea} \quad E_{sea} : \text{元素E之海水來源濃度}$$

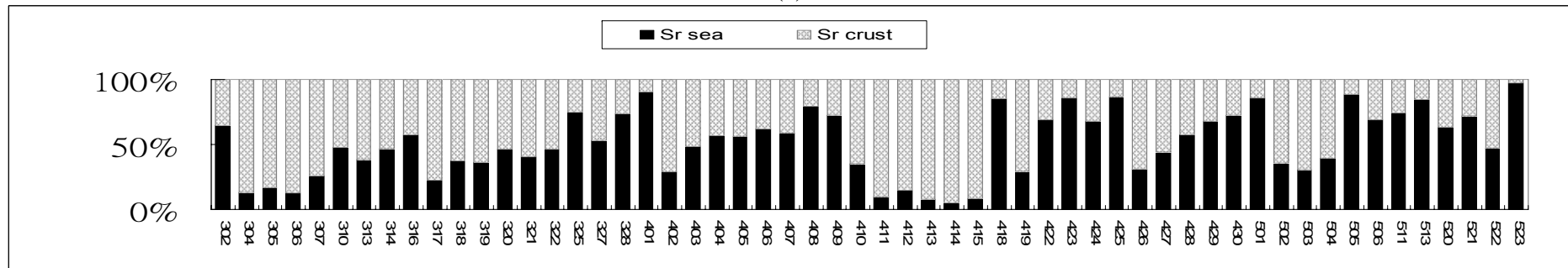
$$E_{poll} = E_{aerosol} - E_{crust} - E_{sea} \quad E_{poll} : \text{元素E之污染來源濃度}$$

$$E_{aerosol} : \text{元素E在大氣中的濃度}$$

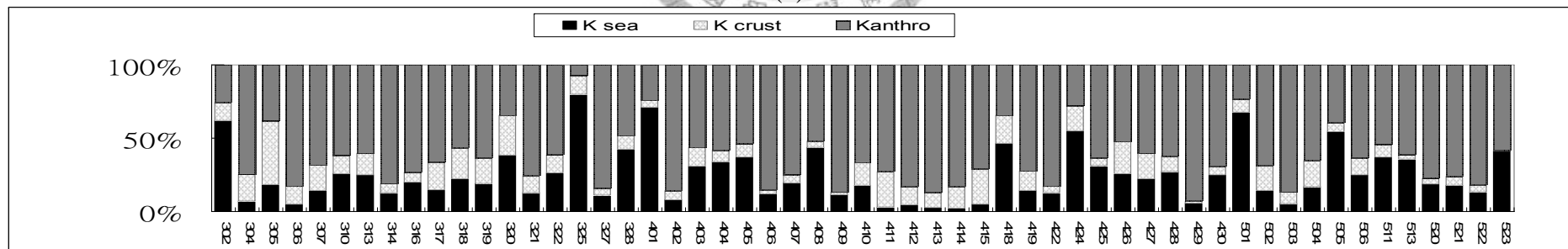
經過計算的結果，以圖3.9表示，Mg、Sr具有地殼以及海水雙重來源，兩者所佔比例隨時間而不同，在三月到五月大部分時刻彭佳嶼仍然吹著東北風，對Mg而言，大部分的Mg仍然以海水為主要來源，地殼部份佔的比例比較少，在這段期間，海水來源的Mg佔了71%，地殼來源佔29%，但是在Al的濃度高值的時間(沙塵暴發生時)，Mg元素之地殼來源比例會提高；Sr源自海水與地殼源所佔的比例約為38%與62%，同樣在Al濃度高值出現的時候，Sr之地殼來源的比例遠大於海水來源的比例，顯示沙塵暴帶來相當多的地殼物質，隨著氣流自大陸陸地傳輸到彭佳嶼海域。大氣中K元素的濃度扣除地殼來源以及海水來源的濃度之後，還有超量的K存在，顯示K元素除了地殼以及海水來源外，還有污染來源，從圖3.9(c)可觀察到，在三月到五月，大部分時間K元素都以污染來源佔大多數，達73%，其次是海水來源的15%，地殼來源12%最少，K的來源除了地殼以及海水之外，很重要的來源是生質燃燒，例如燃燒稻草樹木以及廢棄物等(Andreae, 1983)，在這個季節，彭佳嶼海域接收到的氣流主要從中國大陸北方而來，而污染物質也隨著氣流傳輸到此，因此，此時污染源的K對彭佳嶼海域大氣中K的濃度貢獻最大。



(a)



(b)



(c)

圖 3.9、2005 年沙塵暴季節大氣懸浮微粒中 Mg(a)、Sr(b) 及 K(c)之地殼、海水及污染來源所佔比例之時序變化

3-2-5 2005 年沙塵暴事件之探討

沙塵暴是近年來受到關注的氣象及環境議題之一，因此過去有許多針對沙塵暴的大型研究計畫在進行，例如 Sea-Air Exchange Program、ACE-Asia(Asia Pacific Regional Aerosol Characterization Experiment)等，此都對亞洲沙塵暴有相當深入的研究。台灣地區所偵測到的沙塵暴事件，主要是受到亞洲沙塵暴的影響；亞洲沙塵暴有明顯的季節變化，在冬季以及春季，是沙塵暴發生最多的季節，主要原因是因為冬季及春季大陸冷高壓以及東北季風盛行，加上降雨量較少的關係，大量沙塵受到強烈地面風場的影響而揚起傳送，受到冷鋒南移的影響，這些沙塵物質會傳輸至台灣(林，1997)，除此之外，沙塵暴物質也會隨著西風傳輸至世界各地，包括韓國、日本、加拿大以及美國西岸等，對全球氣候變遷及環境之影響相當大。

在沙塵暴期間，大氣中的地殼物質濃度會增加，以 Al、Fe 最明顯，地殼組成中，Fe/Al 的比值約為 0.84，但是在黃土沙塵中，兩者的比值為 0.5，因此在沙塵暴期間，由於大量的沙塵被帶到大氣中來，大氣懸浮微粒中的 Fe/Al 比值會降低至 0.5 左右，甚至比 0.5 低(Nishikawa, 2000)，圖 3.10 為 2005 年 3 月至 5 月彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中 Al 之濃度以及 Fe/Al 比值之時序變化，我們將 Al 濃度 $>2000\text{ng}/\text{m}^3$ 的標本視為沙塵暴事件，從圖中可看出 2005 年 3 月 4-5 日、3 月 17-18 日、4 月 10-15 日等三個時期，大氣中 Al 的濃度超過 $2000\text{ng}/\text{m}^3$ ，並且 Fe/Al 的比值都低於或者接近 0.5，觀察這些標本的濾紙，也會看到黃褐色之沙塵暴特徵，其中在 PCY050411 標本中，Al 的濃度高達 $8213\text{ng}/\text{m}^3$ ，是全年最高，而且 Fe/Al 的比值為 0.46；另外選擇數個 Al 濃度低於 $1000\text{ng}/\text{m}^3$ 的標本作為低沙時期的代表，我們選擇 5 月 4 日、5 月 13 日以及 22 日的標本來觀察這些標本的 Al 濃度都低於 $1000\text{ng}/\text{m}^3$ ，他們的 Fe/Al 比值都接近 0.84 甚至高於 0.84，而這些標本的濾紙顏色都是淺灰色的。

除了由 Fe/Al 比值來驗證沙塵暴事件外，我們也可以藉由計算海水來源的 Na 與總 Na 濃度之比值變化來驗證沙塵暴事件，根據 Dulac(1987)的研究，在沙塵暴期間，大氣中 Na 的濃度也會增加，顯示地殼源的 Na 也會隨著其他地殼物質被沙

塵暴傳輸至各地，圖 3.11 是大氣懸浮微粒中 Al 之濃度以及海水來源的 Na(N_{ss}) 與總 Na(N_{total}) 濃度比值之時序變化，從圖中可以看出在 2005 年 3 月 4-5 日、3 月 17-18 號、4 月 10-15 號等三個時期，Al 的濃度是比較高的，而且 N_{ss}/N_{total} 比值是較低的，尤其以 4 月 10-15 的沙塵暴事件最明顯。顯示在沙塵暴時期，大氣中地殼源物質濃度大幅增加，地殼源的 Na 也增加許多，海水源的 Na 因而被稀釋，因此 N_{ss}/N_{total} 比值減少。

根據以上歸納出的沙塵暴事件，我們進一步利用氣流軌跡回推圖來觀察沙塵暴時期大氣懸浮微粒的傳輸路徑，我們採用的是 NOAA 美國國家海洋與大氣環境資源研究室的 HYSPLIT 模式(Hybrid Singal-Particle Langrangian Intergrated Trajectories)(Draxler, 1999)。彭佳嶼的經緯度是 25.62N、122.07E，回推高度是 100、500、2000m，回推時間為 120 小時，每六小時為一間格，將以上資料以及回推的起始日期輸入 HYSPLIT 模式就可得到氣流軌跡回推圖，我們輸入上述歸納出的三起沙塵暴事件，得到的結果示於圖 3.12(a)，從氣流軌跡回推圖可以看見，在沙塵暴期間，氣流的傳輸是從中國大陸內外蒙古，西北等地區的沙漠區以及黃土高原區，經由黃海以及東海然後傳輸至台灣，因此可以證明沙塵暴物質的確來自亞洲大陸。

圖 3.12(b)所示為低沙時期標本之氣流軌跡回推圖，從圖中可以看出低沙期間大氣懸浮微粒大多來自西南方的台灣海峽或南海或東南方的太平洋，海面的空氣比較乾淨，因此大氣懸浮微粒的濃度比較低，與東北風帶來的大陸物質比較，西南以及東南風帶來的大氣懸浮微粒濃度比較低。

