

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高級中等學校組 地球與行星科學科

佳作

051910

「清」出於「蘭」- 宜蘭地區之氣粒狀污染物於  
不同時間尺度下之研究

學校名稱：國立宜蘭高級中學

作者：  高二 呂柏諺  高二 何昌倫  高二 李德威	指導老師：  林國華
---	------------------

關鍵詞：空氣品質指標污染物、光化學反應、  
時序分析

## 摘要

雪隧通車後，宜蘭居民對於遊客增加及房地產價格飆漲有深切感受，而近年環保意識抬頭、群眾更關切空污議題，我們當然也不例外。

我們以宜蘭、冬山測站為研究測站，並以空氣品質指標污染物為研究對象，後以不同時序作分析。其中，在逐時的研究裡，氮氧化物、臭氧受光化學反應的影響甚大；二氧化硫則較多來自於工業區的固定污染源，並易受海陸風吹拂而影響其動向；而懸浮微粒及細懸浮微粒的逐時變化量並不明顯，但只要屬境外移入的沙塵事件發生，便會使污染物濃度在2~3天內維持較高的狀態。

未來，我們希望將近來關注度頗高的議題「深澳火力發電廠的重啟與否？」納入研究，試圖探討其對宜蘭地區是否有重大影響，並提出相關建議。

## 壹、 研究動機

交通運輸的革新一尤其是雪山隧道的開通，就短期來說，對先天依山傍水的宜蘭帶來了觀光財，無非是錦上添花。但就長遠來說，工業的興起、遊客的日以俱增也肯定會對環境造成危害。身為土生土長的宜蘭人，已是高中生的我們也漸能理解到環境保護的重要性，並能利用地科背景知識以探討和分析工業及車流量的增加，所造成小範圍的大氣成分改變、及其對環境形成的污染。在參採相關文獻後，我們想要彙整、分析相關觀測資料，並進行系統性的討論，乃至能提出具體的因應之道及結合深澳電廠的相關議題進行研究。

## 貳、 研究目的

本研究在觀測資料選取上，以雪山隧道開通年（2006年）為基準，前後各取十年的資料（即1996年~2016年），以下列不同的時間尺度為基礎做分析，並研究其中的關連性：

### 一、逐年：

自環保署\_空品監測網取得之空氣品質指標污染物（後簡稱為**污染物**）觀測數據，分析、彙整以檢視各污染物是否為大眾直觀認為地逐年上升。

## 二、逐時：

將取樣時間內之逐時資料平均，以觀察一天當中的汙染物濃度高低變化。

## 三、雪山隧道開通前、後逐時：

大致同上，特別分類出雪隧開通前、後，以檢視雪隧開通前、後之差異。

## 四、逐季：

將不同年份、相同季節資料平均，以觀察汙染物濃度變化是否存在季節性差異。

季節定義：春季為3-5月；夏季為6-8月；秋季為9-11月；冬季則為12月-隔年2月。

## 五、周末效應：

定義平日為周一 ~周五，周末為週六~週日，以研究平日與周末的車流量差異或工廠運作與否所造成的汙染物濃度變化。

## 六、逐時海、陸風影響程度：

將每個時段的原始風向、風速資料以滑動平均處理，與汙染物疊圖分析，以比較宜蘭、冬山的地域性差異，如海陸風差異、鄰近工業區與否等。

# 參、 研究設備及來源

## 一、研究使用軟體

(一) Excel：數據演算、相關性分析、趨勢變化比較、繪製圖表

(二) Word：文字記錄、報告彙整

(三) Google Map：查閱測站之地理位置及周遭環境

## 二、觀測資料來源

(一) 行政院環境保護署 空氣品質監測 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/tw/default.aspx>

(二) 環境資源資料庫 <https://erdb.epa.gov.tw/FileDownload/FileDownload.asp=x>

(三) TEDS9.0 資料庫 [https://teds.epa.gov.tw/new\\_main2-0-1.htm](https://teds.epa.gov.tw/new_main2-0-1.htm)

(四) 國家環境毒物研究中心 <http://nehrc.nhri.org.tw/toxic/>

(五) 大氣水文研究資料庫 <https://dbahr.narlabs.org.tw/>

## 肆、 研究過程與方法

### 一、文獻探討

#### (一) 空氣品質測站類型簡介

根據環保署的定義，空氣品質測站分為一般、工業、交通、國家公園、背景和其他等六種空氣品質監測站，介紹如下：

1. 一般空氣品質監測站：

設置於人口密集、可能發生高污染或能反映較大區域空氣品質分布狀況之地區，以表示一般民眾生活環境之空氣品質。

2. 工業空氣品質監測站：

設置於工業區之盛行風下風區，以了解工業污染之影響。

3. 交通空氣品質監測站：

設置於交通流量頻繁之地區，以反映行人曝露狀態之空氣品質。

4. 國家公園空氣品質監測站：

設置於國家公園內適當地點，以了解保護區內空氣品質現況及未來變化趨勢。

5. 背景空氣品質監測站：

設置於較少人為污染地區或總量管制區之盛行風上風區，以監測其上風所挾帶之污染量。其佈設點均特別避開鄰近污染源之影響，以反映大尺度之空氣品質狀態，研判有無台灣以外地區長程傳輸而來的污染。

6. 其他空氣品質監測站：

埔里、關山及其他特殊監測目的所設之空氣品質監測站。其他較為特殊空氣品質監測站包括：移動式監測車、研究型監測站等。

(二) 本研究的測站為宜蘭及冬山測站，均屬一般空氣品質測站，地理位置如圖 4-1-1 所示。

圖 4-1-1



我們以宜蘭地區宜蘭及冬山測站為研究對象，地理位置如圖 4-1-2、4-1-3 所示。宜蘭測站位在宜蘭市中心；冬山測站則在宜蘭的兩大工業區附近（其中利澤工業區以食品加工業為主，龍德工業區以重工業為主）。

除了比較居住區與工業區的差異，我們也期待能看到居住區的「車流量」與工業區的「重工業」所造成的地域性差異。

圖 4-1-2 宜蘭測站位置

圖 4-1-3 冬山測站位置



(三) 本研究以環保署所訂之 AQI 空氣品質指標中的 8 種指標污染物為研究對象：

表 4-1-1 空氣品質指標污染物

名稱	化學式	單位	名稱	化學式	單位
氮氧化物	NO <sub>x</sub>	ppb	臭氧	O <sub>3</sub>	ppb
一氧化氮	NO	ppb	一氧化碳	CO	ppm
二氧化氮	NO <sub>2</sub>	ppb	懸浮微粒	PM <sub>10</sub>	μg/m <sup>3</sup>
二氧化硫	SO <sub>2</sub>	ppb	細懸浮微粒	PM <sub>2.5</sub>	μg/m <sup>3</sup>

(四) 空氣品質指標汙染物簡介與健康影響：

表 4-1-2 各空氣品質指標汙染物彙整

<b>CO 一氧化碳</b>	
性質	無色、無味、無臭、無刺激性的氣體。
來源	以化石燃料不完全燃燒及汽車所排放的廢氣燃燒不完全為主。
健康影響	頭痛、噁心、嘔吐，甚至可能會有生命危險。
<b>NO<sub>x</sub> 氮氧化物</b>	
性質	<b>NO</b> 無色無味，稍溶於水。 <b>NO<sub>2</sub></b> 具刺激味道、赤褐色氣體，易溶於水，是造成酸雨的主因之一。
來源	機動車排氣、燃燒化石燃料過程的高溫造成氮或氮氧化物氧化而成。
健康影響	短暫灼傷、痙攣、喉間組織及上呼吸道腫脹、體內組織缺氧、體液累積在肺中及死亡。
<b>SO<sub>2</sub> 二氧化硫</b>	
性質	具刺激臭味之無色氣體。易溶於水，是引起酸雨的主要物質之一。
來源	大部分來自發電廠燃燒煤礦和石油。
健康影響	會影響到肺部，而若接觸到高濃度的 SO <sub>2</sub> 可能會導致鼻子、喉嚨的灼傷、呼吸困難以及嚴重的呼吸道阻塞。
<b>O<sub>3</sub> 臭氧</b>	
性質	在常溫下是一種有特殊臭味的淡藍色氣體，微溶於水。
來源	O <sub>2</sub> 與 O <sub>2</sub> 受日光照射後分解出的氧原子或 NO <sub>2</sub> 藉吸收紫外光分解出的氧原子結合，生成 O <sub>3</sub> 。
健康影響	具強氧化力，對呼吸系統具刺激性，能引起咳嗽、氣喘、頭痛及肺部傷害。
<b>PM<sub>2.5</sub> 細懸浮微粒</b>	
性質	指粒徑 2.5 μm 以下之粒子，易吸附有毒害的物質。
來源	可分為自然產生、人為產生及大氣化學產生。
健康影響	沉積於肺部後依其不同物理及化學特性產生不一樣病症。
<b>PM<sub>10</sub> 懸浮微粒</b>	
性質	指粒徑在 10 μm 以下之粒子，又稱浮游塵。
來源	道路揚塵、車輛排放廢氣、露天燃燒等。
健康影響	會對呼吸系統和心血管系統造成傷害。

## (五) 大氣中的化學反應

### 1. 光化學反應

- (1) 當二氧化氮遇到波長小於430奈米的光(包含紫外線及部分紫光)會被分解為一氧化氮及氧原子，其反應如下：



- (2) 當氧氣分子遇到氧原子會形成臭氧分子，其反應如下：



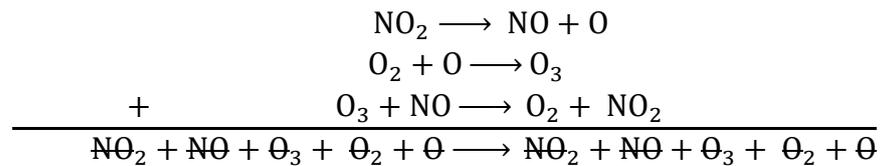
- (3) 當臭氧遇到一氧化氮生成氧氣及二氧化氮，其反應如下：



- (4) 臭氧被分解為氧氣分子及氧原子，其反應如下：



- (5) 合併〔式(1)、式(2)、式(3)〕，可知其為一循環反應。



- (a) 其中若大氣中僅有  $\text{NO}_x$  而沒有  $\text{VOC}_s$  (揮發性有機物；一大氣壓下，測量所得初始沸點在攝氏250度以下有機化合物之空氣污染物總稱) 存在，對流層中  $\text{O}_3$  濃度將無法累積。
- (b) 但若大氣中有  $\text{VOC}_s$  存在，則可與  $\text{NO}$  進行反應而將  $\text{NO}$  轉換生成  $\text{NO}_2$  降低空氣中  $\text{NO}$  的濃度，進而導致  $\text{NO}_2$  濃度增加，而使  $\text{O}_3$  在大氣中累積，則可歸納出簡單一反應式如下：



### 2. 其他反應

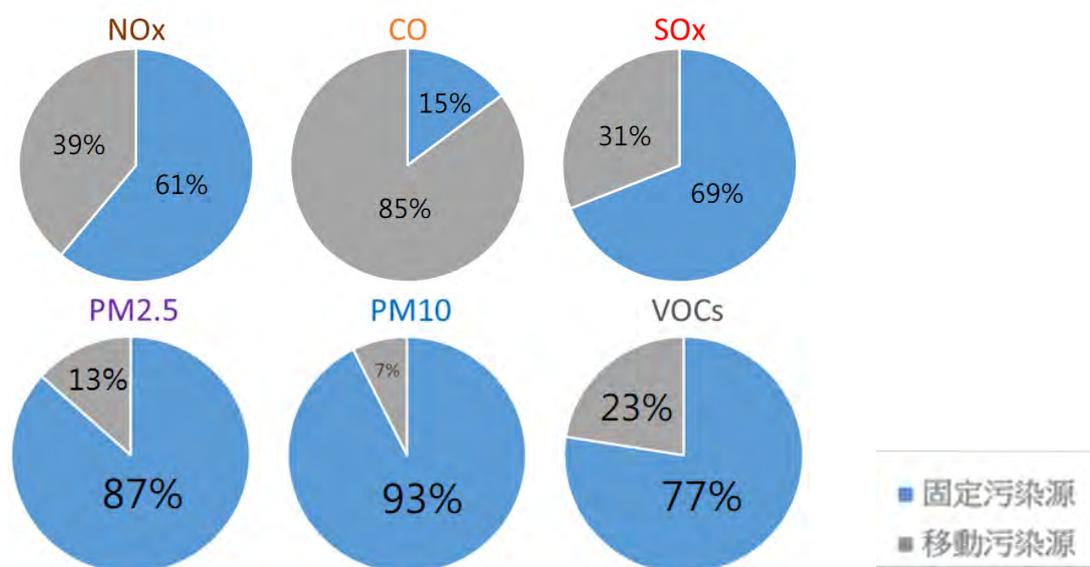
- (1) 當一氧化碳遇到二氧化氮進行反應生成二氧化碳及一氧化氮，其反應如下：



(六) 欲了解一個污染物的排放情況，應先了解其排放源。

透過彙整 TEDS9.0 資料庫的資料，將污染物的排放源分為固定污染源及移動污染源（移動式污染源泛指會隨著風或空氣而移動，如汽機車排放；固定式污染源則泛指不會移動之污染來源，如工廠）彙整成以下圓餅圖討論，如圖 4-1-4 所示。