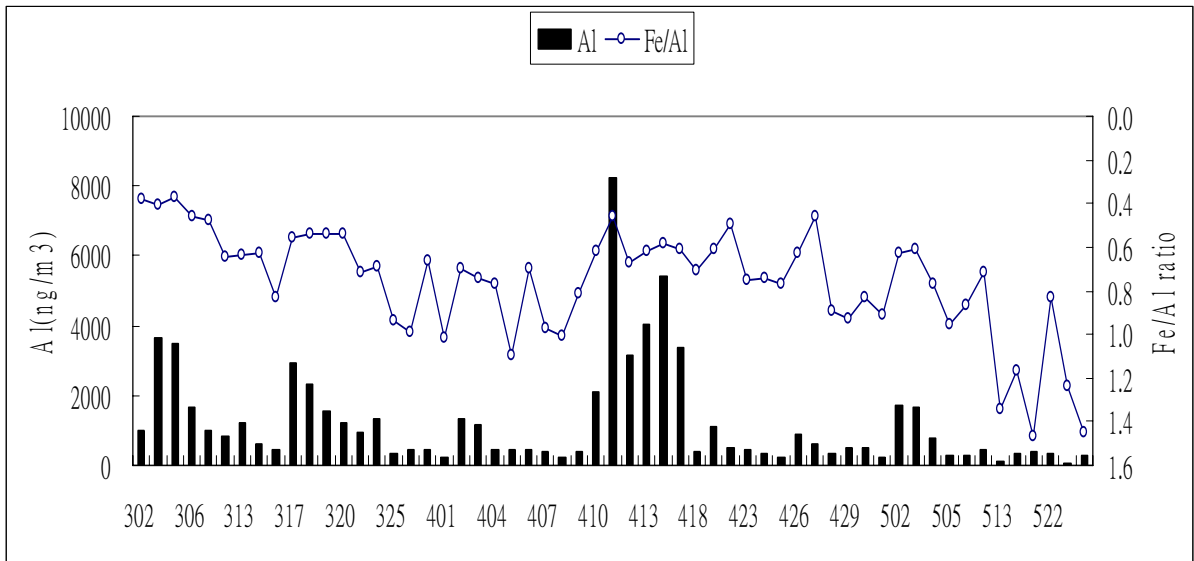


圖 3.10、2005 年沙塵暴季節大氣懸浮微粒中 Al 之濃度與 Fe/Al 比值之時序變化

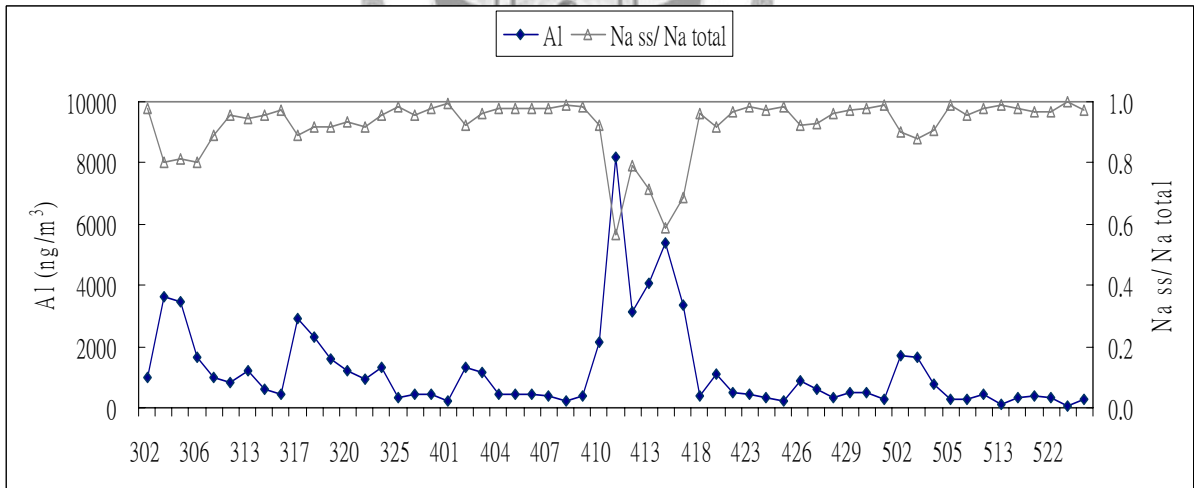


圖 3.11、2005 年沙塵暴季節大氣懸浮微粒中 Al 之濃度與 Na_{ss}/Na_{total} 比值之時序變化

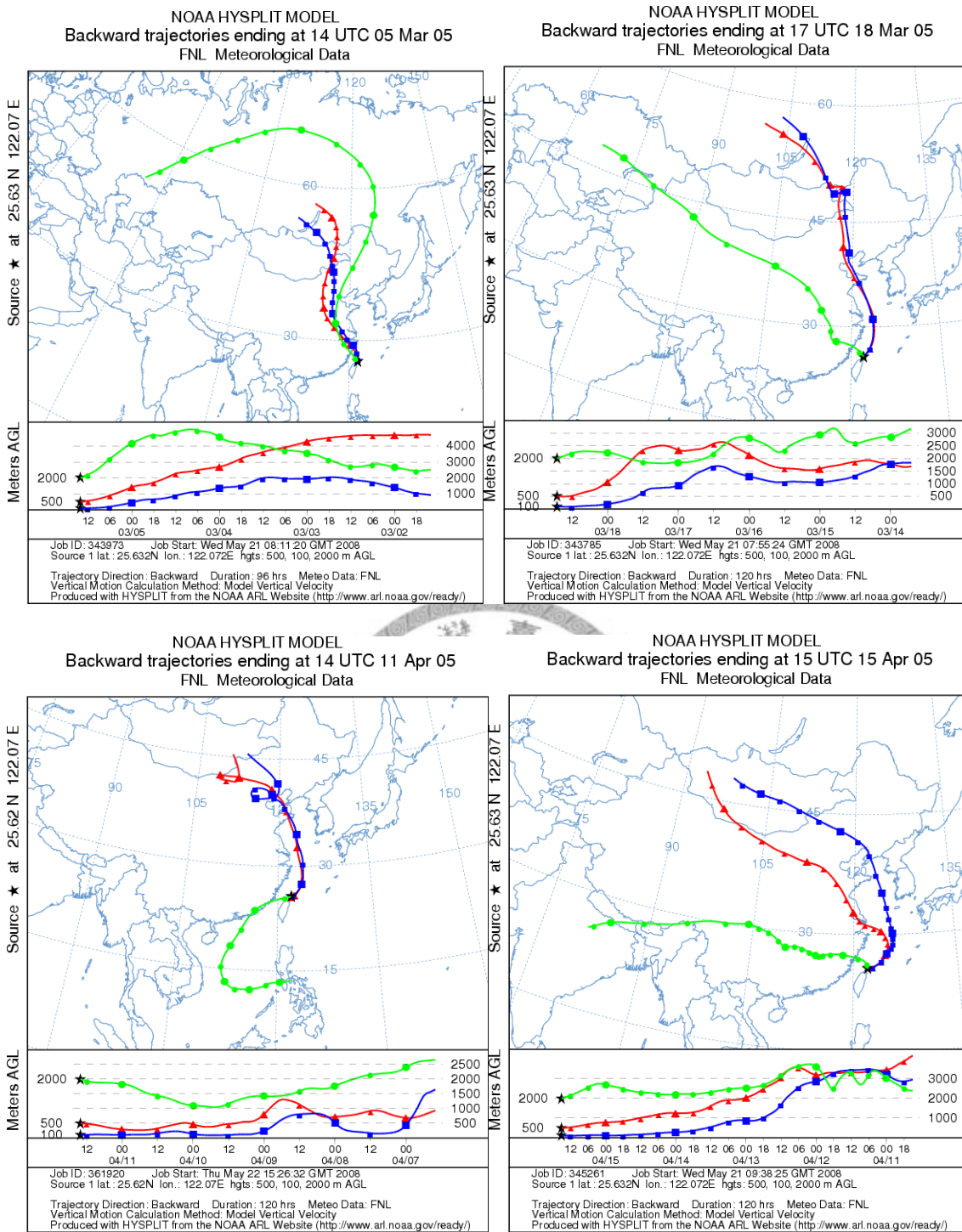


圖 3.12(a)、2005 年沙塵暴事件發生時之氣流軌跡回推圖

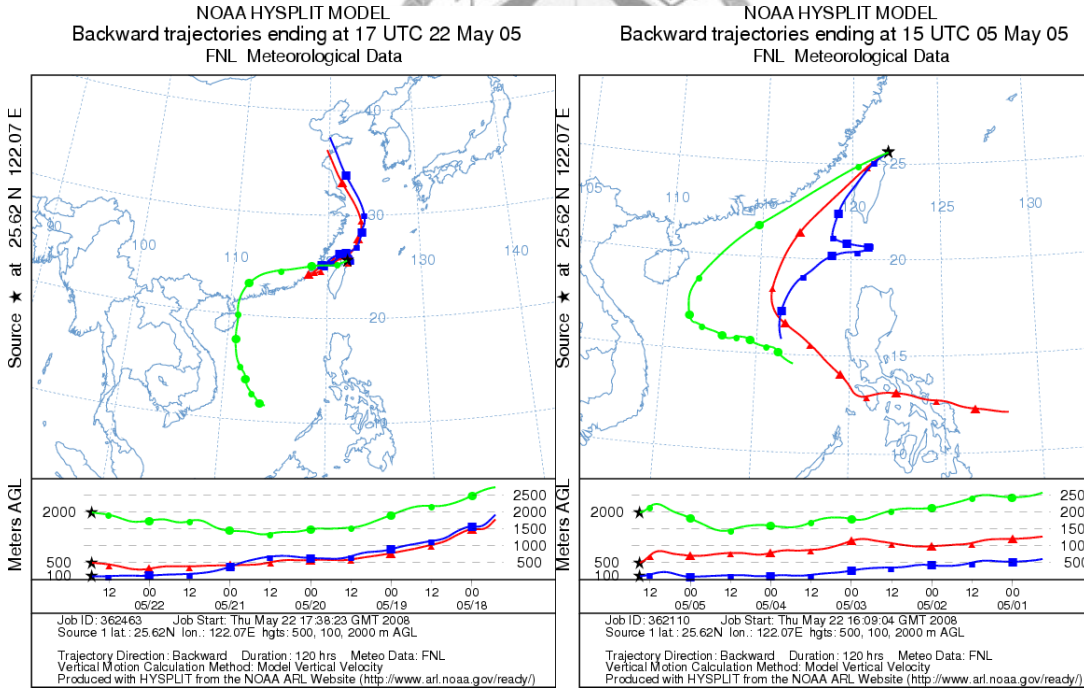
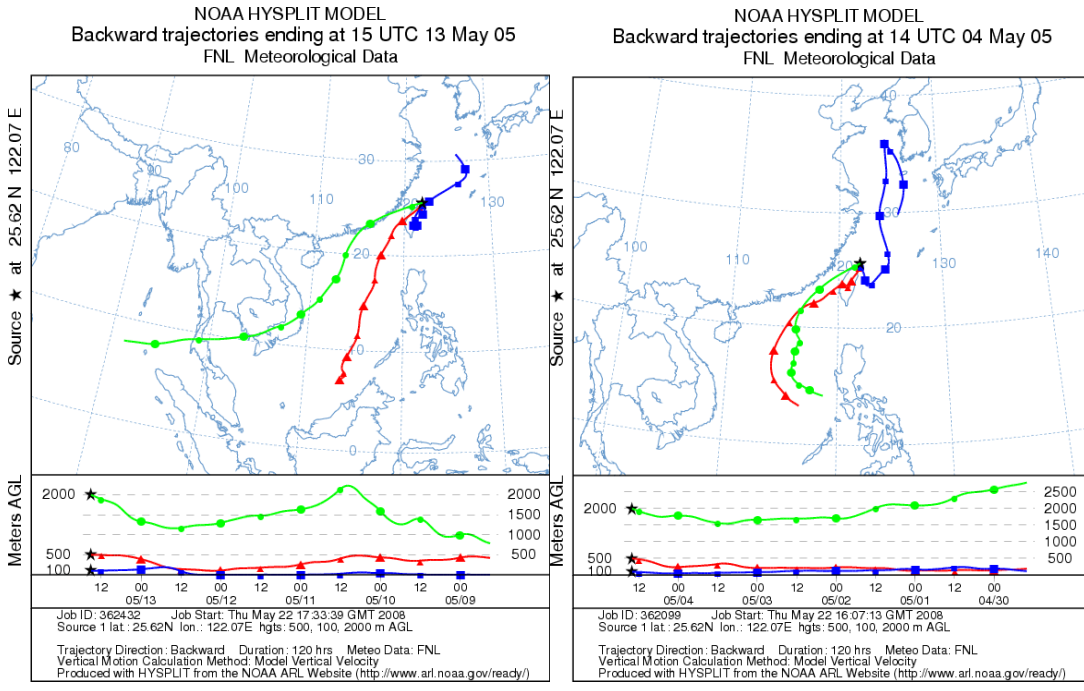