圖 4-1-4 空氣品質指標污染物排放源



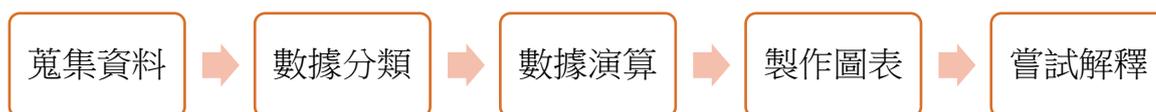
從上方的圓餅圖及圖中所示比例，可看出 NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>和 VOCs 的排放源主要為固定污染源，僅 CO 排放源主要為移動污染源。

## 二、研究方法

(一) 針對龐大的數據我們如何分析？

分析方法的流程圖大致如下所示，

其中數據演算包括平均、計算相關係數等。



(二) 了解到污染物排放源後，接續分析來自境外、境內之污染物有其必要性。

特別是近年來常聽到中國大陸的沙塵(也就是  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ )，經常大規模飄移至台灣，造成空品狀況不佳的問題。因其屬於粒狀污染物，不同於  $NO_x$ 、 $CO$ 、 $O_3$  等氣狀物染物容易在大氣中有化學變化，故能傳輸地較遠。

新北市的萬里測站，地理位置如圖 4-2-1、2 所示：北鄰東海（為上風區）、南方受山地環繞（開發較少、且外地之污染不易擴散至此），故我們能以此「背景測站」，與我們欲研究的宜蘭、冬山測站相比較。

圖 4-2-1



圖 4-2-2



其中我們以 [ 2018/4/6~8 ]、[ 2010/3/21~23 ]、[ 2009/4/25~26 ] 三個近年來較嚴重的沙塵事件，以逐時濃度疊圖比較三測站之變化（圖 4-2-3~4-2-8）。

圖 4-2-3 三測站  $PM_{2.5}$  2009/04/25~26 沙塵事件

圖 4-2-4 三測站  $PM_{10}$  2009/04/25~26 沙塵事件

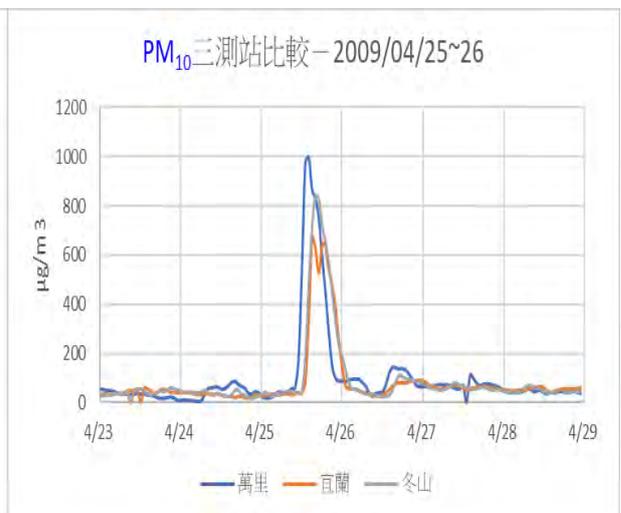
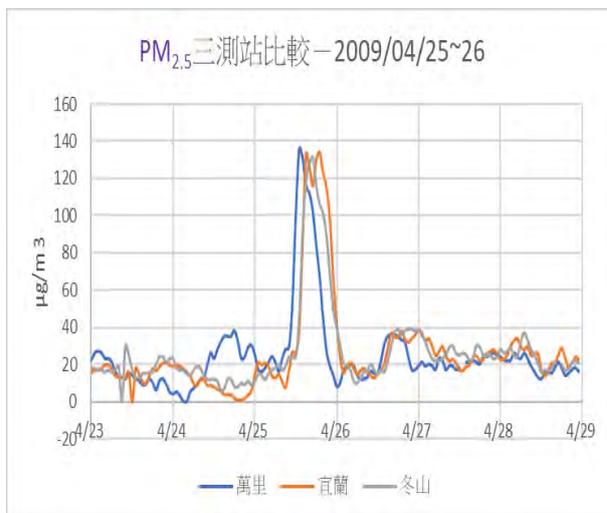


圖 4-2-5 三測站 PM<sub>2.5</sub> 2010/03/21~23 沙塵事件



圖 4-2-6 三測站 PM<sub>10</sub> 2010/03/21~23 沙塵事件

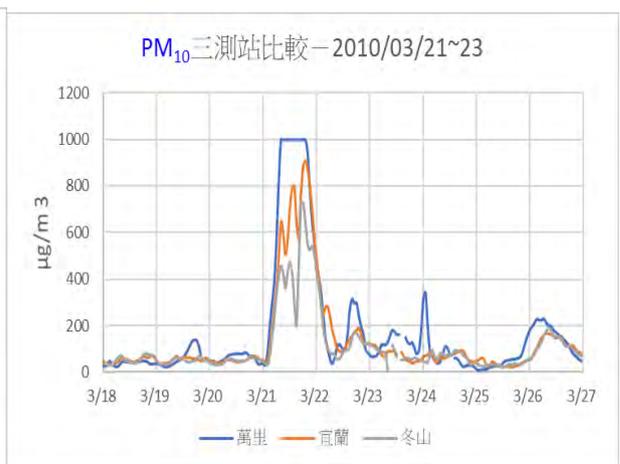


圖 4-2-7 三測站 PM<sub>2.5</sub> 2018/04/06~08 沙塵事件

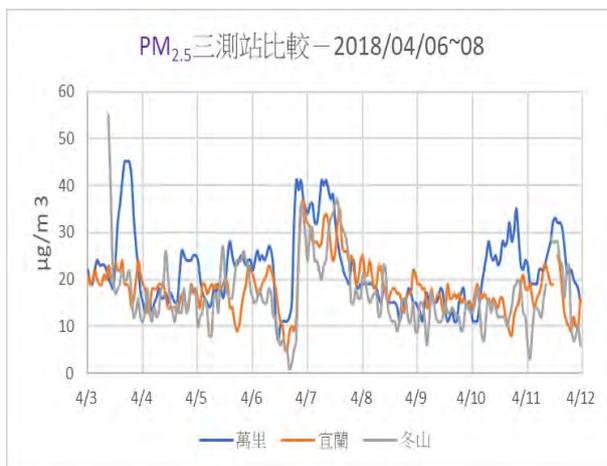
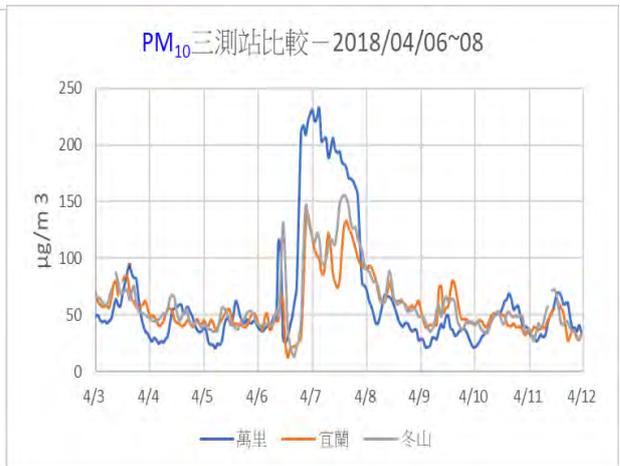


圖 4-2-8 三測站 PM<sub>10</sub> 2018/04/06~08 沙塵事件



由圖 4-2-3~4-2-8 可知，境外沙塵事件發生時，PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 濃度飆升顯著。

此外，宜蘭及冬山測站在境外沙塵傳遞途徑相對萬里測站較遠，在圖中也能看到宜蘭、冬山測站的高峰顯得比萬里測站晚一些，因此更能驗證這些沙塵是源自於中國大陸。

另透過行政院環保署－沙塵網站對於沙塵事件的介紹，得知沙塵影響期間，PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 濃度均會上升，但以 PM<sub>2.5-10</sub> 增加較多，故以 PM<sub>10</sub> 之逐時濃度圖更能代表沙塵事件的發生與否。

因此，我們可以得知，雖然沙塵事件不是時常有，但在此類境外移入事件發生時，容易使得較為乾淨的宜蘭、冬山測站之 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 出現異常高濃度值。

## 伍、 研究結果與討論

### 一、 宜蘭測站、冬山測站—逐年濃度比較:

#### (一) 各污染物逐年濃度圖 (資料年份為 1993~2017 年)

圖 5-1-1 冬山宜蘭測站  $\text{NO}_2$  逐年濃度比較 圖 5-1-2 冬山宜蘭測站  $\text{NO}$  逐年濃度比較



圖 5-1-3 冬山宜蘭測站  $\text{NO}_x$  逐年濃度比較

圖 5-1-4 冬山宜蘭測站  $\text{CO}$  逐年濃度比較



圖 5-1-5 冬山宜蘭測站  $\text{O}_3$  逐年濃度比較

圖 5-1-6 冬山宜蘭測站  $\text{SO}_2$  逐年濃度比較



圖 5-1-7 冬山宜蘭測站 PM<sub>2.5</sub>逐年濃度比較

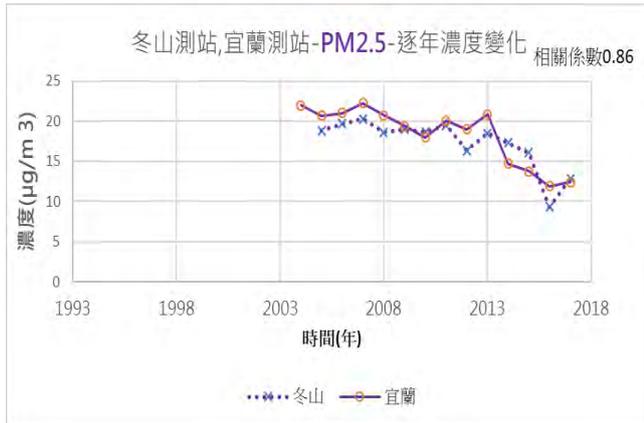


圖 5-1-8 冬山宜蘭測站 PM<sub>10</sub>逐年濃度比較



## (二) 觀察與討論

1. NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 分別可從〔圖 5-1-1~ 圖 5-1-3〕觀察到汙染物濃度值大致上皆為冬山測站高於宜蘭測站，且濃度皆為逐年下降，由於空汙法徵收空汙費，又根據交通工具空氣汙染物排放標準中規定，已針對此項汙染物排放進行管制，因此呈現下降趨勢。
2. 從〔圖 5-1-4〕來看，CO 在宜蘭和冬山兩測站中濃度差異不大，且濃度皆為逐年下降。同樣地根據交通工具空氣汙染物排放標準中規定，已針對此項汙染物排放進行管制，因此呈現下降趨勢。
3. 在〔圖 5-1-5〕中，宜蘭測站的 O<sub>3</sub> 濃度值皆高於於冬山測站，且在宜蘭、冬山兩測站濃度皆為逐年上升，與氮氧化物系列有著相反的趨勢。
4. 觀察〔圖 5-1-6〕，SO<sub>2</sub> 濃度變化較無明顯趨勢，而濃度值大致上是冬山測站濃度高於宜蘭測站。冬山測站東側有著龍德與利澤工業區，其皆有著對宜蘭地區硫氧化物濃度影響最大的化學材料製造業，使得冬山測站 SO<sub>2</sub> 濃度大於宜蘭測站。
5. 從〔圖 5-1-7〕中，PM<sub>2.5</sub> 在兩測站皆有明顯逐年下降趨勢。依據固定汙染源逸散性粒狀汙染物空氣汙染防制設施管理辦法，規範固定汙染源應設置或採行空氣汙染防制措施，使 PM<sub>2.5</sub> 濃度在此有顯著下降趨勢。
6. 由〔圖 5-1-8〕可知，PM<sub>10</sub> 在冬山測站浮動較大，不過大致上是逐年下降，而宜蘭測站逐年濃度起伏十分平穩。兩地間相關係數僅 0.51，顯示出影響 PM<sub>10</sub> 濃度的因素在兩地可能有所不同。

二、宜蘭、冬山測站—逐時濃度比較:

(一) 各污染物逐時濃度圖 (資料年份為 1996~2016 年)