圖 3.12(b)、2005 年低沙期間氣流軌跡回推圖

四、結論

1. 彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中水溶性離子的濃度分布呈現明顯的季節變化，以冬季和春季濃度較高，夏季濃度最低。
2. 與其他地區(如台中、香港、廈門、廣州、上海、韓國及土耳其等)之大氣懸浮微粒水溶性離子濃度比較，彭佳嶼海域大氣中的地殼源以及污染源物質之比例較高，此主要是由中國大陸輸出的陸源物質所貢獻。
3. 彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中 NH_4^+ 與 nss-SO_4^{2-} 之莫耳比值為1.1顯示此區域的硫酸鹽主要是以 NH_4HSO_4 之形式呈現。
4. 彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中出現明顯的氯虧損，這是由於 nss-SO_4^{2-} 與海鹽作用所造成的。
5. 風向族群分析的結果顯示彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中水溶性離子以北風族群的濃度較大，大約是南風族群的1.1倍到1.6倍，其中以 K^+ 最明顯，此顯示對大部分的成份而言北方來源的貢獻是高於南方來源。
6. 2005彭佳嶼海域年大氣懸浮微粒中 nss-SO_4^{2-} 與 NO_3^- 的濃度是1996年的兩倍左右，顯示此海域受到中國大陸近十年來工業快速發展所產生的大量污染物質之影響，使得大氣組成出現明顯的改變。
7. 在2005年沙塵暴季節，彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中大部份元素的濃度在4月10日到15日之間，均出現明顯的高值，顯示在這段期間彭佳嶼海域明顯受到較強沙塵暴的影響。
8. 2005年沙塵暴季節彭佳嶼海域大氣懸浮微粒之化學組成經主成份分析結果顯示 Fe 、 Al 、 Ca^{2+} 、 Ti 、 Sr 、 Ba 、 Mn 及 Co 等主要為地殼來源。 K^+ 、 Ca^{2+} 、 NH_4^+ 、 nss-SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cd 及 Pb 主要為低溫排放的污染物質， Na 、 Mg^{2+} 及 Cl^- 為海水來源物質， Ni 、 Cu 及 Cr 則是高溫污染物質。

9. 富集因子分析的結果顯示，Ti、Fe、Al、Mn、Ba 及 Cr 等元素主要是地殼來源，Na 是海水來源，Co、Ni、Cu、Pb 及 Cd 是污染來源，而 Mg 和 Sr 有海水和地殼雙重來源，K 則有地殼、海水以及污染三種來源，但以污染源為主。
10. 根據大氣中 Al 濃度以及 Fe/Al 濃度比值，可發現本研究在 2005 年 3 月到 5 月共偵測到三次沙塵暴事件發生。
11. 氣流軌跡回推圖顯示，沙塵暴事件發生時，主要氣流來自中國大陸內外蒙古區，此帶來大量的地殼以及污染源物質，當低沙期時氣流來自東方的海域，如台灣海峽、南海或太平洋，大氣中各成份濃度就明顯降低。
12. 沙塵暴事件發生時，大氣中的 $\text{Na}_{\text{ss}}/\text{Na}_{\text{total}}$ 比值降低，而 Al 的濃度卻增加，顯示此時大氣中地殼源的 Na 比例提高而海水源的 Na 則相對降低。



五、參考文獻

Adams, P. J., J. H. Seinfeld, D. M. Koch, 1999. Global concentrations of tropospheric sulfate, nitrate, and ammonium aerosol simulated in a general circulation model. *J. Geophys. Res. Atmos.* vol. 104 (D11) pp. 13791-13823

Arimoto, R., R. A. Duce, B. J. Ray, W. G. Ellis Jr, J. T. Merrill, 1995. Trace elements in the atmosphere over the North Atlantic. *J. Geophys. Res. Atmos.* vol. 100, pp. 1199-1213

Arimoto, R., R. A. Duce, D. L. Savoie, J. M. Prospero, 1996. Relationships among aerosol constituents from Asia and the North Pacific during PEM-West A. *J. Geophys. Res. Atmos.* vol. 101 pp. 2011-2023.

Arimoto, R., X. Zhang, B. J. Huebert, C. H. Kang, 2004. Chemical composition of atmospheric aerosols from Zhenbeitai, China, and Gosan, South Korea, during spring of 2004. *J. Geophys. Res.* vol. 40 (40) pp. 7796-7809

Bouwman A.F., D.S. Lee, W.A.H. Asman, F.J. Dentener, K.W. Van Der Hoek, J.G.J. Olivier, 1997. A global high-resolution emission inventory for ammonia, *Global Biogeochemical Cycles*, vol.11(4) pp. 561-587

Carmichael, G. R., Y. Zhang, L. L. Chen, M. S. Hong, and H. Ueda, 1996. Seasonal variation of aerosol composition at Cheju Island, Korea. *Atmos. Environ.* vol. 30(13) PP. 2407-2416

Chang, Shih-Yu, Fang, Guor-Cheng, Chou, Charles C, Chen, Wei-Nai. 2006. Chemical compositions and radiative properties of dust and anthropogenic air masses study in Taipei Basin, Taiwan, during spring of 2004. *Atmos. Environ.* vol. 40 (40) pp. 7796-7809

Cheng, Z.L., K.S. Lam, L.Y. Chan, T. Wang, K. K. Cheng, 2000. Chemical characteristics of aerosols at coastal station in Hong Kong. I. Seasonal variation of major ions, halogens and mineral dusts between 1995 and 1996. *Atmos. Environ.* 34 (17), 2771-2783.

Charlson, R. J., S. E. Schwartz, J. M. Hales, R. D. Cess, J. A. Coakley, 1992. Climate forcing by anthropogenic aerosols. *Science.* vol. 255(5043) pp. 423-430.

Chen, L. L., G. R. Carmichael, M. S. Hong, H. Ueda, S. Shim, C. H. Song, Y. P. Kim, R. Arimoto, J. Prospero, D. Savoie, K. Murano, J. K. Park, H. Lee, and C. Kang, 1997. Influence of continental outflow events on the aerosol composition at Cheju Island, South Korea. *J. of Geophys. Res.*, vol. 102(D23) pp. 28551-28574

- Chen, H.-Y., and L.-D. Chen. 2008. Importance of anthropogenic inputs and continental-derived dust for the distribution and flux of water-soluble nitrogen and phosphorus species in aerosol within the atmosphere over the East China Sea, *J. Geophys. Res.*, 113, D11303
- Choi, J. C., M. Lee, Y. Chun, J. Kim, and S. Oh, 2001. Chemical composition and source signature of spring aerosol in Seoul, Korea. . *J. of Geophys. Res.*, vol. 106(D16) pp. 18067-18074
- Chester R., Sharples E.J., Sanders G.S., Saydam A.C., 1984. Saharan dust incursion over the Tyrrhenian Sea. *Atmos. Environ. - Part A General Topics*, 18 (5), pp. 929-935.
- Chester, R, Nimmo, M, Preston, M R. 1999. The trace metal chemistry of atmospheric dry deposition samples collected at Cap Ferrat: a coastal site in the Western Mediterranean. *Mar. Chem.*, 68:15-30
- Chester, R., 2000. Marine Chemistry. London, Blackwell Science, 506 pp.
- Duce, R. A., 1995. Sources, distributions, and fluxes of mineral aerosols and their relationship to climate, in Dahlem Workshop on Aerosol Forcing of Climate, edited by R. J. Charlson and J. Heintzenberg, pp. 43–72, John Wiley, New York
- Duce, R. A., Liss, P. S., Merrill, J. T., Atlas, E. L., Buat-Menard, P., 1991. The Atmospheric Input of Trace Species to the World Ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 5(3):193-259.
- Duce, R. A., UNNI, C. K., Ray, B. J., Prospero, J. M., Merrill, J. T., 1980. Long-Range Atmospheric Transport of Soil Dust from Asia to the Tropical North Pacific: Temporal variability. *Science*. Vol. 209 pp1522-1524
- Dulace, F., P. Buat-menard, M. Arnold, and V. Ezat, 1987. Atmospheric input of trace metals to the western mediterranean Sea.1. Factors controlling the variability of atmospheric concentration. *J. of Geophys. Res.*, vol. 92 pp. 8437-8453
- Erickson, D J, Merrill, J T, Duce, R A. 1986. Seasonal estimates of global atmospheric sea-salt distributions. *J. of Geophys. Res.*, 91(D1):1067-1072.
- Fang G. C., Y. S. Wu, S. H. Huang, J. Y. Rau, 2005. Review of atmospheric metallic elements in Asia during 2000–2004. *Atmos. Environ.* vol. 39 (17) pp. 3003-3013
- Fang, G., C. Chang, Y. Wu, P. P. Fu, 2002. Ambient suspended particulate matters and related chemical species study in central Taiwan, Taichung during 1998–2001. *Atmospheric Environment* 36, 1921–1928.
- Gao Y., R. Arimoto, M. Y. Zhou, J. T. Merrill, R. A. Duce 1992(a) Relationships between the dust concentrations over eastern Asia and the remote North Pacific. *J. of Geophys. Res.*. Vol. 97(D9) pp.9867-9872

Gao Y., R. Arimoto, R. A. Duce, D. S. Lee, M. Y. Zhou 1992(b) Input of atmospheric trace elements and mineral matter to the Yellow Sea during the spring of a low- dust year. *J. Geophys. Res.* vol. 97(D4) pp. 3767-3777

Gao, J., W. Wang, J. Du, H. Liu, Y. Pang, D. Tang, 1996. Preliminary Study on the Aerosol Characteristics of Xiamen in Spring. *Res. Environ. Sci.* 9 (5), 33–37.

Gillette, D., 1978. A wind tunnel simulation of the erosion of soil: Effect of soil texture, sandblasting, wind speed, and soil consolidation on dust production. *Atmos. Environ.* 12(8), 1735-1743.

Henning, S., E. Weingartner, M. Schwikowski, H. W. Gäggeler, R. Gehrig, K.-P. Hinz, A. Trimborn, B. Spengler, and U. Baltensperger, Seasonal variation of water-soluble ions of the aerosol at the high-alpine site Jungfraujoch (3580 m asl), *J. Geophys. Res.*, 108(D1), 4030

Huebert, B. J., L. Zhuang, S. Howell, K. Noone, and B. Noone (1996), Sulfate, nitrate, methanesulfonate, chloride, ammonium, and sodium measurements from ship, island, and aircraft during the Atlantic Stratocumulus Transition Experiment/Marine Aerosol Gas Exchange, *J. Geophys. Res.*, 101(D2), 4413–4423.

Husar R.B., D. M. Tratt, B. A. Schichtel, S. R. Falke, F. Li D. Jaffe, S. Gassó, T. Gill, N. S. Laulainen, F. Lu, M.C. Reheis, Y. Chun, D. Westphal, B. N. Holben, C. Gueymard, I. McKendry, N. Kuring, G. C. Feldman, C. McClain, R. J. Frouin, J. Merrill, D. DuBois, F. Vignola, T. Murayama, S. Nickovic, W. E. Wilson, K. Sassen, N. Sugimoto, W.C. Malm., 2001. Asian dust events of April 1998. *J. Geophys. Res.-Atmos.* vol. 106 (D16) pp. 18317-18330

Jaffe, D., S. Tamura, J. Harris . 2005. Seasonal cycle and composition of background fine particles along the west coast of the US. *Atmos Environ.* vol. 39 (2) pp. 297-306

Jaffe, D. A., T. Anderson, D. Covert, R. Kotchenruther, B. Trost, J. Danielson, W. Simpson, T. Berntsen, S. Karlsdottir, D. Blake, J. Harris, G. Carmichael, and I. Uno, 1999. Transport of Asian air pollution to North America, *Geophys. Res. Letts.* 26, 711-714,

Kai, Z., G. Huiwang. 2007. The characteristics of Asian-dust storms during 2000–2002: From the source to the sea. *Atmos Environ.* vol. 41 (39) pp. 9136-9145

Kim, K. H., M. Y. Kim, 2003. The effects of Asian Dust on particulate matter fractionation in Seoul, Korea during spring 2001. *Chemosphere.* vol. 51 (8) pp. 707-721

Kim, K., Lee, M., Lee, G., Kim, Y., Youn, Y., Oh, J., 2002. Observations of aerosol-bound ionic compositions at Cheju Island, Korea. *Chemosphere* 48, 317–327.

Lee, B. K., H. K. Lee., N. Y. Jun., 2006. Analysis of regional and temporal characteristics of PM10 during an Asian dust episode in Korea. *Chemosphere.* vol. 63 (7) pp. 1106-1115

- Lestari, P., Oskouie, A.K., Noll, K.E., 2003. Size distribution and dry deposition of particulate mass, sulphate and nitrate in an urban area. *Atmos. Environ.* Vol.37 pp.2507-2516
- Liu, C. L., J. Zhang, Z. B. Shen, 2002. Spatial and temporal variability of trace metals in aerosol from the desert region of China and the the Yellow Sea. *J. Geophys. Res.*, vol. 107(D14):4215
- Liu, C. M., C. Y. Young, Y. C. Lee, 2006. Influence of Asian dust storms on air quality in Taiwan. *Sci. Total Environ.* vol.368(2-3) pp. 884-897
- Logan, J. A., 1983. Nitrogen oxides in the troposphere: Global and regional budgets, *J. Geophys. Res.* vol. 88, pp. 10,785-10,807
- Merrill, J. T., Uematsu, M., Bleck, R., 1989. Meteorological analysis of long range transport of mineral aerosols over the North Pacific. *J. Geophys. Res.* 94:8584-8598.
- Nakamura, T., Matsumoto K., Uematsu M., 2005. Chemical characteristics of aerosols transported from Asia to the East China Sea: an evaluation of anthropogenic combined nitrogen deposition in autumn. *Atmos. Environ.* Vol. 39 pp. 10
- Okuda, T., M. Tenmoku, J. Kato, J. Mori, T. Sato, 2006. Long-term observation of trace metal concentration in aerosols at a remote island, Rishiri, Japan by using inductively coupled plasma mass spectrometry equipped with laser ablation. *Water.* Vol. 174(1-4) pp. 3-17
- Prospero, J. M., Savoie, D. L., Nees, R. T., Duce, R. A., Merrill, J. 1985. Particulate sulfate and nitrate in the boundary layer over the North Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.* vol. 90 pp.10,586-10,596
- Riley, J. P., and R. Chester, 1971. *Introduction to Marine Chemistry*, Academic Press, Orlando, Fla 465pp.
- Seinfeld, J. H., Pandis, S. N., 1998. *Atmospheric Chemistry and Physics From Air Pollution to Climate Change*. Wiley, New York.
- Taylor, S. R. and S. M. McLennan, 1985. *The Continental Crust: its composition and evolution*. Blackwells, Oxford, England, 374 pp.
- Uematsu, M., A. Yoshikawa, H. Muraki, K. Arao, I. Uno, 2002. Transport of mineral and anthropogenic aerosols during a Kosa event over East Asia. *J. Geophys. Res.* vol. 107(D7) pp. 4059
- Uno, I., H. Amano, S. Emori, K. Kinoshita, I. Matsui, and N. Sugimoto (2001), Trans-Pacific yellow sand transport observed in April 1998: A numerical simulation, *J. Geophys. Res.*, 106(D16), 18,331–18,344.
- Wall, S.M., John, W., Ondo, J.L., 1988. Measurement of aerosol size distributions for nitrate and major ionic species. *Atmos. Environ.* 22, 1649-1656.

Watanabe, K., H. Kasuga, Y. Yamada, T. Kawakami, 2006. Size distributions of aerosol number concentrations and water-soluble constituents in Toyama, Japan: A comparison of the measurements during Asian dust period with non-dust period. *Atmos. Res.* vol. 82 (3-4) pp. 719-727

Wang, Y., G. Zhuang, Y. Sun, Z. An., 2006a. The variation of characteristics and formation mechanisms of aerosols in dust, haze, and clear days in Beijing. *Atmos. Environ.* vol. 40 (34) pp. 6579-6591

Wang, Y, G. Zhuang, X. Zhang, K. Huang, C. Xu, A. Tang, J. Chen, Z. An, 2006b. The ion chemistry, seasonal cycle, and sources of PM_{2.5} and TSP aerosol in Shanghai. *Atmos. Environ.* vol. 40 (16) pp. 2935-2952

Wall, S. M., W. John, J. L. Ondo., 1988. Measurement of aerosol size distributions for nitrate and major ionic species. *Atmos Environ.* vol. 22 (8) pp. 1649-1656

Walker, J. T. Whitall, D. R., W. Robarge, H. W. Paerl., 2004. Ambient ammonia and ammonium aerosol across a region of variable ammonia emission density. *Atmos Environ.* vol. 38 (9) pp. 1235-1246

Whitby, K. T., Cantrell, B., 1976. Fine particles, in International Conference on Environmental Sensing and Assessment, Las Vegas, NV, Institute of Electrical and Electronic Engineers.

Wu, D., X. Tie, X. Deng, 2006. Chemical characterizations of soluble aerosols in southern China. *Chemosphere.* vol. 64 (5) pp. 749-757

Yao, X. H., C. K. Chan, M. Fang, S. Cadle, T. Chan, P. Mulawa, K. B. He, B. M. Ye, 2002. The water-soluble ionic composition of PM_{2.5} in Shanghai and Beijing, China. *Atmos. Environ.* vol. 36 (26) pp. 4223-4234

Zhang, J., S. M. Liu, X. Lü, W. W. Huang, 1993. Characterizing Asian wind-dust transport to the Northwest Pacific Ocean. Direct measurements of the dust flux for two years. *Tellus B* vol. 45(4) pp.335.

Zhou, M., K. Okada, F. Qian, P. -M. Wu, L. Su, B. E. Casareto, and T. Shimohara 1996. Characteristics of dust-storm particles and their long-range transport from China to Japan—case studies in April 1993. *Atmos. Res.* vol: 40(1) pp. 19-31

中文部份

中央氣象局，2004-2006年彭佳嶼海域氣象資料。中央氣象局。

邱皓政，2002 量化研究與統計分析。五南出版社。590 頁。

林斐然，1993。台灣西南海域海洋大氣懸浮物之微量元素，國科會專題研究計畫成果報告，54 頁，1993。

林斐然，1996。台灣海域大氣懸浮微粒之成分及來源探討(II)。國科會專題研究計畫成果報告。32 頁。

吳政鴻，1997。彭佳嶼海域大氣懸浮微粒之化學研究。國立台灣大學海洋研究所碩士論文。71 頁。



附錄

附錄一、2004 年 12 月至 2006 年 2 月彭佳嶼海域大氣懸浮微粒中水溶性離子濃度

Sample Name	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	單位:	μg/m ³
								SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
PCY041201	6.81	1.17	0.26	1.28	0.52	15.65	3.40	7.66	5.94
PCY041205	4.77	0.90	0.26	1.52	0.81	11.28	4.05	7.67	6.47
PCY041206	3.69	0.68	0.15	1.06	0.28	7.78	2.54	4.63	3.70
PCY041207	3.73	0.95	0.89	2.63	4.11	6.90	14.55	18.28	17.34
PCY041208	3.87	0.93	0.53	3.54	1.47	7.74	4.67	11.30	10.33
PCY041210	4.40	0.87	0.47	1.76	0.33	8.24	3.57	6.79	5.68
PCY041211	6.87	1.27	0.50	2.41	2.03	11.68	5.99	15.47	13.75
PCY041212	4.23	0.90	0.31	1.60	0.96	6.80	3.60	7.39	6.32
PCY041213	5.28	1.29	0.45	3.04	0.75	9.11	4.47	10.93	9.60
PCY041215	5.55	0.97	0.41	1.16	0.63	8.26	4.07	8.07	6.68
PCY041216	7.63	1.33	1.64	2.55	4.05	9.13	9.64	19.36	17.44
PCY041217	3.89	0.66	0.86	1.26	1.05	5.80	1.52	7.84	6.86
PCY041218	5.62	1.16	0.52	1.70	2.30	7.08	3.56	17.10	15.68
PCY041219	4.69	1.00	0.99	1.87	6.81	4.40	6.76	30.68	29.50
PCY041220	9.61	1.63	1.03	2.36	2.81	11.33	3.70	23.20	20.78
PCY041221	7.04	1.09	0.45	1.45	0.79	8.87	3.12	11.11	9.34
PCY041222	3.97	0.80	0.29	1.29	1.00	5.92	3.33	7.72	6.72
PCY041223	6.90	1.28	0.67	1.54	0.56	11.41	2.69	6.60	4.86
PCY041224	8.47	1.58	0.42	1.54	0.32	11.61	1.85	11.22	9.09
PCY041225	6.75	1.13	0.59	1.22	0.54	7.34	1.49	11.57	9.87
PCY041227	6.84	1.07	0.26	0.88	0.48	9.66	2.56	6.86	5.13
PCY041229	5.77	1.16	0.34	1.95	0.49	9.38	2.83	5.91	4.46
PCY041230	6.24	1.17	1.21	2.38	3.14	8.90	7.17	14.79	13.22
PCY041231	5.62	1.17	0.49	2.70	2.66	9.29	6.19	12.31	10.89
PCY050101	6.09	1.20	0.53	2.30	1.85	8.30	5.95	13.32	11.79
PCY050102	3.19	0.72	0.69	1.83	1.46	3.22	3.95	10.94	10.13
PCY050103	4.65	1.03	0.77	2.26	3.40	5.35	7.75	14.00	12.83
PCY050104	7.20	1.25	0.34	1.86	1.48	10.56	3.60	9.54	7.73
PCY050106	7.34	1.45	0.39	2.12	1.71	9.29	4.43	14.50	12.65
PCY050107	5.20	1.07	0.26	2.09	1.84	7.49	2.03	12.25	10.94
PCY050108	9.06	1.72	0.31	2.05	1.03	13.13	3.51	12.30	10.02
PCY050109	4.72	0.92	0.18	1.20	1.03	8.76	1.26	6.03	4.84
PCY050110	5.54	1.02	0.19	1.61	0.73	9.21	1.90	5.76	4.37
PCY050111	2.82	0.32	0.07	0.39	0.37	5.68	0.61	1.31	0.60
PCY050114	6.58	1.33	0.64	4.00	4.38	8.96	13.37	19.75	18.09
PCY050115	4.68	1.10	0.77	4.63	5.48	7.91	13.52	18.85	17.67
PCY050116	6.50	1.32	0.71	4.18	4.10	9.33	15.83	16.93	15.29
PCY050117	2.94	0.57	0.19	1.14	2.84	3.23	2.62	9.80	9.06
PCY050119	4.85	0.99	0.34	1.33	1.59	8.93	4.08	11.47	10.25
PCY050120	4.13	0.78	0.26	1.07	1.95	5.39	2.73	12.59	11.55
PCY050121	5.43	0.99	0.25	1.61	3.81	7.03	5.28	11.98	10.62
PCY050122	5.00	0.89	0.31	1.67	2.27	6.16	5.00	13.61	12.35
PCY050123	4.73	0.91	0.30	3.37	2.37	4.32	9.35	16.02	14.83
PCY050124	2.88	0.61	0.23	1.54	3.42	2.55	8.96	14.24	13.51