圖 5-2-1 冬山宜蘭測站 NO<sub>2</sub> 逐時濃度比較

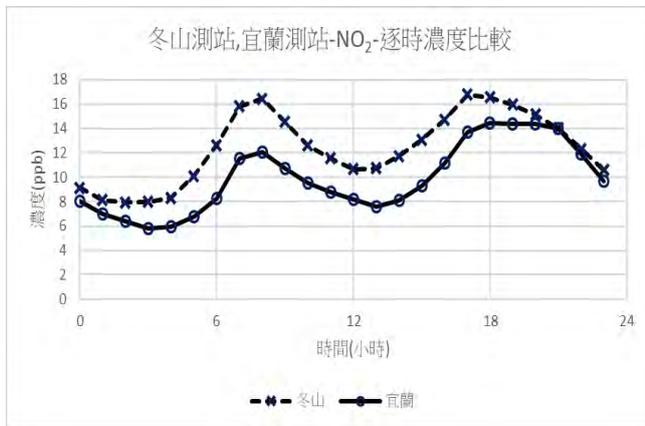


圖 5-2-2 冬山宜蘭測站 NO 逐時濃度比較

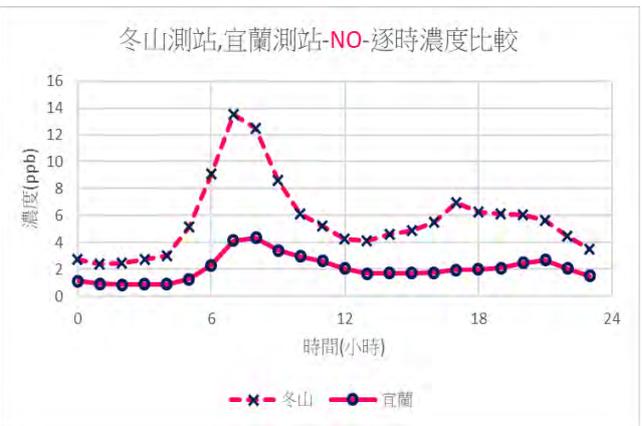


圖 5-2-3 冬山宜蘭測 NO<sub>x</sub> 站逐時濃度比較

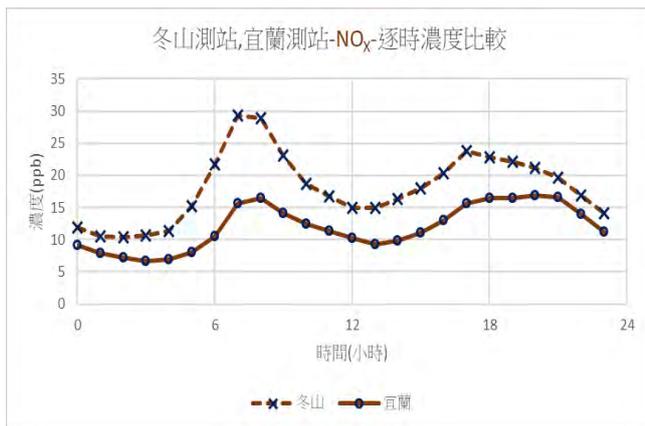


圖 5-2-4 冬山宜蘭測站 CO 逐時濃度比較

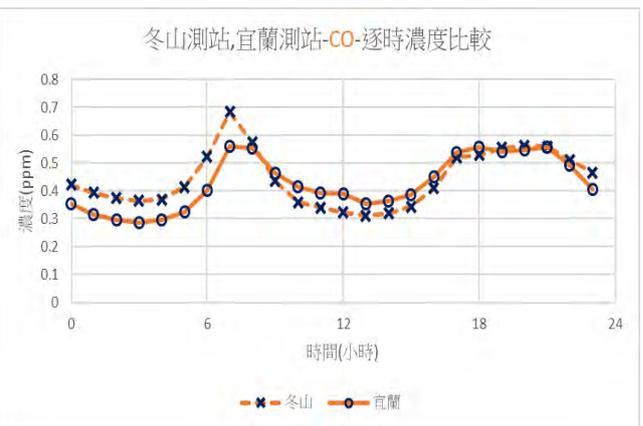


圖 5-2-5 冬山宜蘭測站 O<sub>3</sub> 逐時濃度比較

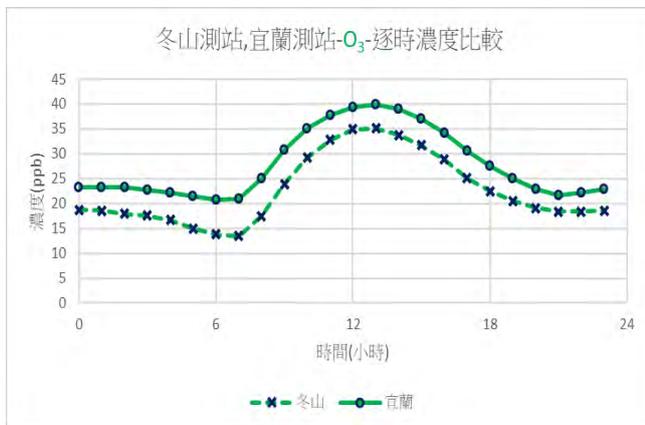


圖 5-2-6 冬山宜蘭測站 SO<sub>2</sub> 逐時濃度比較

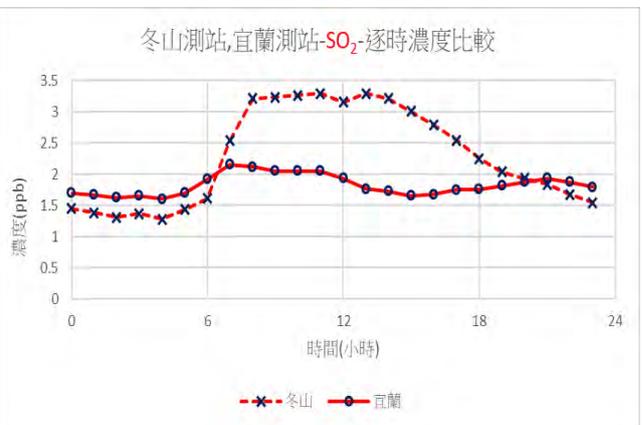


圖 5-2-7 冬山宜蘭測站 PM<sub>2.5</sub> 逐時濃度比較

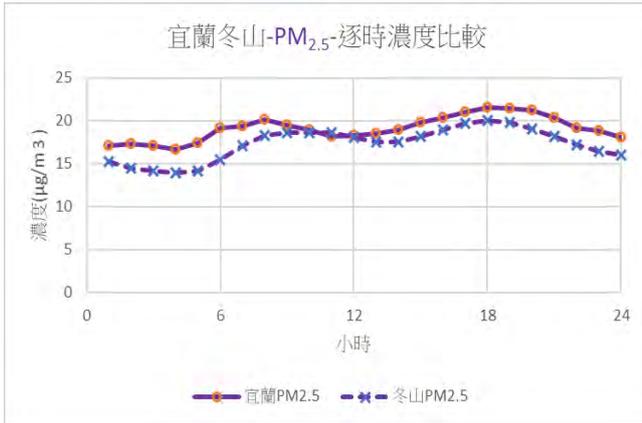
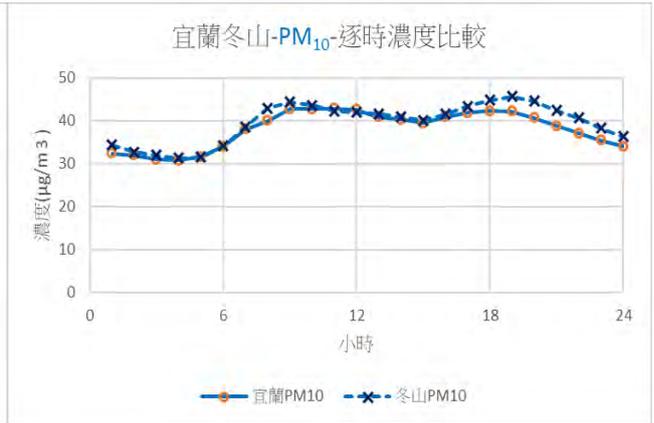


圖 5-2-8 冬山宜蘭測站 PM<sub>10</sub> 逐時濃度比較



(二) 冬山宜蘭測站 O<sub>3</sub>,NO,NO<sub>2</sub>,NO<sub>x</sub> 綜合逐時濃度比較

圖 5-2-9 冬山測站綜合逐時濃度比較

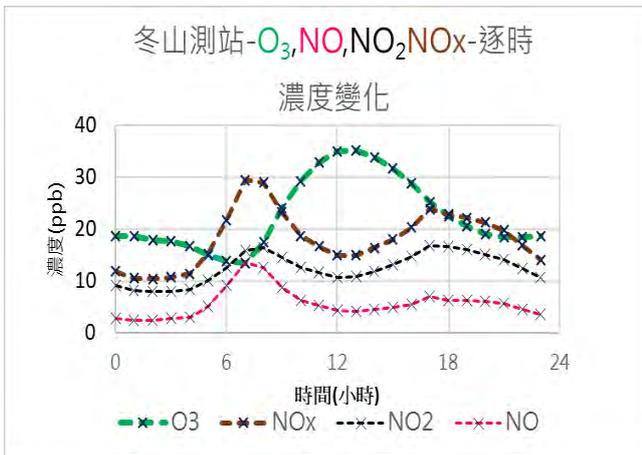
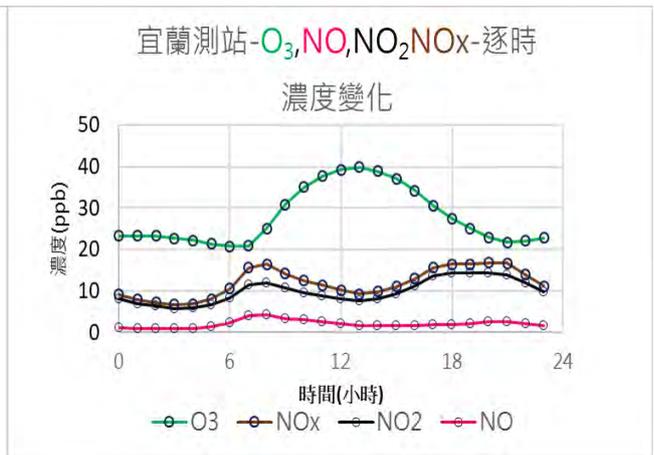


圖 5-2-10 宜蘭測站綜合逐時濃度比較



(三) 觀察與討論

1. 在〔圖 5-2-1、圖 5-2-2、圖 5-2-3〕中，

(1) NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 在一天中會有 2 個高峰，第一高峰會在早上 7、8 時發生，第二高峰則約在 17 時出現。在兩高峰中間約 12 時會降到一個低峰，明顯與〔圖 5-2-5〕中 O<sub>3</sub> 有著近乎相反的趨勢。依據我們研究過程與方法中的文獻探討，此現象與光化學反應有著密切關係，而非單純污染物排放之影響。

(2) 三種污染物濃度皆為冬山測站高於宜蘭測站。

2. 從〔圖 5-2-4〕來看
  - (1) CO 一天中也有著 2 個高峰，第一高峰約在上午 7 時發生，而第二高峰在 17~21 時保持著大略相同的濃度值，與氮氧化物系列有著類似的趨勢。
3. 由〔圖 5-2-5〕看出
  - (1) O<sub>3</sub> 和其他污染物有著很不同的趨勢，一天中僅 1 個高峰，約在中午 12 時出現，與 NO<sub>x</sub> 呈現相反的趨勢，驗證彼此光化學反應中的消長關係。
4. 從〔圖 5-2-6〕得出
  - (1) SO<sub>2</sub> 並無明顯趨勢，兩地間相關係數也僅 0.54，並無太大關係，透過〔圖 4-1-4〕得知硫氧化物來源多為固定式污染源，且冬山測站東方就有著龍德與利澤工業區，可得知冬山當地受較多工業污染源影響，使得冬山與宜蘭測站逐時濃度無明顯關係。
  - (2) 在清晨 0~6 時是宜蘭測站濃度>冬山測站，到了白天冬山測站之濃度飆升約 1.6ppb，相較之下宜蘭測站濃度變化並無如此明顯，白天 7 時~18 時宜蘭濃度都小於冬山濃度，在此冬山濃度飆升也是受到工業污染源影響。
5. 由〔圖 5-2-7、圖 5-2-8〕可知
  - (1) PM<sub>2.5</sub> 與 PM<sub>10</sub> 在宜蘭冬山兩測站有著不太明顯的雙高峰，在兩高峰中間接近中午的時刻有著一個相對低峰，推測為白天較強烈之對流作用將污染物帶離地表，降低其濃度。
6. 在〔圖 5-2-9、圖 5-2-10〕中
  - (1) 冬山氮氧化物系列污染物濃度可在早上約 7、8 時超越 O<sub>3</sub> 濃度，而宜蘭則無此現象，又宜蘭測站中氮氧化物系列濃度變化並非像冬山測站如此明顯。冬山測站旁之利澤與龍德工業區，有著固定污染源中對宜蘭地區 NO<sub>x</sub> 濃度影響次大之化學材料製造業，得知工業區對此有顯著影響。
  - (2) 由這 2 張圖也可看出前述所提及的光化學反應，且明確指出高低峰時間點並未相同，再次驗證相互間的消長關係。

三、宜蘭、冬山測站－雪隧開通前後－逐時濃度比較:

(在這裡我們希望比對趨勢，因此請注意到宜蘭測站和冬山測站的濃度取值範圍不同)

(一) 各污染物－雪隧開通前後－逐時濃度圖 (資料年份為 1996~2016 年)

1. 冬山、宜蘭測站雪隧開通前後 NO<sub>2</sub> 逐時濃度比較

圖 5-3-1 冬山測站雪隧開通前後 NO<sub>2</sub> 逐時濃度比較

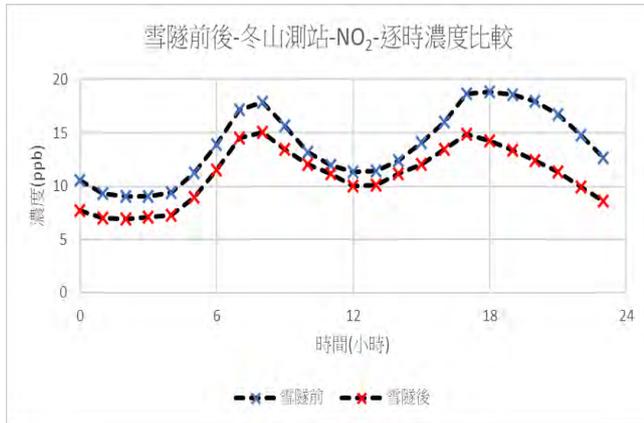
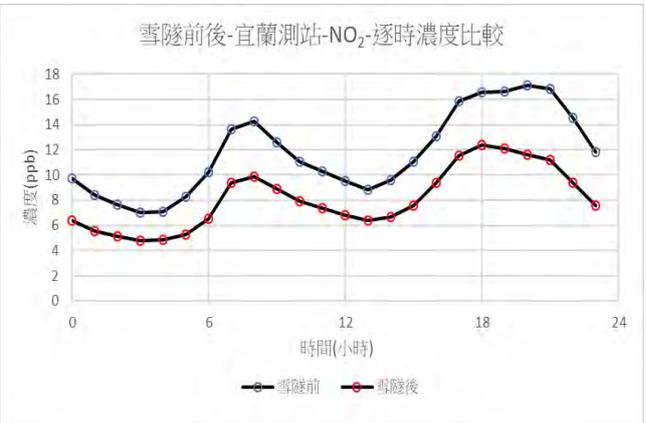


圖5-3-2 宜蘭測站雪隧開通前後 NO<sub>2</sub> 逐時濃度比較



2. 冬山、宜蘭測站雪隧開通前後 NO 逐時濃度比較

圖 5-3-3 冬山測站雪隧開通前後 NO 逐時濃度比較

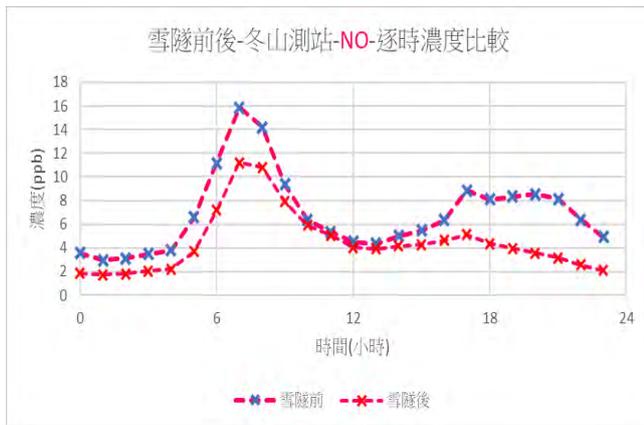
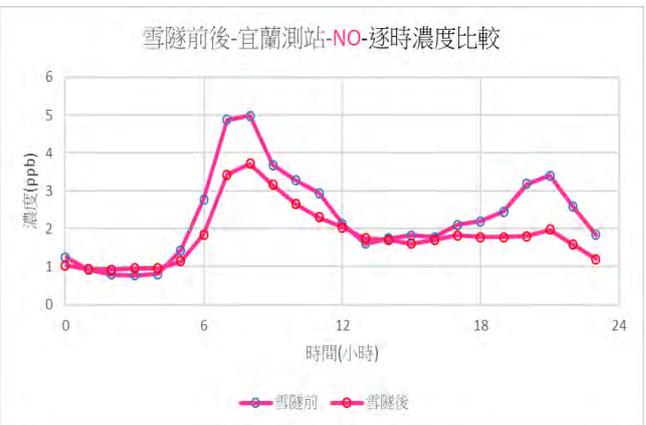


圖5-3-4 宜蘭測站雪隧開通前後 NO 逐時濃度比較



### 3. 冬山、宜蘭測站雪隧開通前後 $\text{NO}_x$ 逐時濃度比較

圖 5-3-5 冬山測站雪隧開通前後  $\text{NO}_x$  逐時濃度比較

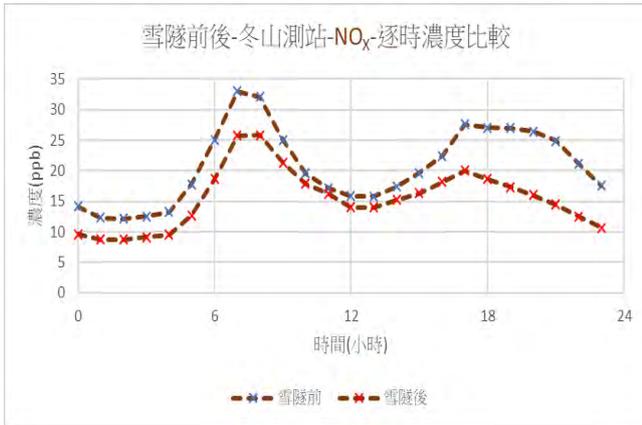
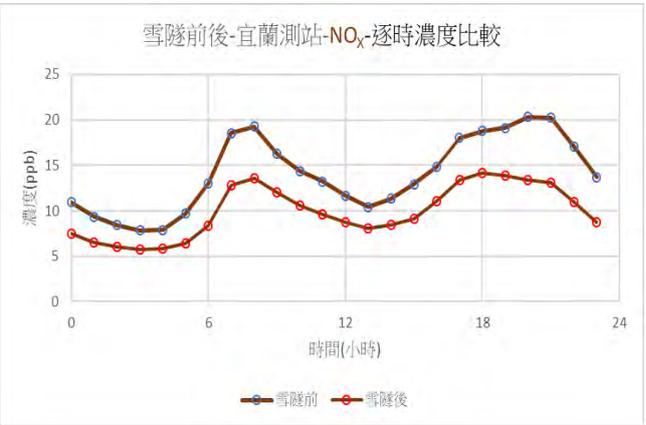


圖 5-3-6 宜蘭測站雪隧開通前後  $\text{NO}_x$  逐時濃度比較



### 4. 冬山、宜蘭測站雪隧開通前後 $\text{CO}$ 逐時濃度比較

圖 5-3-7 冬山測站雪隧開通前後  $\text{CO}$  逐時濃度比較

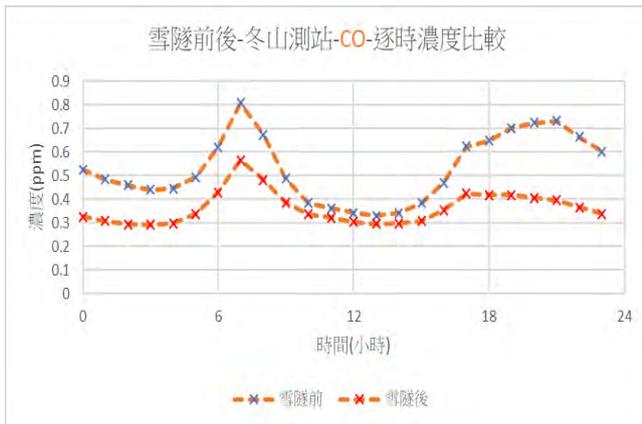
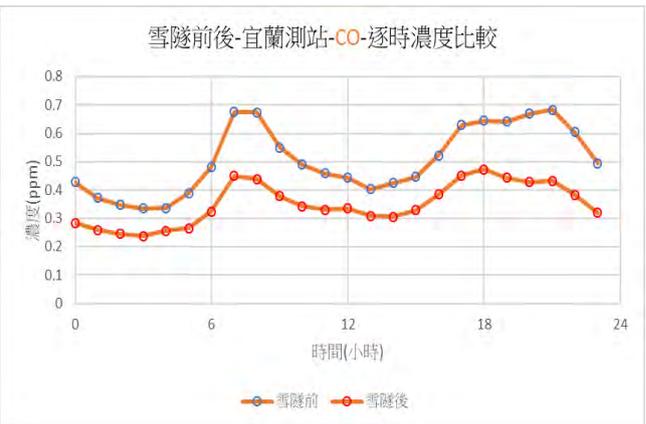


圖 5-3-8 宜蘭測站雪隧開通前後  $\text{CO}$  逐時濃度比較



### 5. 冬山、宜蘭測站雪隧開通前後 $\text{O}_3$ 逐時濃度比較

圖 5-3-9 冬山測站雪隧開通前後  $\text{O}_3$  逐時濃度比較

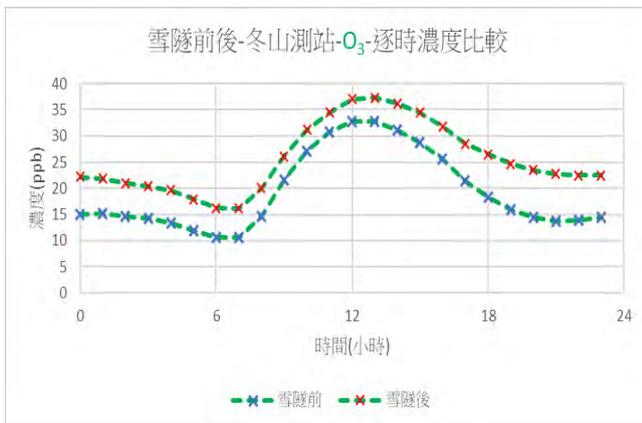
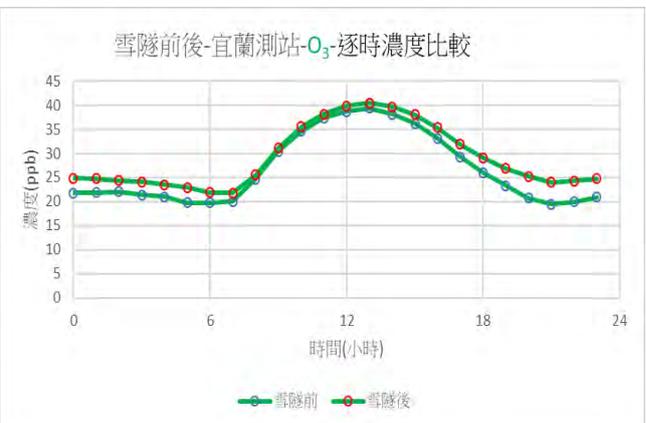


圖 5-3-10 宜蘭測站雪隧開通前後  $\text{O}_3$  逐時濃度比較



## 6. 冬山、宜蘭測站雪隧開通前後 $SO_2$ 逐時濃度比較

圖 5-3-11 冬山站雪隧開通前後  $SO_2$  逐時濃度比較

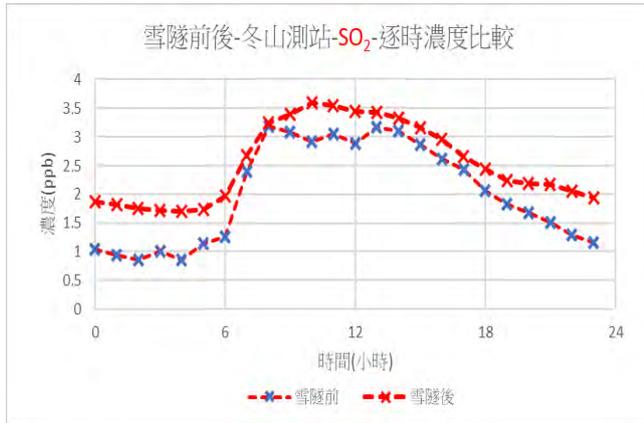
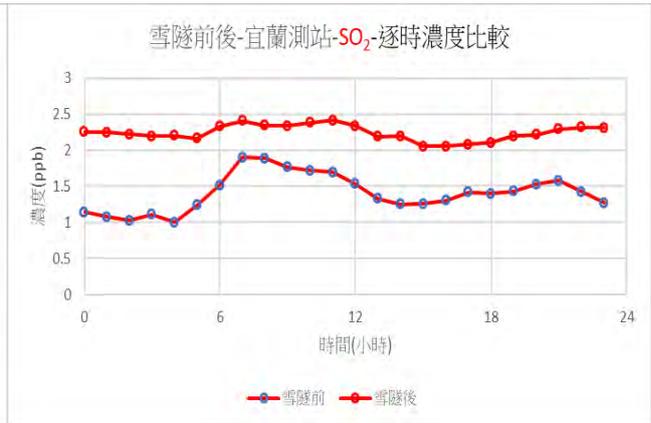