附錄一

Sample Name	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	單位:	μg/m ³
								SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
PCY050125	7.43	1.25	0.31	1.45	2.45	8.70	4.53	14.93	13.06
PCY050126	4.94	0.92	0.19	1.24	1.18	7.03	3.18	10.15	8.91
PCY050127	4.86	0.90	0.17	1.47	1.73	8.35	2.54	5.17	3.94
PCY050128	3.54	0.69	0.20	1.34	3.44	4.67	4.46	8.06	7.16
PCY050129	6.26	1.03	0.34	2.36	1.96	7.90	5.81	11.93	10.36
PCY050201	7.10	1.24	0.36	2.84	1.68	11.20	6.69	9.26	7.47
PCY050204	2.79	0.61	0.16	1.52	1.73	3.60	6.21	6.27	5.56
PCY050205	4.26	0.65	0.24	1.38	0.91	11.47	6.35	7.72	6.65
PCY050206	23.85	3.62	0.71	6.18	1.08	44.54	15.77	12.52	6.52
PCY050207	3.72	0.63	0.13	0.65	0.50	5.09	2.76	5.72	4.78
PCY050209	6.87	1.10	0.24	0.92	0.63	8.92	2.79	9.63	7.90
PCY050211	5.16	0.98	0.14	1.02	0.30	9.59	3.10	4.39	3.09
PCY050212	6.82	1.08	0.23	1.49	0.36	12.57	3.24	5.06	3.35
PCY050213	8.70	1.54	0.26	1.32	0.46	15.22	3.56	8.67	6.48
PCY050214	9.95	1.69	0.28	2.33	1.48	16.67	7.15	8.31	5.81
PCY050215	2.62	0.59	0.14	1.90	2.54	4.04	11.82	8.06	7.40
PCY050216	7.16	1.37	0.20	1.58	0.42	10.24	7.76	9.41	7.61
PCY050217	11.51	2.11	0.35	1.99	0.85	18.97	3.78	13.12	10.22
PCY050220	6.14	1.07	0.21	1.25	0.77	8.54	3.27	9.69	8.14
PCY050222	4.02	0.77	0.14	1.33	0.18	5.92	5.76	5.83	4.82
PCY050223	3.75	0.72	0.33	1.43	4.79	5.36	13.93	12.81	11.86
PCY050224	7.73	1.28	0.30	1.30	1.46	9.73	2.57	15.31	13.36
PCY050228	10.88	1.70	0.41	1.26	1.34	16.33	3.47	12.56	9.82
PCY050302	13.54	2.03	0.42	3.51	2.26	24.26	7.09	13.07	9.66
PCY050304	4.59	1.06	0.47	13.71	3.85	10.06	10.00	15.11	13.95
PCY050305	2.96	0.72	0.35	8.52	2.91	6.83	9.71	10.90	10.15
PCY050306	1.57	0.58	0.31	8.00	3.28	15.73	11.03	14.47	14.07
PCY050307	2.58	0.59	0.24	3.37	3.53	2.10	7.40	15.73	15.08
PCY050309	2.58	0.55	0.17	1.74	1.16	3.81	5.53	8.22	7.57
PCY050310	2.45	0.39	0.15	1.43	2.68	6.57	4.32	4.25	3.63
PCY050313	8.13	1.35	0.59	5.51	2.00	12.93	14.06	11.32	9.27
PCY050314	3.89	0.75	0.26	2.52	2.03	4.29	9.24	12.83	11.85
PCY050315	5.66	1.03	0.21	1.64	0.70	11.26	6.53	6.05	4.63
PCY050316	4.18	0.85	0.24	1.92	3.66	6.20	12.89	11.52	10.47
PCY050317	12.20	2.12	0.84	11.28	5.91	19.35	16.11	22.92	19.85
PCY050318	9.17	1.62	0.35	6.52	1.10	17.50	4.70	9.59	7.29
PCY050319	5.77	1.12	0.23	4.36	1.24	9.00	8.68	9.15	7.70
PCY050320	5.32	1.11	0.24	3.06	1.07	8.55	7.83	9.07	7.73
PCY050321	2.80	0.64	0.20	2.49	3.94	3.43	13.86	13.00	12.30
PCY050322	7.82	1.25	0.55	3.47	5.96	11.39	8.41	22.30	20.33
PCY050325	7.02	1.52	0.78	1.42	1.30	10.91	7.47	8.32	6.55
PCY050326	5.22	0.90	0.19	1.67	1.67	6.87	11.84	8.61	7.30
PCY050327	2.99	0.61	0.22	1.73	5.42	3.71	11.70	22.12	21.36
PCY050328	7.23	1.14	0.37	1.31	2.02	8.58	3.51	14.17	12.34
PCY050401	16.74	3.44	0.49	5.56	0.42	31.65	12.31	11.45	7.23
PCY050402	5.16	1.16	0.37	5.18	6.06	5.83	15.10	21.43	20.13
PCY050403	12.82	2.31	0.59	5.08	2.87	23.12	9.09	13.53	10.30
PCY050404	5.36	1.06	0.27	2.02	0.66	10.25	5.35	5.19	3.84

附錄一

Sample Name	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	單位:	μg/m ³
								SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
PCY050405	5.65	1.15	0.26	2.80	1.56	9.55	8.55	8.59	7.16
PCY050406	5.34	1.07	0.23	2.23	1.74	7.70	6.55	10.18	8.84
PCY050407	4.23	0.96	0.23	2.48	2.23	4.12	12.77	10.72	9.65
PCY050408	7.51	1.39	0.25	1.71	0.77	12.04	5.58	8.16	6.27
PCY050409	6.29	1.22	0.27	2.55	1.87	9.73	8.87	9.76	8.18
PCY050410	9.98	1.90	0.50	5.53	2.24	14.08	9.41	13.97	11.46
PCY050411	4.88	1.32	0.50	6.13	1.35	8.12	8.87	9.00	7.77
PCY050412	5.46	1.07	0.74	6.72	6.67	4.46	17.80	21.09	19.72
PCY050413	4.17	1.21	1.04	12.43	12.22	3.30	20.52	39.13	38.08
PCY050414	3.17	1.42	1.07	16.05	11.17	3.43	16.44	34.95	34.16
PCY050415	3.31	1.01	0.47	9.40	5.68	4.15	10.63	19.42	18.59
PCY050416	4.94	1.19	0.36	3.60	3.61	4.92	6.84	18.63	17.38
PCY050417	4.93	0.89	0.22	1.32	1.32	6.61	4.17	7.59	6.35
PCY050418	2.90	0.62	0.10	1.00	0.58	3.53	4.78	5.37	4.64
PCY050419	3.73	0.84	0.27	3.68	3.91	4.98	9.55	12.70	11.77
PCY050420	5.05	1.22	0.59	5.07	7.93	5.35	17.51	25.22	23.95
PCY050421	2.42	0.58	0.25	2.34	4.42	1.93	9.87	14.72	14.11
PCY050422	3.82	0.81	0.15	1.49	1.08	2.60		10.99	10.03
PCY050423	9.46	1.64	0.27	1.51	0.68	14.57	3.58	6.57	4.18
PCY050424	3.65	0.75	0.14	1.21	0.87	4.60	4.90	5.76	4.84
PCY050425	3.28	0.69	0.12	1.19	0.48	3.73	3.42	6.70	5.88
PCY050426	3.34	0.82	0.17	3.02	1.02	5.60	3.19	5.92	5.08
PCY050427	2.78	0.63	0.13	2.02	0.94	3.00	6.02	5.20	4.50
PCY050428	2.50	0.59	0.14	1.47	2.48	2.64	5.29	9.57	8.94
PCY050429	3.07	0.65	0.20	1.75	5.50	4.02	9.33	13.42	12.64
PCY050430	5.49	1.04	0.24	1.66	2.86	7.70	6.31	10.21	8.83
PCY050501	6.73	1.24	0.23	1.28	2.04	9.42	5.40	10.62	8.92
PCY050502	6.41	1.33	0.30	3.89	1.23	5.52	8.07	14.22	12.61
PCY050503	3.11	0.79	0.22	3.58	2.62	2.26	12.13	11.00	10.21
PCY050504	2.21	0.58	0.18	2.21	4.38	0.97	9.04	22.70	22.14
PCY050505	7.70	1.41	0.26	1.36	1.77	8.90	3.93	13.48	11.54
PCY050506	2.40	0.42	0.07	0.40	0.18	3.60	1.20	2.15	1.54
PCY050511	1.67	0.35	0.09	0.85	1.32	3.25	3.05	2.89	2.47
PCY050513	3.32	0.62	0.13	0.76	0.38	4.62	2.51	3.64	2.80
PCY050515	6.39	0.54	0.09	0.78	0.78	2.67	3.97	5.44	3.84
PCY050516	1.22	0.29	0.06	0.94	1.49	0.86	4.70	6.62	6.31
PCY050517	3.09	0.77	0.13	2.13	0.95	5.52	6.50	5.93	5.15
PCY050519	4.35	1.00	0.36	2.02	1.67	4.77	6.32	11.96	10.87
PCY050520	3.70	0.89	0.31	1.52	1.79	2.77	5.36	12.09	11.15
PCY050521	2.85	0.65	0.22	1.17	2.54	2.20	5.36	12.49	11.77
PCY050522	2.00	0.54	0.19	1.31	3.58	0.90	3.97	20.84	20.33
PCY050523	7.51	1.25	0.32	0.95	1.86	9.38	2.43	11.41	9.52
PCY050526	3.71	0.83	0.15	1.38	1.09	5.65	4.80	6.33	5.40
PCY050527	3.60	0.79	0.12	1.29	0.54	5.04	4.59	5.60	4.70
PCY050528	6.35	1.19	0.16	1.32	0.06	11.31	3.35	2.98	1.38
PCY050529	8.49	1.47	0.30	1.11	0.26	13.16	2.82	5.25	3.11
PCY050530	5.72	1.08	0.24	1.41	0.86	7.56	5.32	6.19	4.75
PCY050531	4.71	0.65	0.51	2.35	0.72	2.80	6.27	4.65	3.47
PCY050601	1.28	0.19	0.04	0.28	0.50	1.98	1.16	1.66	1.33

附錄一

Sample Name	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	單位:	μg/m ³
								SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
PCY050603	1.48	0.30	0.71	1.91	4.63	0.89	3.93	21.41	21.03
PCY050604	5.70	0.85	0.80	1.82	3.23	6.79	4.29	15.20	13.77
PCY050605	8.43	1.19	0.30	0.91	1.65	12.17	4.19	9.83	7.70
PCY050606	7.32	1.06	0.34	0.91	1.58	7.39	3.26	13.22	11.38
PCY050607	5.58	0.85	0.42	1.26	1.75	5.81	2.61	12.51	11.11
PCY050608	17.62	2.46	0.62	1.58	1.03	27.46	6.38	14.87	10.44
PCY050609	4.79	0.72	0.22	1.07	2.10	3.31	8.97	11.19	9.98
PCY050610	2.67	0.42	0.11	0.86	3.05	3.10	7.75	7.15	6.48
PCY050611	3.91	0.58	0.14	0.47	0.97	3.03	4.23	7.94	6.95
PCY050612	8.32	1.12	0.25	0.43	0.25	14.16	2.64	4.94	2.85
PCY050613	2.75	0.43	0.10	0.37	0.74	3.19	3.73	4.11	3.42
PCY050614	2.32	0.37	0.08	0.34	0.37	2.43	2.73	3.11	2.53
PCY050615	3.75	0.59	0.21	0.57	0.49	5.70	1.36	4.96	4.02
PCY050617	3.60	0.58	0.13	0.54	1.23	4.25	4.23	5.91	5.00
PCY050618	10.07	1.37	0.32	0.69	1.12	19.29	4.32	9.74	7.21
PCY050620	8.33	1.18	0.22	0.80	1.31	12.80	6.27	8.18	6.09
PCY050621	6.31	0.94	0.17	0.98	1.20	8.44	5.89	7.21	5.63
PCY050622	10.11	1.41	0.30	0.84	0.83	17.98	4.68	7.65	5.11
PCY050623	4.99	0.75	0.14	0.39	0.44	8.14	3.13	3.37	2.11
PCY050624	4.16	0.60	0.14	0.54	1.40	5.64	6.07	4.57	3.53
PCY050625	3.30	0.47	0.11	0.76	1.89	4.09	6.71	5.08	4.25
PCY050626	6.29	0.91	0.16	0.48	0.27	11.07	2.39	3.33	1.75
PCY050627	7.00	0.88	0.17	0.30	0.01	10.58	1.25	2.19	0.42
PCY050628	4.78	0.42	0.11	0.21	0.09	8.25	1.86	1.87	0.66
PCY050629	2.90	0.34	0.08	0.42	0.36	3.70	3.43	2.58	1.85
PCY050630	4.04	0.60	0.10	1.18	0.82	0.28	0.97	32.36	31.35
PCY050701	2.92	0.46	0.07	1.09	1.68	0.74	3.75	16.62	15.88
PCY050702	4.44	0.64	0.12	0.86	1.68	2.51	2.91	17.13	16.01
PCY050703	4.11	0.57	0.13	0.89	2.69	3.98	5.17	12.63	11.59
PCY050704	5.67	0.73	0.15	1.11	2.23	5.83	4.72	13.20	11.77
PCY050705	4.91	0.65	0.15	1.41	1.86	2.05	2.51	19.32	18.09
PCY050707	7.53	0.93	0.18	0.84	1.06	10.77	6.55	5.29	3.39
PCY050708	6.83	0.80	0.19	0.75	2.61	9.57	8.84	6.24	4.52
PCY050709	4.94	0.61	0.16	0.62	1.77	3.78	5.76	10.24	8.99
PCY050710	4.10	0.52	0.16	0.81	3.18	2.27	4.35	17.51	16.47
PCY050711	5.72	0.71	0.17	0.74	1.52	7.72	6.17	5.95	4.51
PCY050712	4.21	0.52	0.18	0.74	2.67	3.80	5.22	11.45	10.40
PCY050713	2.79	0.37	0.08	0.63	1.35	0.76	2.23	12.64	11.94
PCY050714	0.97	0.15	0.03	0.55	0.43	0.15	0.38	10.03	9.78
PCY050715	3.15	0.42	0.07	0.38	0.28	2.30	0.86	7.25	6.46
PCY050724	1.38	0.23	0.11	0.67	5.05	0.41	2.87	23.39	23.04
PCY050725	1.75	0.31	0.18	0.96	7.56	0.61	3.73	41.14	40.70
PCY050726	2.67	0.43	0.17	1.81	5.86	0.58	5.97	28.30	27.63
PCY050727	3.24	0.48	0.15	0.96	5.35	1.89	3.55	19.74	18.93
PCY050728	4.49	0.60	0.12	0.40	0.95	5.62	2.47	6.48	5.35
PCY050729	4.05	0.53	0.12	0.69	1.48	4.25	5.10	6.25	5.24
PCY050730	3.24	0.40	0.10	0.87	1.10	3.02	5.21	4.22	3.40
PCY050731	1.12	0.13	0.04	0.62	1.11	1.10	2.80	2.71	2.43
PCY050801	2.08	0.27	0.06	0.87	0.81	0.19	0.41	16.31	15.78