圖 5-3-12 宜蘭站雪隧開通前後  $SO_2$  逐時濃度比較



## 7. 冬山、宜蘭測站雪隧開通前後 $PM_{2.5}$ 逐時濃度比較

圖 5-3-13 冬山測雪隧開通前後  $PM_{2.5}$  逐時濃度比較

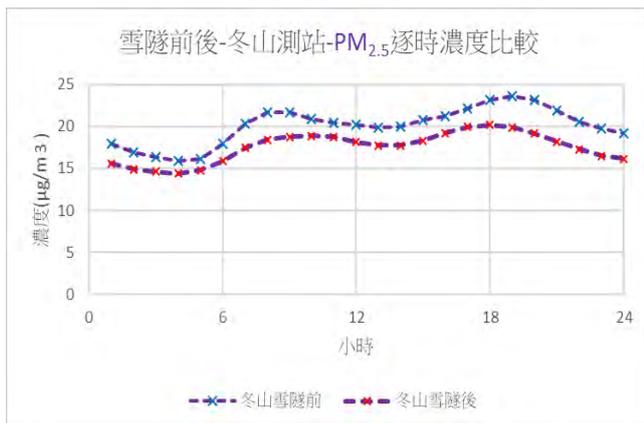


圖 5-3-14 宜蘭測雪隧開通前後  $PM_{2.5}$  逐時濃度比較



## 8. 冬山、宜蘭測站雪隧開通前後 $PM_{10}$ 逐時濃度比較

圖 5-3-15 冬山站雪隧開通前後  $PM_{10}$  逐時濃度比較

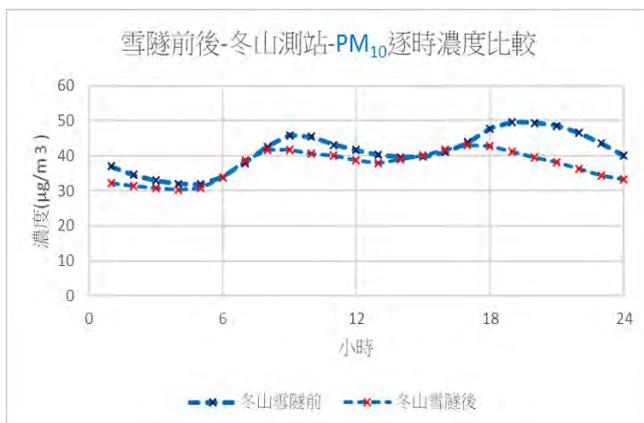
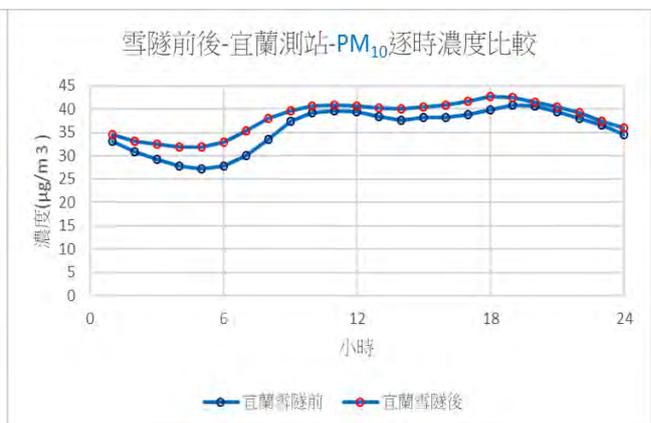


圖 5-3-16 宜蘭站雪隧開通前後  $PM_{10}$  逐時濃度比較



## (二) 觀察與討論

- 由〔圖 5-3-1~ 圖 5-3-6〕看出
  - NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>不論在冬山或宜蘭測站，雪隧開通前後皆為雙峰的型態，且兩地在雪隧開通前後出現高低峰的時刻大略相同。
  - NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>在兩測站中，皆為雪隧開通後濃度<雪隧開通前，與我們直覺的想法有著很大的不同，此現象會與光化反應中的反應物 O<sub>3</sub>增加導致 NO 的氧化和空汙法徵收氮氧化物排放空汙費有關。
- 在〔圖 5-3-7、圖 5-3-8〕中
  - CO 大略為雙峰型，其中兩測站在雪隧開通前的變化幅度都比雪隧開通後變化幅度大，且皆是雪隧開通前濃度>雪隧開通後，與我們所預想有著很大的不同。
- 由〔圖 5-3-9、圖 5-3-10〕中
  - O<sub>3</sub>呈現單峰型，且出現高峰的時間在雪隧開通前後大略相同。
  - 較特別的是，兩測站濃度中皆為雪隧開通前<雪隧開通後(與 SO<sub>2</sub>同)，可能與〔式(5)〕中 O<sub>3</sub>的累積有關。
- 從〔圖 5-3-11、圖 5-3-12〕來看
  - SO<sub>2</sub>在冬山測站呈現單峰型，而在宜蘭卻沒有此趨勢，呈現的是較平穩的濃度變化，此與冬山測站附近之工業汙染源有關。
  - 兩測站中皆為雪隧開通前濃度<雪隧開通後(與 O<sub>3</sub>同)。
- 從〔圖 5-3-13~圖 5-3-16〕可看出 PM<sub>10</sub>在宜蘭、冬山兩測站中雪隧開通前後濃度差距不明顯，但 PM<sub>2.5</sub>的部分在兩測站濃度皆為雪隧開通前>雪隧開通後。
- 雪隧開通前後一冬山測站與宜蘭測站一相關係數比較〔見表 5-3-1〕
  - 在冬山、宜蘭兩測站中，除了 SO<sub>2</sub>外，其餘的汙染物在雪隧開通前後皆呈高度正相關，顯示出宜蘭 SO<sub>2</sub>濃度趨勢在雪隧開通前後有著大幅改變。

表 5-3-1

	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
宜蘭	0.935	0.987	0.977	0.969	0.991	0.595	0.846	0.966
冬山	0.888	0.912	0.893	0.838	0.981	0.979	0.956	0.751

- 宜蘭、冬山測站一雪隧開通前與後一相關係數比較〔見表 5-3-2〕
  - 只有在雪隧開通前與雪隧開通後的宜蘭、冬山兩測站之間 SO<sub>2</sub>沒有呈現高度正相關(其他汙染物皆有高度正相關)，也再次顯示了冬山工業區對 SO<sub>2</sub>濃度之影響。

表 5-3-2

	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
開通前	0.875	0.947	0.899	0.802	0.989	0.619	0.893	0.884
開通後	0.923	0.807	0.763	0.795	0.983	0.179	0.868	0.891

#### 四、宜蘭、冬山測站—逐季濃度比較:

(一) 各污染物逐季濃度圖 (資料年份為 1996~2016 年)

##### 1. 冬山、宜蘭測站 NO<sub>2</sub> 逐季濃度比較

圖 5-4-1 冬山測站 NO<sub>2</sub> 逐季濃度比較

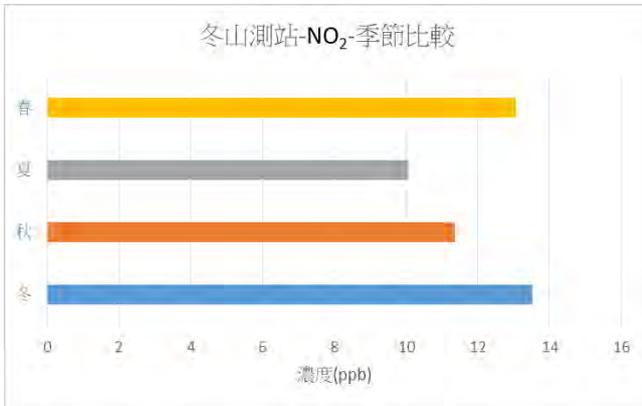
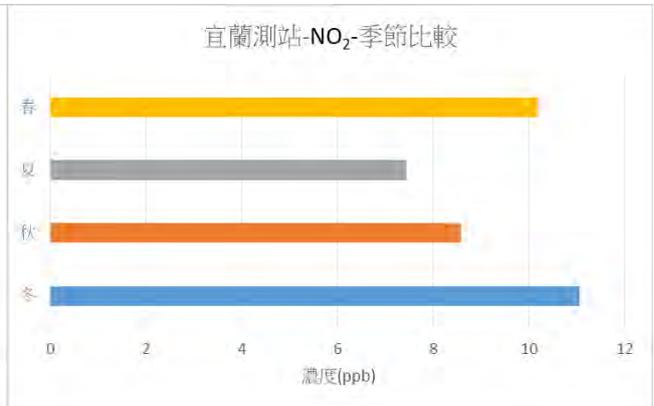


圖 5-4-2 宜蘭測站 NO<sub>2</sub> 逐季濃度比較



##### 2. 冬山、宜蘭測站 NO 逐季濃度比較

圖 5-4-3 冬山測站 NO 逐季濃度比較

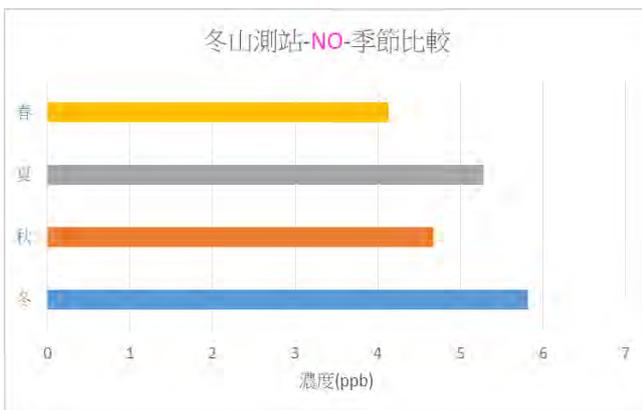
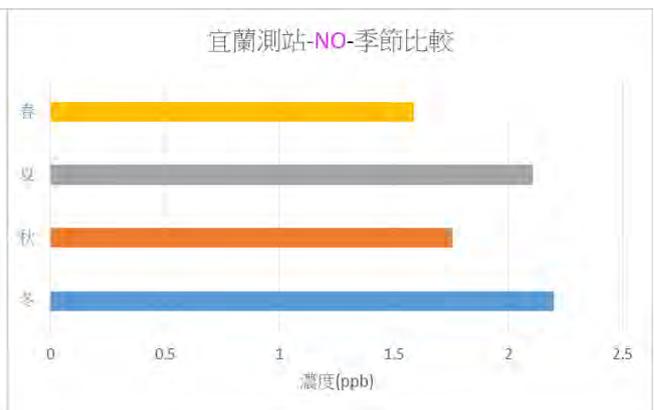


圖 5-4-4 宜蘭測站 NO 逐季濃度比較



##### 3. 冬山、宜蘭測站 NO<sub>x</sub> 逐季濃度比較

圖 5-4-5 冬山測站 NO<sub>x</sub> 逐季濃度比較

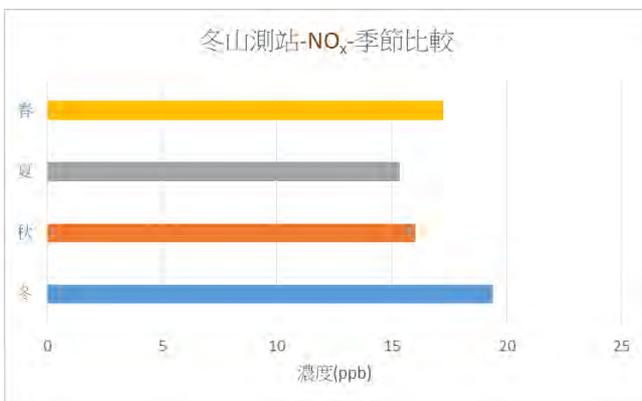
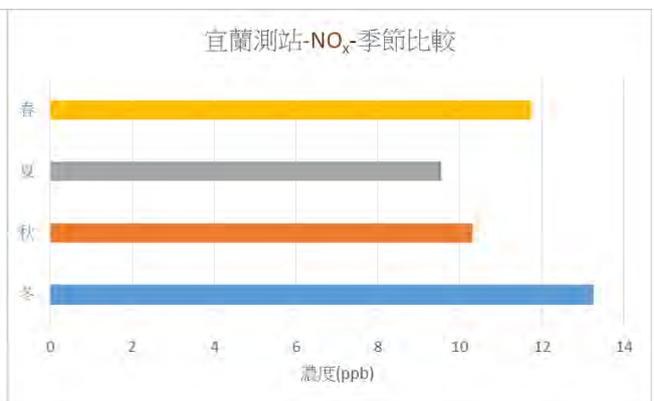


圖 5-4-6 宜蘭測站 NO<sub>x</sub> 逐季濃度比較



#### 4. 冬山、宜蘭測站 CO 逐季濃度比較

圖 5-4-7 冬山測站 CO 逐季濃度比較

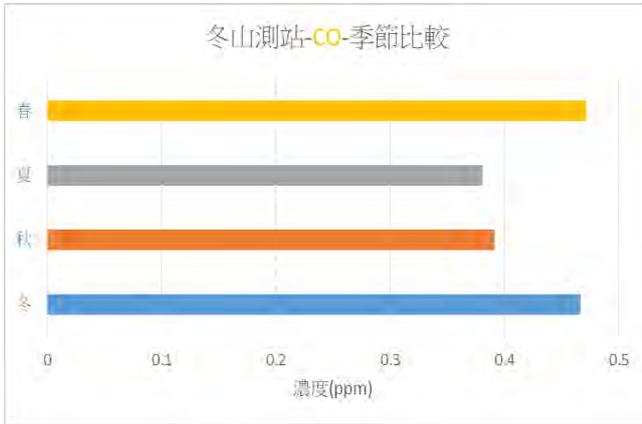
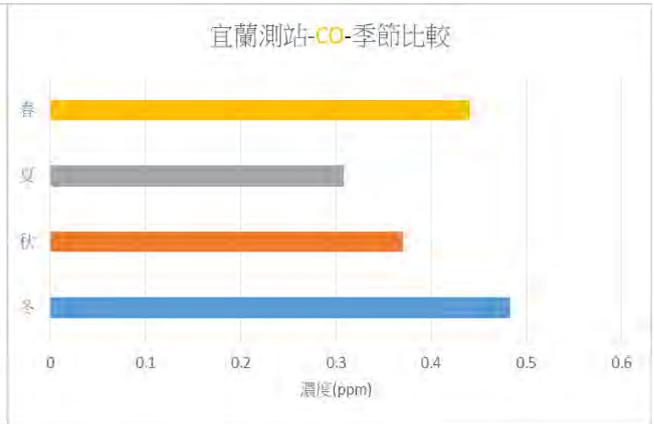


圖 5-4-8 宜蘭測站 CO 逐季濃度比較



#### 5. 冬山、宜蘭測站 O<sub>3</sub> 逐季濃度比較

圖 5-4-9 冬山測站 O<sub>3</sub> 逐季濃度比較

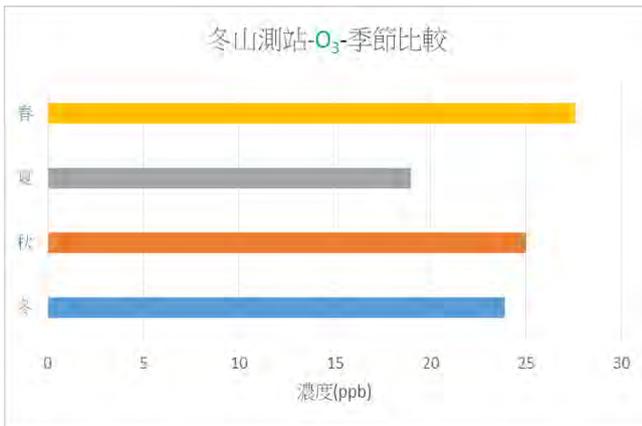
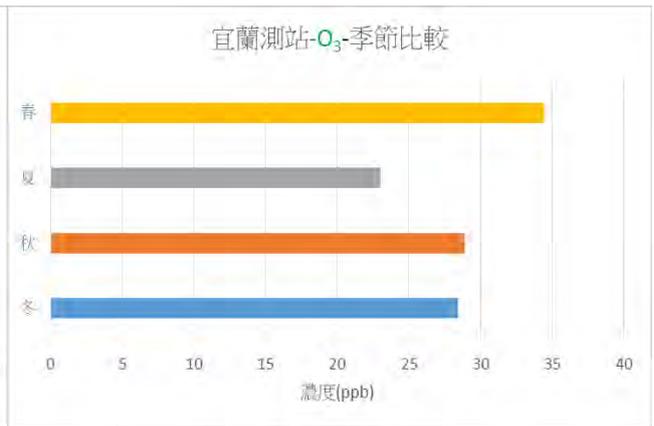


圖 5-4-10 宜蘭測站 O<sub>3</sub> 逐季濃度比較

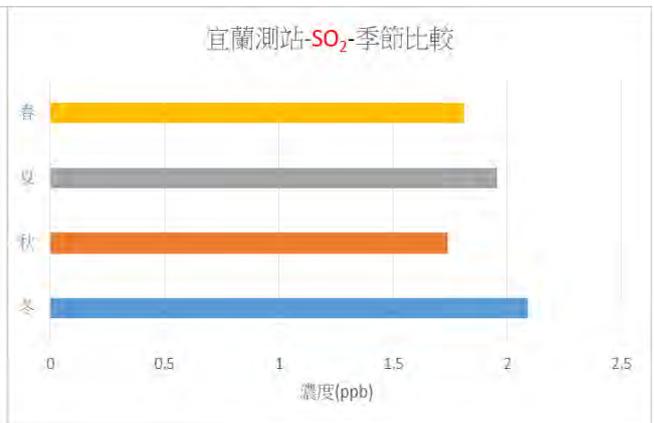


#### 6. 冬山、宜蘭測站 SO<sub>2</sub> 逐季濃度比較

圖 5-4-11 冬山測站 SO<sub>2</sub> 逐季濃度比較



圖 5-4-12 宜蘭測站 SO<sub>2</sub> 逐季濃度比較



7. 冬山、宜蘭測站  $PM_{2.5}$  逐季濃度比較

圖 5-4-13 冬山測站  $PM_{2.5}$  逐季濃度比較

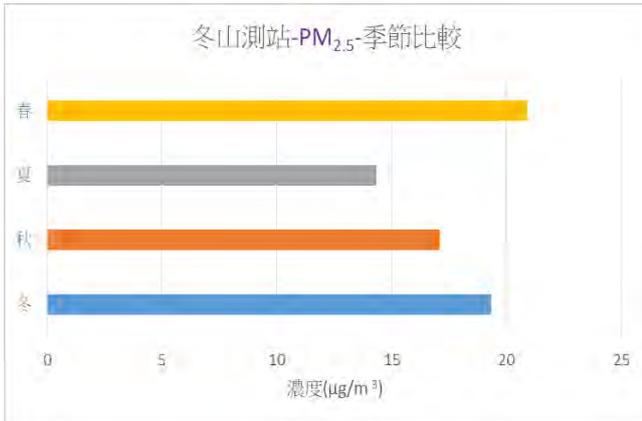
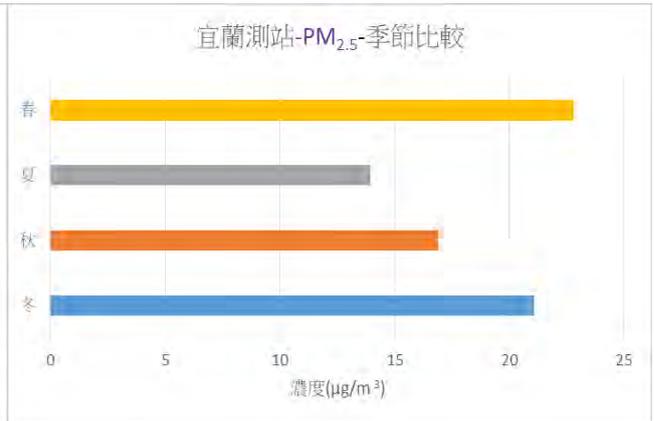


圖 5-4-14 宜蘭測站  $PM_{2.5}$  逐季濃度比較



8. 冬山、宜蘭測站  $PM_{10}$  逐季濃度比較

圖 5-4-15 冬山測站  $PM_{10}$  逐季濃度比較

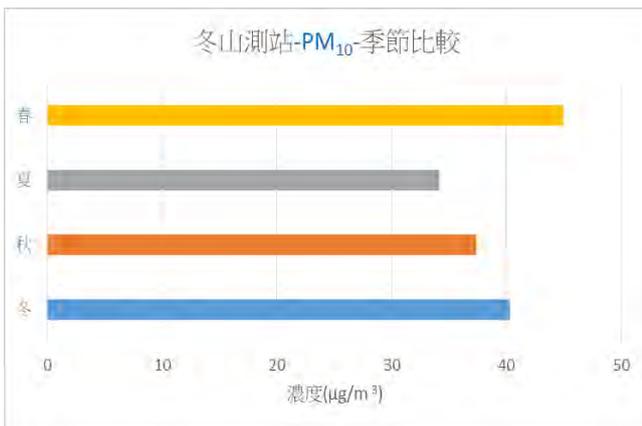
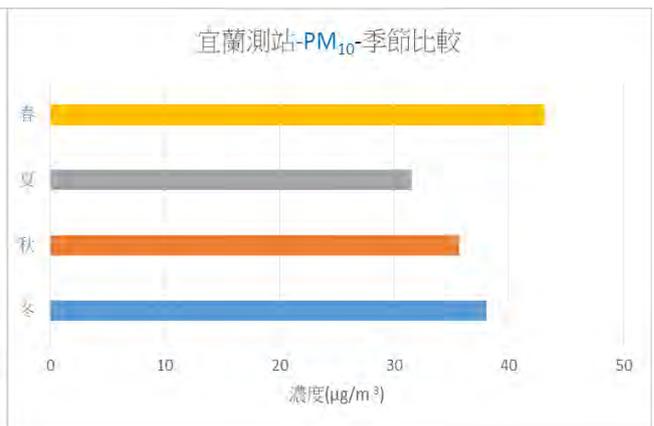


圖 5-4-16 宜蘭測站  $PM_{10}$  逐季濃度比較



## (二) 觀察與討論

### 1. NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、CO [圖 5-4-1~ 圖 5-4-8]

(1) NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 冬季皆偏高。NO 之所以冬季較多，有 2 種可能因素影響，第一種是從  $\text{CO} + \text{NO}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{NO}$  中，得出當 CO 上升可生成較多 NO，第二種為  $\text{O}_3 + \text{NO} \rightarrow \text{O}_2 + \text{NO}_2$  反應式中，當 O<sub>3</sub> 下降導致 NO 消耗量減少。而又 NO<sub>2</sub> 在冬天分解少，因此 NO<sub>2</sub> 冬季濃度較高。

(2) NO 在夏季較高，則可參照



2. 春天 O<sub>3</sub> 濃度較高，由前面所提到的若大氣中僅有 NO<sub>x</sub> 而沒有 VOCs 存在，對流層中 O<sub>3</sub> 濃度將無法累積。但若大氣中有 VOCs 存在，則可與 NO 進行反應而將 NO 轉換生成 NO<sub>2</sub>、降低空氣中 NO 的濃度，進而導致空氣中 NO<sub>2</sub> 濃度的增加，而使 O<sub>3</sub> 的濃度在大氣中累積，由於春天 NO [圖 5-4-3, 圖 5-4-4] 較少，可推論 VOCs 春天較多導致臭氧濃度在春季累積較多。

3. SO<sub>2</sub> 在宜蘭測站為冬季濃度最高 [圖 5-4-11, 圖 5-4-12]，但冬山測站卻是夏季濃度最高。由於 SO<sub>x</sub> 的來源多是固定式污染源，且冬山站之東側有龍德和利澤工業區，造成 SO<sub>2</sub> 在兩測站關聯性較低。

4. PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 在春季濃度有較高的現象 [圖 5-4-13~ 圖 5-4-16]，經由沙塵網站中對於沙塵暴之介紹得知，冬季、春季為沙塵暴發生的主要季節，其中以 3 月至 5 月發生頻率最高，故出現春季濃度偏高的狀況。

五、宜蘭、冬山測站－周末效應－逐時濃度:

(一) 各污染物－周末效應－逐時濃度圖 (資料年份為 1996~2016 年)

1. 冬山、宜蘭測站 NO<sub>2</sub> 周末效應逐時濃度比較

圖 5-5-1 冬山測站 NO<sub>2</sub> 周末效應逐時濃度比較

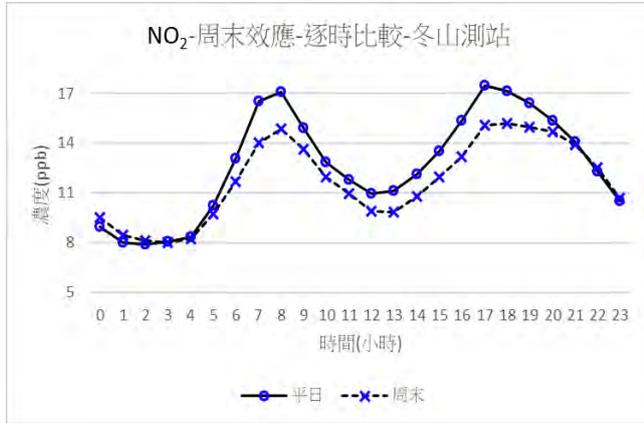
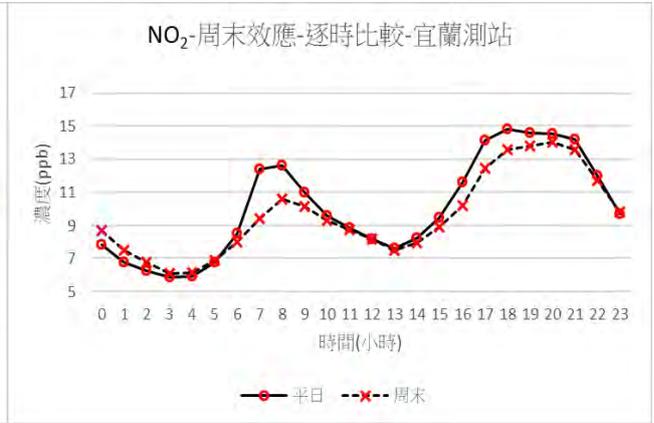