附錄一

Sample Name	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	單位:	μg/m ³
								SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
PCY050802	3.35	0.39	0.08	0.95	0.39	1.95	0.86	9.95	9.11
PCY050808	7.56	0.80	0.20	0.32	0.05	12.19	1.04	4.13	2.23
PCY050809	6.93	0.73	0.18	0.44	0.08	2.51	0.39	18.85	17.11
PCY050811	38.98	4.01	1.32	0.95	0.32	80.77	6.56	19.45	9.64
PCY050815	2.36	0.27	0.07	0.23	0.50	1.81	2.96	3.23	2.64
PCY050816	2.28	0.29	0.09	0.81	3.76	1.81	8.06	7.35	6.78
PCY050817	3.54	0.43	0.09	0.51	2.11	4.07	6.32	5.75	4.86
PCY050818	5.08	0.59	0.13	0.60	2.25	6.20	6.67	6.30	5.02
PCY050819	9.58	0.73	0.16	0.34	0.43	9.81	1.90	3.79	1.38
PCY050820	2.59	0.28	0.08	0.33	0.71	2.01	2.72	3.67	3.02
PCY050821	7.49	0.79	0.32	0.44	1.68	9.95	5.29	9.79	7.90
PCY050824	2.96	0.37	0.11	0.54	1.88	2.38	3.13	8.11	7.36
PCY050825	2.29	0.31	0.10	0.53	1.44	1.17	1.78	8.64	8.06
PCY050826	3.08	0.38	0.09	0.30	0.41	3.13	2.00	3.73	2.95
PCY050827	3.21	0.39	0.09	0.35	0.28	3.57	2.07	3.51	2.71
PCY050828	1.92	0.24	0.05	0.28	0.22	0.26	0.63	8.38	7.89
PCY050829	1.22	0.19	0.03	0.43	0.36	0.64	1.29	5.97	5.66
PCY050902	5.77	0.72	0.14	0.37	0.67	6.45	2.20	7.89	6.44
PCY050903	11.29	1.36	0.28	0.48	1.37	9.44	2.57	22.44	19.60
PCY050904	17.57	2.05	0.50	0.58	1.93	21.77	5.73	23.49	19.07
PCY050905	21.51	2.41	0.88	2.62	5.09	38.24	10.38	31.58	26.16
PCY050906	13.88	1.65	0.83	3.68	4.63	17.99	11.51	27.84	24.35
PCY050907	8.76	1.19	0.80	3.73	6.03	6.42	11.81	31.77	29.57
PCY050908	2.56	0.50	0.69	3.09	7.03	1.63	6.21	30.90	30.26
PCY050909	5.30	0.70	0.19	0.60	1.85	7.60	3.42	7.36	6.03
PCY050910	35.63	4.63	1.36	2.05	0.82	77.15	8.79	20.33	11.37
PCY050911	8.68	1.07	0.23	0.38	0.80	12.28	2.62	8.65	6.46
PCY050912	3.80	0.57	0.09	0.37	0.17	6.02	2.00	2.96	2.01
PCY050913	2.56	0.36	0.08	0.33	0.15	3.83	1.36	1.94	1.29
PCY050914	2.92	0.42	0.07	0.32	0.13	4.24	1.36	2.26	1.52
PCY050915	3.83	0.53	0.11	0.34	0.17	6.33	1.34	2.20	1.23
PCY050916	5.86	0.75	0.15	0.42	0.09	10.99	1.02	2.25	0.78
PCY050917	6.50	0.88	0.17	0.47	0.10	12.80	0.61	2.34	0.70
PCY050918	3.81	0.51	0.10	0.35	0.11	6.86	0.97	1.75	0.79
PCY050919	2.91	0.41	0.08	0.32	0.16	4.86	0.92	1.74	1.01
PCY050920	3.76	0.57	0.15	0.50	0.82	3.44	1.65	8.36	7.42
PCY050921	6.36	0.91	0.18	0.51	0.31	10.69	0.77	5.12	3.52
PCY050922	11.97	1.69	0.34	0.63	0.09	26.09	0.74	4.28	1.27
PCY050923	7.47	1.06	0.26	0.68	0.73	9.63	1.63	11.12	9.24
PCY050925	7.91	1.07	0.21	0.59	0.37	14.00	2.61	4.84	2.85
PCY050926	9.93	1.22	0.29	0.51	0.34	16.38	4.01	7.53	5.03
PCY050928	7.05	0.96	0.18	0.54	0.40	9.08	4.03	6.66	4.88
PCY050929	4.88	0.72	0.14	0.53	1.00	3.45	3.31	10.94	9.71
PCY050930	7.14	1.02	0.19	0.49	0.36	9.76	2.61	6.62	4.82
PCY051001	12.78	2.02	0.45	1.04	0.12	20.15	2.68	7.69	4.47
PCY051003	4.20	0.71	0.37	0.87	0.52	7.64	1.86	2.48	1.43
PCY051004	2.85	0.61	0.15	0.74	0.10	5.39	1.67	1.95	1.24
PCY051005	2.15	0.46	0.12	0.99	0.63	4.40	3.15	1.82	1.28
PCY051006	2.43	0.47	0.18	1.03	0.15	5.03	1.32	1.97	1.36

附錄一

Sample Name	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	單位:	μg/m ³
								SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
PCY051007	11.35	2.01	0.70	1.32	2.27	17.56	2.69	13.87	11.01
PCY051008	11.01	1.93	0.44	1.76	1.60	15.82	3.02	13.98	11.21
PCY051009	8.81	1.54	0.35	1.28	0.57	12.97	2.66	7.49	5.27
PCY051010	13.26	2.01	0.37	0.92	0.22	19.47	3.65	7.18	3.84
PCY051012	8.47	1.36	0.25	1.17	0.70	10.93	3.58	9.13	7.00
PCY051013	22.29	3.34	0.70	2.18	4.10	26.71	9.77	29.17	23.56
PCY051015	13.47	2.36	0.89	4.71	4.82	18.61	10.66	21.78	18.39
PCY051016	9.75	1.70	0.68	3.07	2.81	12.24	6.07	15.13	12.67
PCY051018	18.89	3.25	0.74	3.99	1.85	28.64	8.01	14.87	10.11
PCY051019	15.69	2.65	0.53	2.09	0.90	21.82	5.79	12.96	9.01
PCY051020	10.39	1.63	0.31	1.88	0.81	13.89	4.76	9.48	6.86
PCY051021	12.01	1.93	0.51	1.48	1.01	17.69	3.69	8.93	5.90
PCY051022	11.84	1.89	0.40	1.37	0.23	20.67	1.94	5.12	2.14
PCY051023	8.16	1.43	0.25	1.14	0.31	13.73	2.16	5.62	3.57
PCY051024	15.38	2.37	0.44	1.04	0.47	24.43	2.25	7.42	3.55
PCY051026	6.13	1.07	0.19	0.81	0.13	11.32	1.08	3.30	1.76
PCY051027	3.24	0.60	0.13	0.73	0.29	4.93	3.84	4.14	3.32
PCY051028	4.91	0.89	0.25	0.92	0.83	7.17	2.30	7.80	6.56
PCY051029	12.92	1.93	3.73	3.99	1.80	15.62	3.46	11.70	8.44
PCY051030	7.72	1.45	0.72	3.36	5.10	12.43	5.89	17.53	15.58
PCY051031	6.34	1.21	0.41	2.55	3.02	9.02	4.19	14.35	12.76
PCY051101	5.45	1.00	0.19	1.11	0.51	7.53	2.64	6.82	5.45
PCY051102	4.71	0.90	0.19	1.12	0.34	6.08	2.48	6.42	5.24
PCY051103	5.25	0.94	0.19	1.02	0.28	8.39	3.26	5.80	4.48
PCY051104	4.01	0.68	0.19	1.20	5.13	2.92	10.76	13.92	12.92
PCY051106	6.63	1.21	0.55	1.42	4.14	4.52	6.57	27.15	25.48
PCY051107	3.00	0.76	0.70	1.60	6.38	3.83	6.69	30.25	29.50
PCY051108	1.44	0.39	0.21	1.06	3.39	1.84	7.51	13.76	13.39
PCY051109	1.98	0.49	0.42	1.95	3.35	2.78	6.51	19.96	19.46
PCY051110	1.39	0.43	0.33	2.44	7.71	1.32	11.87	26.99	26.64
PCY051111	2.64	0.59	0.49	1.67	4.32	2.73	6.80	21.78	21.11
PCY051112	2.19	0.53	0.14	1.38	1.49	4.42	7.24	3.13	2.58
PCY051113	5.01	0.95	0.19	1.50	0.60	9.11	4.36	4.38	3.12
PCY051116	10.83	1.64	0.24	1.98	0.56	19.43	4.43	7.94	5.22
PCY051117	11.97	1.68	0.30	1.27	0.38	19.45	2.98	9.46	6.45
PCY051119	12.09	1.72	0.29	1.73	0.35	21.00	3.67	7.88	4.84
PCY051120	11.50	1.58	0.26	2.15	0.66	19.36	4.04	10.10	7.20
PCY051121	7.89	1.42	0.57	2.51	1.90	10.73	4.27	18.94	16.96
PCY051122	7.09	1.38	0.73	2.45	3.76	10.23	3.78	24.33	22.54
PCY051123	4.15	0.79	0.75	3.10	6.39	2.69	8.77	28.98	27.93
PCY051125	2.26	0.63	0.74	3.08	7.76	2.79	9.88	24.53	23.97
PCY051126	1.85	0.47	0.58	2.33	7.00	1.90	4.12	22.50	22.03
PCY051127	5.13	0.89	0.48	1.36	5.35	5.69	8.45	22.13	20.84
PCY051128	5.48	0.90	1.01	10.20	9.44	10.18	13.72	25.81	24.43
PCY051129	8.18	1.33	0.35	4.06	1.24	15.24	5.29	10.32	8.26
PCY051130	6.45	1.00	0.42	1.22	0.61	9.48	4.43	9.53	7.91
PCY051201		0.73	0.21	0.87		6.12	6.49	10.78	10.78
PCY051202	5.51	0.87	0.33	1.08	1.49	6.29	3.83	13.83	12.44
PCY051203	7.54	1.14	0.42	1.94	2.46	12.75	7.02	12.09	10.20