圖 5-5-2 宜蘭測站 NO<sub>2</sub> 周末效應逐時濃度比較



2. 冬山、宜蘭測站 NO 周末效應逐時濃度比較

圖 5-5-3 冬山測站 NO 周末效應逐時濃度比較

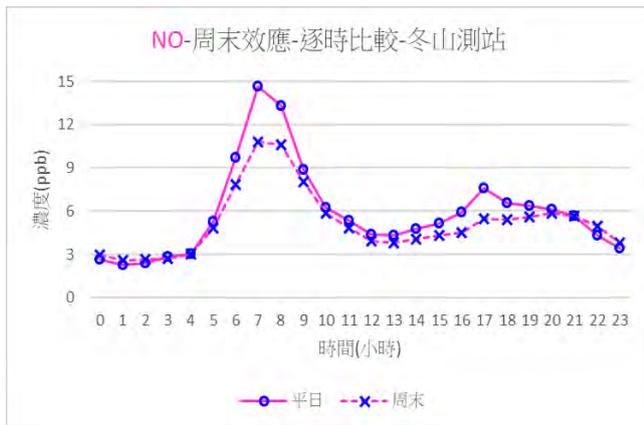
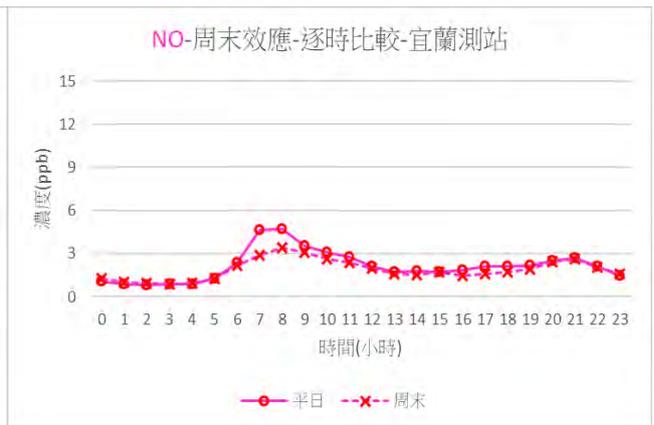


圖 5-5-4 宜蘭測站 NO 周末效應逐時濃度比較



3. 冬山、宜蘭測站 NO<sub>x</sub> 周末效應逐時濃度比較

圖 5-5-5 冬山測站 NO<sub>x</sub> 周末效應逐時濃度比較

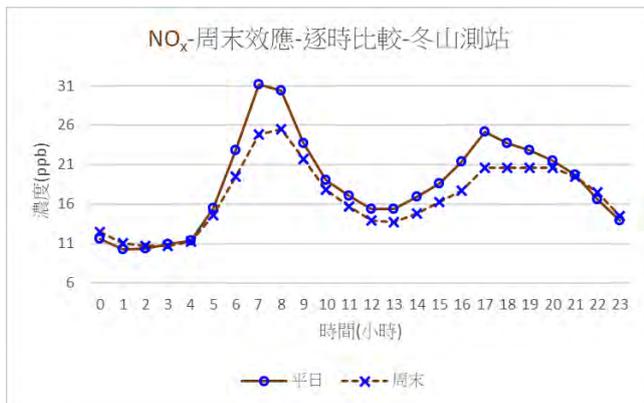
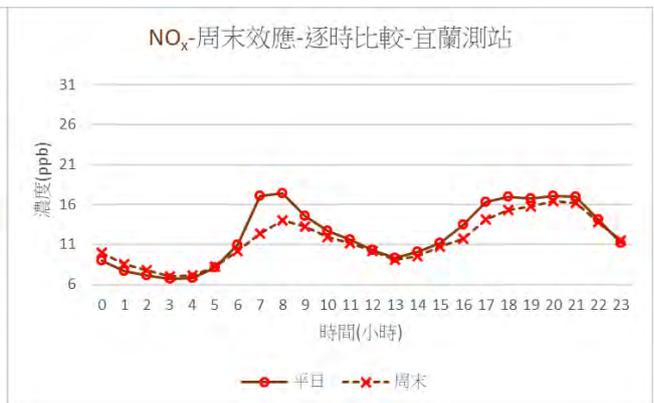


圖 5-5-6 宜蘭測站 NO<sub>x</sub> 周末效應逐時濃度比較

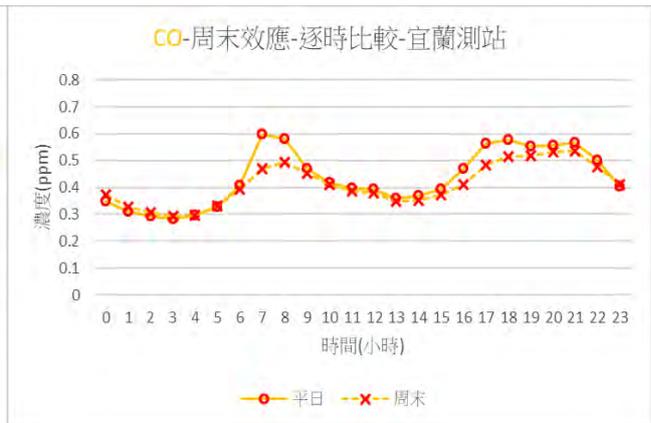


4. 冬山、宜蘭測站 CO 周末效應逐時濃度比較

圖 5-5-7 冬山測站 CO 周末效應逐時濃度比較



圖 5-5-8 宜蘭測站 CO 周末效應逐時濃度比較



5. 冬山、宜蘭測站 O<sub>3</sub> 周末效應逐時濃度比較

圖 5-5-9 冬山測站 O<sub>3</sub> 周末效應逐時濃度比較

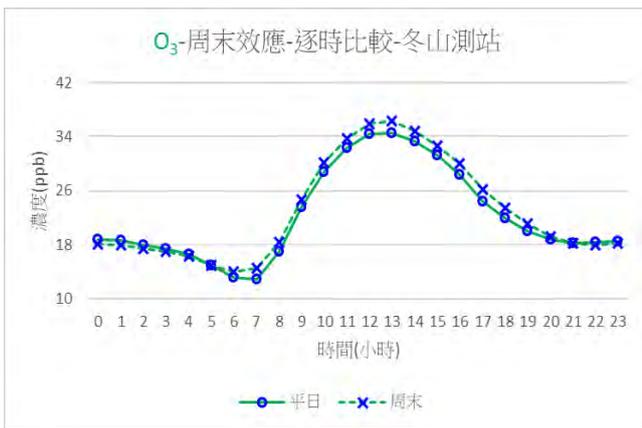
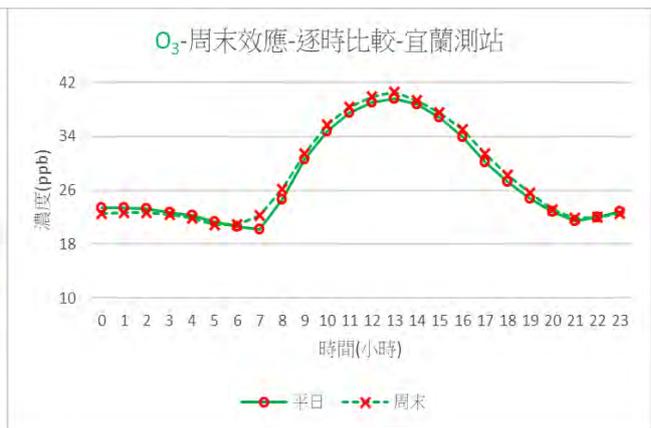


圖 5-5-10 宜蘭測站 O<sub>3</sub> 周末效應逐時濃度比較



6. 冬山、宜蘭測站 SO<sub>2</sub> 周末效應逐時濃度比較

圖 5-5-11 冬山測站 SO<sub>2</sub> 周末效應逐時濃度比較

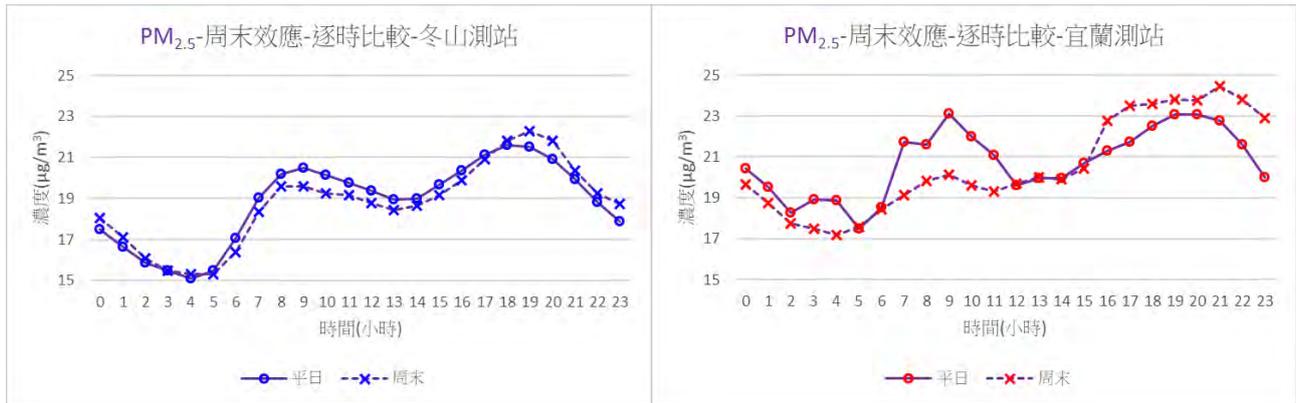


圖 5-5-12 宜蘭測站 SO<sub>2</sub> 周末效應逐時濃度比較



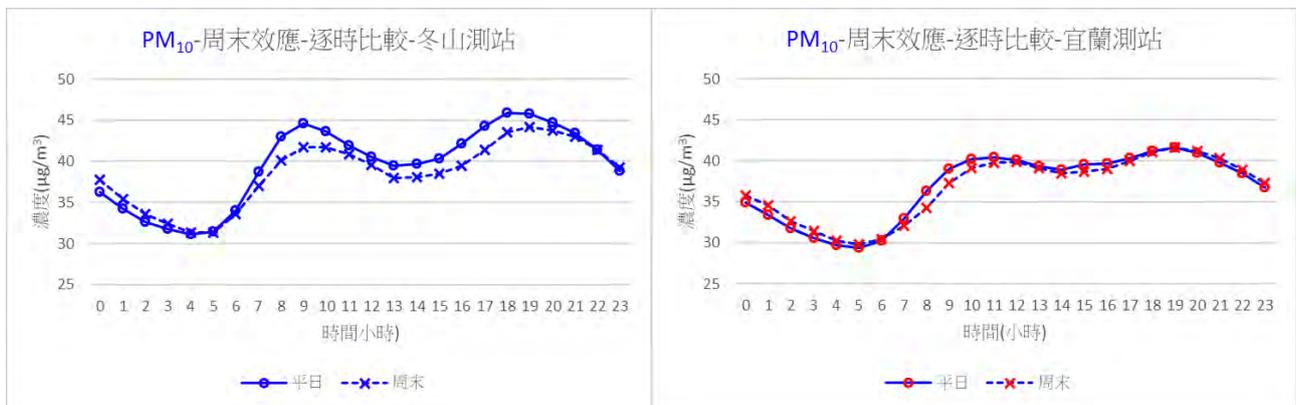
## 7. 冬山、宜蘭測站 PM<sub>2.5</sub> 周末效應逐時濃度比較

圖 5-5-13 冬山測站 PM<sub>2.5</sub> 周末效應逐時濃度比較 圖 5-5-14 宜蘭測站 PM<sub>2.5</sub> 周末效應逐時濃度比較



## 8. 冬山、宜蘭測站 PM<sub>10</sub> 周末效應逐時濃度比較

圖 5-5-15 冬山測站 PM<sub>10</sub> 周末效應逐時濃度比較 圖 5-5-16 宜蘭測站 PM<sub>10</sub> 周末效應逐時濃度比較



### (二) 觀察與討論

1. 以 NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、CO 為一組，而 O<sub>3</sub> 為一組〔圖 5-5-1~ 圖 5-5-10〕
  - (1) 前者皆是在平日有較高的峰值，後者則是在周末有較高的峰值。
  - (2) 此五種污染物於深夜均有污染物濃度交替的現象（污染物濃度交替：意指平日、周末濃度高的一邊在深夜濃度會轉為低的一邊）。
2. 至於 SO<sub>2</sub>〔圖 5-5-11~ 圖 5-5-12〕，兩測站的污染物濃度值皆為平日高於周末。另外，冬山測站的深夜也有污染物濃度交替的現象。
3. 最後 PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub>〔圖 5-5-13~ 圖 5-5-16〕，雖然宜蘭測站的 PM<sub>2.5</sub> 折線圖顯得較凌亂，但污染物濃度大致皆為平日高於周末。冬山測站和宜蘭測站之污染物濃度差異甚小，而兩者也皆在深夜有污染物濃度交替的現象。

六、宜蘭、冬山測站—逐時濃度與海陸風程度比較：

(一) 僅討論相關性極高者，如右表 5-6-1

(二) 此處利用原始逐時風向與風速資料減去 24 小時滑動平均後的數據，以減去盛行風之影響。

相關係數	宜蘭	冬山
CO	0.028479	-0.51024
NO	0.151981	-0.14388
NO2	0.040187	0.189203
NOx	0.073207	0.025086
O3	0.962323	0.966332
SO2	0.087715	0.762231
PM 2.5	0.234525	0.568375
PM10	0.687702	0.543276