附錄一

Sample Name	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	單位:	μg/m ³
								SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
PCY051204	6.48	0.97	0.66	5.17	4.53	13.12	9.34	13.05	11.42
PCY051206	9.63	1.41	0.59	1.88	3.15	12.69	10.98	14.85	12.43
PCY051207	5.71	0.92	0.74	2.08	3.34	9.25	10.82	12.17	10.73
PCY051208	5.66	0.82	0.59	1.24	1.67	8.14	3.22	10.35	8.92
PCY051209	1.34	0.27	0.15	0.61	0.38	3.30	2.38	1.41	1.07
PCY051210	4.65	0.72	0.44	0.85	0.98	7.88	5.29	6.00	4.83
PCY051211	7.50	1.10	0.46	1.53	3.57	11.41	5.43	16.18	14.29
PCY051212	6.79	1.02	0.55	2.54	4.37	11.23	9.06	14.25	12.54
PCY051213	6.34	1.00	0.82	4.06	7.23	10.28	16.01	16.96	15.36
PCY051214	6.47	0.89	0.89	4.00	6.73	14.67	19.23	14.48	12.85
PCY051215	5.80	0.83	0.89	4.73	4.78	10.20	14.78	11.29	9.83
PCY051216	5.04	0.72	1.02	3.49	3.25	8.15	10.10	8.75	7.48
PCY051217	8.95	1.12	0.35	1.75	0.82	15.82	5.00	6.17	3.92
PCY051218	6.72	0.84	0.16	0.64	0.19	12.61	8.19	9.97	8.27
PCY051219	7.04	0.81	0.38	1.08	3.07	12.61	5.76	7.93	6.16
PCY051221	6.15	0.80	1.40	6.25	6.78	11.31	13.98	12.47	10.92
PCY051222	3.89	0.64	0.22	2.58	0.94	8.17	4.06	4.25	3.27
PCY051223	2.34	0.40	0.31	2.26	1.09	3.37	5.22	6.28	5.69
PCY051224	1.74	0.36	0.27	1.61	2.00	2.17	7.24	8.31	7.88
PCY051225	3.51	0.60	0.65	2.07	5.23	5.23	10.30	13.08	12.20
PCY051226	6.39	0.99	0.42	1.88	2.21	9.64	6.71	13.00	11.39
PCY051227	13.75	1.71	0.51	1.63	0.33	21.02	3.67	9.68	6.22
PCY051229	7.72	0.81	1.30	1.37	0.40	12.69	2.65	3.21	1.27
PCY051230	5.74	0.80	0.36	0.81	0.12	11.21	1.65	2.20	0.75
PCY051231	4.69	0.94	0.33	1.23	0.38	6.58	1.55	8.26	7.08
PCY060101	3.39	0.78	0.39	1.97	0.93	2.46	4.13	13.52	12.67
PCY060102	6.65	0.80	2.77	2.48	2.99	3.60	4.23	20.83	19.16
PCY060105	4.51	0.75	0.50	2.03	2.57	5.99	4.40	10.07	8.94
PCY060107	5.12	1.19	0.64	2.87	2.77	6.07	5.40	16.17	14.88
PCY060108	3.39	0.79	0.44	1.36	0.72	3.55	1.72	9.19	8.33
PCY060109	3.46	0.85	0.40	2.22	3.45	4.21	10.43	12.29	11.41
PCY060110	2.74	0.63	0.30	1.43	0.64	3.69	1.49	6.18	5.49
PCY060111	8.45	1.49	0.61	0.44	0.18	13.40	2.29	5.66	3.53
PCY060112	4.56	0.81	1.42	1.45	0.34	6.49	3.37	3.51	2.36
PCY060113	4.99	0.96	0.84	1.67	8.13	3.33	7.46	29.84	28.58
PCY060114	4.12	0.83	0.63	1.38	3.60	0.96	2.24	27.68	26.64
PCY060115	4.71	0.90	0.45	1.27	2.48	3.49	4.86	16.15	14.96
PCY060116	4.04	0.85	0.41	1.50	2.31	2.83	3.10	16.61	15.59
PCY060117	3.81	0.73	0.83	1.25	0.29	4.59	2.21	5.34	4.38
PCY060118	4.58	0.86	0.87	1.22	0.37	6.48	2.37	4.75	3.60
PCY060119	5.30	1.00	0.28	0.84	0.31	8.33	2.51	4.26	2.93
PCY060120	7.10	1.30	0.37	1.21	0.11	11.81	1.65	4.61	2.82
PCY060121	5.90	1.10	0.50	1.33	0.45	8.40	1.71	8.18	6.69
PCY060122	8.45	1.66	0.36	1.24	0.24	12.33	2.16	7.77	5.65
PCY060123	11.93	1.85	0.51	1.80	0.49	17.70	1.86	8.39	5.39
PCY060124	3.54	0.64	0.27	0.92	0.29	4.90	1.34	4.50	3.61
PCY060125	5.73	1.07	0.83	1.03	0.72	6.40	2.15	9.16	7.71
PCY060126	6.22	1.13	0.69	1.64	1.62	5.86	3.73	15.11	13.54
PCY060127	5.80	1.03	1.58	1.97	5.93	4.52	4.47	27.15	25.69

附錄一

Sample Name	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	單位:	μg/m ³
								SO ₄ ²⁻	nss-SO ₄ ²⁻
PCY060128	9.32	1.97	0.93	1.34	2.66	12.86	3.82	17.88	15.54
PCY060129	3.12	0.62	0.42	0.84	0.81	4.69	1.34	5.76	4.97
PCY060130	3.48	0.68	0.33	0.76	0.18	4.86	1.30	3.67	2.79
PCY060131	6.68	1.05	1.42	1.31	2.34	5.46	3.42	17.36	15.68
PCY060201	7.14	1.44	0.74	2.17	2.15	3.86	2.06	27.24	25.44
PCY060202	3.86	0.93	0.48	1.35	2.12	2.61	1.52	17.75	16.78
PCY060203	5.82	1.05	0.27	0.94	0.73	7.01	1.45	10.52	9.06
PCY060204	4.61	0.89	0.19	0.85	0.26	6.49	0.84	5.26	4.10
PCY060205	3.38	0.74	0.27	0.79	0.95	3.88	3.48	6.52	5.67
PCY060206	0.64	0.09	0.27	0.45	0.12	1.04	0.86	1.88	1.72
PCY060207	6.18	1.21	0.40	1.94	2.70	9.01	5.83	10.55	9.00
PCY060208	4.19	0.83	0.39	1.17	1.05	6.57	2.44	7.59	6.53
PCY060209	3.05	0.80	0.44	0.93	0.84	4.07	1.90	11.44	10.67
PCY060210	2.95	0.66	0.35	0.52	1.21	3.39	2.94	8.91	8.16
PCY060211	3.50	0.82	0.73	2.29	3.75	4.33	4.14	14.59	13.71
PCY060212	5.25	1.12	0.62	2.45	5.10	5.75	4.70	20.20	18.88
PCY060213	4.24	0.81	0.91	1.54	3.52	3.48	6.26	13.24	12.17
PCY060214	7.58	1.33	0.31	0.97	0.97	9.76	2.06	8.90	6.99
PCY060217	10.99	1.82	0.54	2.69	0.17	17.58	1.63	6.97	4.21
PCY060219	4.72	0.97	0.40	1.22	0.22	7.51	1.18	3.71	2.52
PCY060220	5.32	0.81	1.51	1.34	1.19	4.94	2.86	8.97	7.63
PCY060221	4.89	0.93	0.46	2.67	2.82	5.25	12.03	10.71	9.48
PCY060222	7.09	1.39	0.40	1.56	1.95	6.10	4.12	15.71	13.93
PCY060223	4.33	0.92	0.29	1.44	0.64	6.38	1.58	6.94	5.85
PCY060224	3.50	0.56	0.72	1.03	0.49	5.28	2.28	2.17	1.29
PCY060225	4.63	0.86	0.48	0.90	0.97	5.69	3.58	7.39	6.23
PCY060226	11.11	1.65	0.48	1.32	0.54	15.94	2.12	8.03	5.23
PCY060227	10.24	1.45	0.52	0.87	0.45	14.58	1.97	6.93	4.36

附錄二、2005年3月至5月彭佳嶼海域大氣懸浮微粒金屬元素的地殼富集值

EF crust	Al	Fe	Na	Mg	K	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Cd	Pb	Cr
302	1	0.45	51	5.1	8	5.29	4.47	0.78	1.59	13.9	19.1	14.9	915	308	4.40
304	1	0.48	5	0.9	5	2.11	3.56	0.82	0.96	6.5	3.2	7.1	536	201	0.65
305	1	0.44	5	0.7	2	1.76	3.12	0.61	0.77	6.0	3.4	9.5	550	170	0.50
306	1	0.55	5	0.8	8	2.21	3.37	0.79	1.16	6.9	13.1	13.3	922	182	0.80
307	1	0.57	9	1.2	6	2.23	3.79	0.82	1.33	8.9	8.1	14.9	1351	402	1.29
310	1	0.77	23	2.5	8	3.07	4.04	0.97	1.92	17.9	20.7	14.7	1010	439	8.42
313	1	0.76	18	1.9	7	3.10	3.65	0.88	1.39	6.1	7.7	13.2	909	447	1.32
314	1	0.75	24	2.4	17	3.30	3.48	0.96	1.50	10.2	16.6	37.7	1209	474	0.75
316	1	0.99	33	3.3	15	3.85	6.88	0.45	2.36	28.4	26.3	44.0	2885	770	3.50
317	1	0.67	9	1.3	5	2.41	3.32	0.88	1.29	7.7	4.5	4.8	890	303	1.01
318	1	0.64	12	1.5	5	2.02	3.19	0.83	0.92	5.9	3.9	6.1	552	135	0.66
319	1	0.64	13	1.6	6	2.15	3.10	0.83	1.01	8.0	4.7	4.2	338	39	0.75
320	1	0.64	16	1.9	4	2.14	2.45	0.96	0.91	5.3	4.0	3.5	574	220	0.80
321	1	0.85	12	1.5	9	1.91	3.20	0.96	1.24	10.7	9.1	33.0	885	335	1.61
322	1	0.82	22	2.3	8	3.12	3.82	0.93	1.86	10.4	6.2	10.2	1211	538	1.52
325	1	1.11	65	6.1	8	5.83	3.13	1.02	1.14	5.6	9.6	12.2	499	546	1.85
327	1	1.18	24	2.5	20	2.97	5.34	0.96	2.84	20.2	23.7	66.3	4061	1407	8.22
328	1	0.79	48	4.4	11	4.34	3.64	0.94	1.95	13.6	11.8	10.3	1672	764	2.57
401	1	1.21	149	13.4	20	11.19	4.06	0.90	1.75	36.8	72.7	19.2	817	710	8.94
402	1	0.84	13	1.6	15	2.91	4.33	1.02	1.67	14.1	10.8	21.6	1173	478	2.59
403	1	0.88	26	3.0	8	3.56	3.52	1.00	1.45	10.6	7.0	2.9	839	351	1.72
404	1	0.91	46	4.4	13	5.40	4.87	0.85	1.12	4.3	11.7	13.8	888	320	2.89

附錄二

EF crust	Al	Fe	Na	Mg	K	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Cd	Pb	Cr
405	1	1.31	42	4.5	11	4.95	4.35	1.02	1.36	15.8	11.5	20.6	781	454	2.57
406	1	0.83	46	4.4	35	4.90	4.16	1.03	1.37	19.3	29.9	72.1	1254	390	3.56
407	1	1.16	41	4.6	20	4.65	3.48	1.12	1.50	16.7	19.8	39.9	657	290	5.22
408	1	1.19	102	9.8	22	8.63	2.29	1.14	1.31	7.9	24.6	18.6	467	303	5.57
409	1	0.97	59	5.3	49	5.42	4.67	0.85	1.19	18.5	26.7	129.3	685	210	3.27
410	1	0.74	13	1.9	6	2.29	2.21	0.68	1.39	10.4	5.5	2.9	282	6	0.45
411	1	0.55	2	0.6	4	0.89	2.34	0.88	0.82	7.1	3.3	3.7	95	37	0.53
412	1	0.80	5	0.9	8	1.80	3.71	0.96	1.42	11.5	31.6	16.3	866	384	1.37
413	1	0.74	3	0.9	9	2.13	3.48	0.85	1.32	9.0	5.7	12.3	667	336	1.24
414	1	0.69	2	0.9	7	1.95	3.07	0.91	1.19	7.5	4.7	7.2	651	278	1.10
415	1	0.73	3	1.0	4	1.79	2.85	0.92	1.08	8.8	4.8	3.8	556	251	0.98
418	1	0.84	26	2.7	5	1.98	0.60	1.03	0.41	5.2	5.6	8.9	463	270	0.33
419	1	0.73	12	1.7	7	2.59	3.62	0.91	1.20	10.0	31.8	14.2	740	302	0.99
422	1	0.59	29	2.6	21	2.73	1.46	0.53	0.76	3.9	8.6	32.2	467	222	1.73
423	1	0.89	68	6.5	6	5.32	0.78	0.81	0.77	6.5	7.5	4.7	500	387	1.99
424	1	0.89	33	3.4	6	3.25	3.26	0.79	1.02	8.2	22.0	20.6	454	241	3.45
425	1	0.91	60	5.6	18	4.66	1.85	0.91	1.24	14.7	12.6	7.7	1177	317	2.65
426	1	0.74	13	1.9	5	2.67	2.77	0.84	0.98	2.1	6.3	7.2	372	139	1.77
427	1	0.55	15	1.8	6	2.07	1.98	0.54	0.62	4.9	7.2	12.2	360	95	1.00
428	1	1.07	26	2.8	9	3.01	2.32	1.02	1.57	5.9	15.4	24.1	1043	498	3.59
429	1	1.11	37	2.9	61	3.65	5.52	1.12	2.09	21.2	26.5	86.4	1131	553	3.00
430	1	0.99	44	4.2	17	3.99	3.25	1.00	1.81	15.6	15.7	25.3	345	186	3.66

附錄二

EF crust	Al	Fe	Na	Mg	K	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Cd	Pb	Cr
501	1	1.08	79	7.5	11	6.22	2.77	1.26	1.34	7.2	12.4	12.0	643	383	3.41
502	1	0.75	10	1.3	6	1.72	2.64	0.97	0.92	5.8	6.2	6.6	311	130	1.30
503	1	0.72	8	1.2	13	1.64	2.85	0.95	1.08	9.1	8.0	18.8	369	154	1.38
504	1	0.92	11	1.4	6	1.65	2.70	1.05	1.37	11.8	13.7	34.6	557	258	3.43
505	1	1.13	88	8.3	15	6.70	4.15	1.26	1.47	7.1	15.0	11.6	327	49	3.58
506	1	1.03	23	2.5	8	2.17	2.12	0.89	1.01	18.5	37.7	20.7	229	93	29.58
511	1	0.85	45	4.6	11	3.99	1.75	0.65	1.55	19.6	29.0	91.3	1680	473	11.09
513	1	1.60	120	10.1	32	9.58	1.90	0.81	1.34	48.2	148.7	84.7	1427	717	9.37
520	1	1.38	48	5.1	24	5.13	5.79	0.89	2.24	8.6	18.9	31.4	3568	922	3.26
521	1	1.75	32	2.9	17	2.94	1.88	0.78	1.58	5.1	23.9	61.7	3596	540	5.32
522	1	0.99	28	2.6	20	3.92	7.12	0.98	2.22	11.9	37.4	65.9	4937	1264	5.23
523	1	1.48	529	43.0	123	35.75	9.25	0.90	9.13	43.5	42.5	7.3	9872	105	7.05

附錄三、2005年3月至5月彭佳嶼海域大氣懸浮微粒金屬元素的海水富集值

EFsea	Al	Fe	Na	Mg	K	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Cd	Pb	Cr
302	157252	99233	1	1.15	1.58	1.52	348	38526	10435	4704	9393	3483	16788	768006	12688
304	1588488	1076747	1	2.12	11.14	6.11	2807	408570	63684	22400	15852	16863	99248	5058880	18839
305	1499774	930905	1	1.54	4.43	4.81	2320	289105	48314	19419	16001	21231	96317	4039083	13723
306	1582985	1221998	1	1.91	16.18	6.38	2648	393145	76454	23645	64789	31422	170247	4560948	23120
307	862989	683567	1	1.43	6.29	3.50	1622	223156	47766	16637	21739	19077	136053	5506194	20457
310	356008	382557	1	1.27	3.67	1.99	713	109466	28528	13739	23057	7794	41968	2481436	55041
313	438939	466746	1	1.22	3.79	2.48	795	121436	25357	5816	10527	8646	46527	3113452	10663
314	340841	358657	1	1.19	7.35	2.05	588	103370	21335	7512	17629	19098	48079	2564223	4674
316	241929	333995	1	1.16	4.79	1.70	826	34101	23837	14845	19850	15835	81435	2957660	15552
317	893701	833759	1	1.72	5.99	3.93	1471	248459	47894	14813	12591	6320	92826	4302275	16623
318	672640	600374	1	1.45	4.11	2.47	1064	176497	25706	8618	8273	6106	43336	1437981	8208
319	643406	573919	1	1.45	4.77	2.52	990	168723	26978	11109	9522	3978	25391	402023	8887
320	516392	463638	1	1.38	2.44	2.01	629	155873	19563	5892	6521	2724	34569	1801756	7595
321	651816	779268	1	1.43	7.17	2.26	1034	196420	33778	15026	18512	32055	67316	3470004	19233
322	363260	416420	1	1.20	3.65	2.06	688	107038	28171	8125	7013	5496	51313	3100432	10149
325	124040	193165	1	1.09	1.23	1.32	193	39982	5901	1505	3733	2248	7226	1075813	4215
327	332540	549986	1	1.21	8.74	1.80	880	101008	39384	14479	24673	32820	157536	7428909	50195
328	168792	186116	1	1.08	2.31	1.33	305	50082	13681	4939	6240	2590	32927	2045882	7957
401	54012	91451	1	1.04	1.40	1.10	109	15270	3946	4289	12268	1544	5147	609099	8865
402	605915	708769	1	1.39	11.81	3.21	1302	195392	42128	18389	20395	19481	82918	4596142	28754
403	306488	379070	1	1.32	3.10	1.99	534	96674	18519	7033	6704	1313	30006	1706564	9689
404	175848	224655	1	1.12	2.87	1.73	425	47221	8195	1626	6439	3599	18212	893245	9323

附錄三

EFsea	Al	Fe	Na	Mg	K	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Cd	Pb	Cr
405	191767	351595	1	1.25	2.63	1.73	414	61871	10836	6554	6904	5884	17478	1380748	9030
406	176953	205519	1	1.12	8.08	1.58	365	57548	10121	7355	16535	18987	25891	1094479	11572
407	195240	316728	1	1.29	4.94	1.65	337	68873	12165	7018	12071	11604	14972	898344	18715
408	79207	132515	1	1.12	2.26	1.24	90	28388	4318	1349	6099	2195	4318	381391	8096
409	137130	186640	1	1.05	8.63	1.35	318	36722	6796	5481	11455	26381	10962	456735	8221
410	625203	643882	1	1.69	5.17	2.61	686	134807	36251	14033	10805	2744	20581	56131	5145
411	3500685	2672672	1	3.10	18.71	5.64	4058	968062	119870	53421	36189	19209	38601	2049539	33776
412	1667081	1867326	1	2.07	17.32	5.46	3067	502513	98454	41298	164613	40472	168495	10148274	41849
413	2312637	2390518	1	2.86	28.25	8.96	3994	623779	127116	44957	41473	42335	179828	12318239	52450
414	3299897	3197337	1	4.04	28.88	11.73	5018	949533	163933	53225	47965	35316	250470	14552327	66375
415	2520748	2561142	1	3.44	13.50	8.21	3569	733688	113881	47677	37461	14258	163466	10053132	45407
418	312859	368549	1	1.20	2.08	1.13	94	101921	5349	3519	5490	4129	16893	1342056	1877
419	661990	672932	1	1.60	6.35	3.12	1188	191014	33170	14297	65768	13980	57190	3177205	12073
422	281989	231408	1	1.06	7.58	1.40	205	47408	8925	2399	7581	13499	15355	991657	8957
423	118294	148098	1	1.10	0.89	1.15	46	30263	3794	1666	2759	833	6898	727125	4311
424	241456	300382	1	1.18	1.77	1.43	391	60076	10226	4288	16617	7385	12782	923159	15268
425	133945	171188	1	1.07	3.16	1.14	123	38408	6900	4259	5290	1533	18399	674631	6516
426	616562	641508	1	1.69	3.58	2.99	848	163780	25102	2789	12161	6620	26776	1361112	20082
427	555595	426497	1	1.42	4.15	2.10	545	95480	14307	5877	12555	10122	23359	837033	10220
428	305882	456683	1	1.25	3.56	1.68	351	98592	19997	3875	14727	10955	37204	2418282	20152
429	215533	334360	1	0.88	17.07	1.43	590	76163	18725	9876	17856	27705	28443	1890915	11851
430	185107	256458	1	1.13	3.94	1.34	298	58141	13976	6212	9069	6957	7454	546624	12423

附錄三

EFsea	Al	Fe	Na	Mg	K	Sr	Ba	Ti	Mn	Co	Ni	Cu	Cd	Pb	Cr
501	101775	153969	1	1.10	1.45	1.15	140	40348	5664	1591	3946	1824	7637	619440	6364
502	806568	842148	1	1.55	6.24	2.53	1058	247486	30834	10170	15620	7919	29288	1665096	19254
503	964607	974238	1	1.63	16.02	2.88	1364	289876	43472	18860	24235	27032	41492	2363771	24518
504	762105	980274	1	1.48	5.40	2.30	1022	252425	43516	19358	32521	39232	49556	3117882	48007
505	91679	145748	1	1.09	1.82	1.12	189	36305	5598	1414	4298	1583	3497	71630	6032
506	351471	509097	1	1.26	3.83	1.39	369	98438	14813	14063	41438	10844	9375	518753	190782
511	181041	215756	1	1.18	2.64	1.32	157	37111	11700	7675	16407	24605	35474	1359843	36839
513	67294	151149	1	0.98	2.78	1.17	63	17255	3754	7003	31261	8478	11205	765642	11578
520	166572	322848	1	1.22	5.21	1.56	478	46646	15523	3083	9849	7774	69339	2437380	9981
521	252334	617234	1	1.05	5.39	1.35	235	62201	16653	2757	18859	23160	105875	2161606	24631
522	284985	394364	1	1.07	7.21	2.03	1006	88233	26382	7328	33271	27945	164155	5716124	27359
523	15266	31559	1	0.94	2.42	0.99	70	4319	5810	1433	2026	166	17582	25481	1975