表 5-6-1

(三) SO<sub>2</sub> 逐時濃度與海陸風逐時變化疊圖（資料年份為 1996~2016 年）

圖5-6-1 冬山測站 SO<sub>2</sub>海陸風逐時濃度比較

圖 5-6-2 宜蘭測站 SO<sub>2</sub>海陸風逐時濃度比較



(四) O<sub>3</sub> 逐時濃度與海陸風逐時變化疊圖（資料年份為 1996~2016 年）

圖 5-6-3 冬山測站 O<sub>3</sub>海陸風逐時濃度比較

圖 5-6-4 宜蘭測站 O<sub>3</sub>海陸風逐時濃度比較



## (五) 觀察與討論

1.  $O_3$  逐時濃度變化與海陸風的逐時變化有著相關係數高達 0.9 的高度正相關，也就是當海風比例增加時， $O_3$  濃度跟著升高，當陸風比例增加， $O_3$  濃度則下降。  
也因此可推論  $O_3$  濃度變化除了與光化反應有關外，也與海陸風有關。
2.  $SO_2$  與海陸風逐時變化在冬山有  $r=0.76$  之高度正相關，宜蘭則是  $r=0.08$  低度相關，推論是因為  $SO_x$  的來源多是固定污染源，且冬山站之東側有著龍德和利澤工業區，故當海風比例增加會帶來較多硫氧化物污染物。

## 陸、 結論

### 一、 結論

- (一) 在特定時間尺度下，NO<sub>x</sub> 與 O<sub>3</sub> 都呈現反向變動的關係。逐時濃度是由於光化學反應使 NO<sub>x</sub> 和 O<sub>3</sub> 一直保有相反的趨勢；而逐年濃度是由於法規限制使 NO<sub>x</sub> 濃度下降，造成 O<sub>3</sub> 相對上升。而反向變動的關係，在周末效應及雪隧通車前後的比較中皆有呈現出來，再次驗證出光化學反應之重要性。
- (二) SO<sub>2</sub> 的濃度變化主要是受工業區的影響。在逐時濃度中冬山測站的濃度值就相對宜蘭測站高出許多；從平日和周末的比較來看，在工廠大多運轉的平日，的確 SO<sub>2</sub> 濃度顯得較周末為高，而單就逐時濃度來看，海陸風在一日中的變化對 SO<sub>2</sub> 濃度的表現也忠實地呈現在我們的數據上。
- (三) PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 由於排放來源較複雜，故各圖表中的濃度變化較雜亂，但若僅挑出沙塵事件來分析，沙塵事件發生的幾日內，PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 濃度皆會有顯著的上升，也確認中國大陸的沙塵確實會對台灣的空氣品質帶來極大影響。
- (四) 在逐年濃度圖表中，由於多項針對空氣汙染排放之法規，使得氮氧化物系列、CO、PM<sub>2.5</sub> 與 PM<sub>10</sub> 濃度呈現逐年下降的趨勢。而 O<sub>3</sub> 仍為逐年上升，則是由於 NO<sub>x</sub> 濃度的下降，與 O<sub>3</sub> 反應的物質減少，使得 O<sub>3</sub> 累積於大氣中。

### 二、 未來展望

- (一) 深澳火力發電廠早期曾為台灣最大的發電廠，但在 2007 年時，由於原有機組過於老舊，於是在除役後推動更新擴建計畫。近日來，此項更新計畫成為了新聞上的焦點，惟大眾對於空氣汙染議題的重視，使得此計畫窒礙難行。台電認為台灣能源短缺，98% 燃料仰賴進口，為維持全國供電穩定、避免仰賴單一能源，燃煤電廠仍扮演一定角色。
- (二) 若能運用此研究中對於各污染物排放特性及氣象因子之討論觀點（如季風），也許能更清楚分析出電廠運作對於北部、東部地區環境的影響，進一步找出用電需求與空氣品質間的平衡點。

## 柒、 參考資料及其他

- 一、王濤、江蘇省物質迴圈與污染控制重點實驗室、王濤、何浩奇、夏忠歡、吳敏敏…江蘇省地理環境演化國家重點實驗室培育建設點,南京(2017)。2015年南京市 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 和 O<sub>3</sub>的污染特徵分析。**環境工程學報**, 2017(07), 4155-4161。
- 二、林華恩、楊于晨、葉家榮(2016)。**漫漫黃砂九芎城--宜蘭地區汙染物濃度的探討**·第五十六屆全國中小學科展。
- 三、林沛練、張隆男、陳景森(1990)。海風邊界層之發展與汙染物濃度的日變化。**大氣科學**, 18(4), 287-308。
- 四、柳中明(1994)。**全球氣候變遷不確定性:對流層內臭氧與懸浮微粒的影響**。台灣台北市:國立台灣大學大氣科學系。
- 五、徐碩亨(2010)。以光化測站探討高屏地區 VOCs 貢獻源及臭氧生成之影響。
- 六、張良輝、陳建鴻(無日期)。**台灣地區臭氧汙染控制物種之分析**。
- 七、陳汎凌、尤思喻、柳中明、程萬里(2008)。東亞對流層臭氧空間分布特徵與氣候因子之相關性探討。**大氣科學**, 36(2), 127-146。
- 八、談珮華、周佳、梁靜宜、吳柏霖(2008)。台北都會區的假期效應。**大氣科學**, 36(3), 197-215。
- 九、談珮華(2012)。春節與非春節的假期天數及天氣系統對空污假期效應之影響。**環境與世界**, (26), 93-127。
- 十、談珮華、孫蓁儀(2014)。人為活動對空氣品質的影響—以高雄都會區的假期效應為例。**地理學報**, (74), 1-29。
- 十一、蕭千城(2013)。**工業區含氧有機氣體對空氣品質的可能影響**。台灣桃園市:國立中央大學化學研究所。

## 【評語】 051910

利用測站資料探討宜蘭地區空氣品質長期日變化特性並討論其與海陸風傳送，光化作用以及化學作用轉換之關聯，作品完整，主題明確，對光化污染物與其他污染物日變化特性之差異應深入比較探討，並加以說明，圖表宜說明完整。

## 摘要

雪隧通車後，宜蘭居民對於遊客增加及房地產價格飆漲有深切感受，而近年環保意識抬頭、群眾更關切空污議題，我們當然也不例外。

我們以宜蘭、冬山測站為研究測站，並以空氣品質指標污染物為研究對象，後以不同時序作分析。其中，在逐時的研究裡，氮氧化物、臭氧受光化學反應的影響甚大；二氧化硫則較多來自於工業區的固定污染源，並易受海陸風吹拂而影響其動向；而懸浮微粒及細懸浮微粒的逐時變化量並不明顯，但只要屬境外移入的沙塵事件發生，便會使污染物濃度在2~3天內維持較高的狀態。

未來，我們希望將近來關注度頗高的議題「深澳火力發電廠的重啟與否？」納入研究，試圖探討其對宜蘭地區是否有重大影響，並提出相關建議。

## 貳、研究目的

本研究在觀測資料選取上，以雪山隧道開通年（2006年）為基準，前後各取十年的資料(即1996年~2016年)，以下列不同的時間尺度為基礎做分析，並研究其中的關連性：

- (一) 逐時
- (二) 雪隧開通前、後逐時
- (三) 逐季
- (四) 周末效應
- (五) 逐時海陸風程度

## 壹、研究動機

交通運輸的革新—尤其是雪山隧道的開通，就短期來說，對先天依山傍水的宜蘭帶來了觀光財，無非是錦上添花。但就長遠來說，工業的興起、遊客的日以俱增也肯定會對環境造成危害。身為土生土長的宜蘭人，已是高中生的我們也漸能理解到環境保護的重要性，並能利用地科背景知識以探討和分析工業及車流量的增加，所造成小範圍的大氣成分改變、及其對環境形成的污染。在參採相關文獻後，我們想要彙整、分析相關觀測資料，並進行系統性的討論，乃至能提出具體的因應之道及結合深澳電廠的相關議題進行研究。

## 參、研究設備及來源

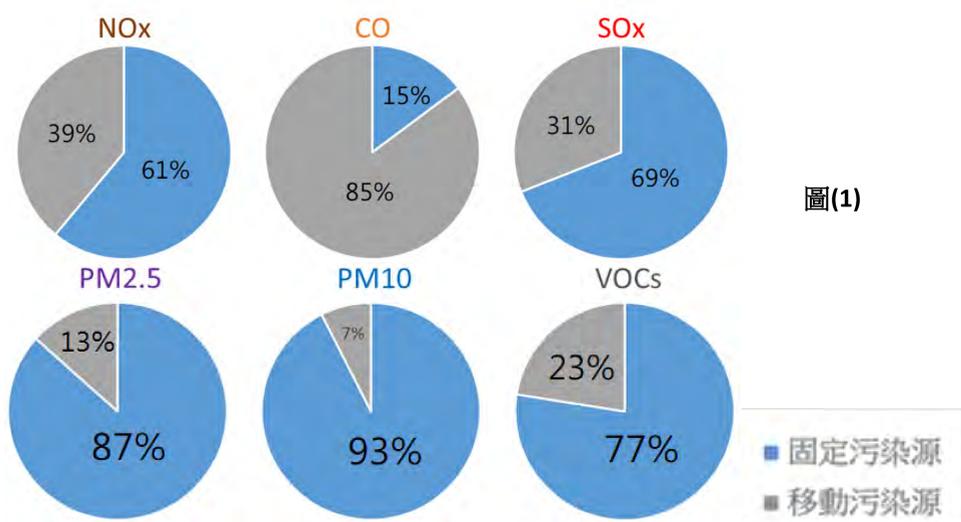
- 一、研究使用軟體：Excel、Word、Google Map
- 二、觀測資料來源：
  - (一) 行政院環境保護署 空氣品質監測
  - (二) 環境資源資料庫
  - (三) TEDS9.0資料庫
  - (四) 國家環境毒物研究中心
  - (五) 大氣水文研究資料庫

## 肆、研究過程與方法

一、本研究分析之空氣指標污染物(後續將簡稱為污染物)(以下簡稱之顏色也同時為圖表之折線顏色)：

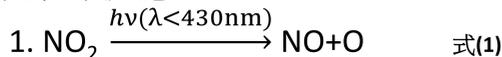
名稱	簡稱	單位
氮氧化物	NO <sub>x</sub>	ppb
一氧化氮	NO	ppb
二氧化氮	NO <sub>2</sub>	ppb
二氧化硫	SO <sub>2</sub>	ppb
臭氧	O <sub>3</sub>	ppb
一氧化碳	CO	ppm
懸浮微粒	PM <sub>10</sub>	μg/m <sup>3</sup>
細懸浮微粒	PM <sub>2.5</sub>	μg/m <sup>3</sup>

二、宜蘭測站之各污染物排放來源圓餅圖(移動式污染源泛指會隨著風或空氣而移動，如汽機車排放；固定式污染源則泛指不會移動之污染來源，如工廠)：

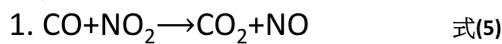


## 三、大氣中的化學反應

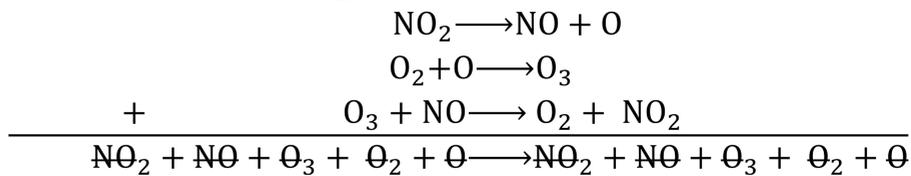
### (一) 光化學反應



### (二) 其他反應

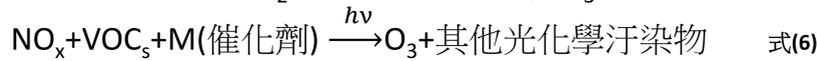


由〔式(1)、式(2)、式(3)〕綜合一起看，可得如下：



可知其為一循環反應。

其中若大氣中僅NO<sub>x</sub>而無VOC<sub>s</sub>存在，對流層中O<sub>3</sub>濃度將無法累積。但若大氣中有VOC<sub>s</sub>存在，則可與NO進行反應而將NO轉換生成NO<sub>2</sub>降低空氣中NO的濃度，而導致空氣中NO<sub>2</sub>濃度的增加，而使O<sub>3</sub>在大氣中累積，並可歸納出一簡單反應式如下：

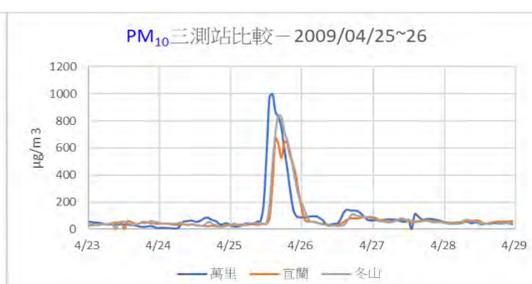
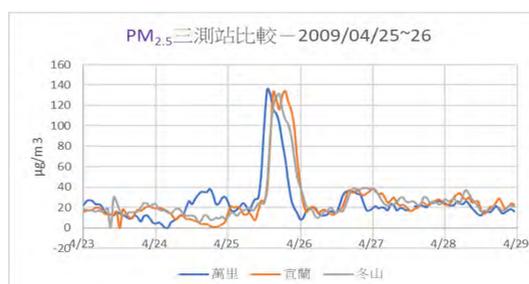


## 四、研究取樣之測站：

- (一) 以宜蘭、冬山測站作為分析、比較之對象。
- (二) 以萬里測站作為背景測站分析境外污染物。

## 五、文獻探討：沙塵事件

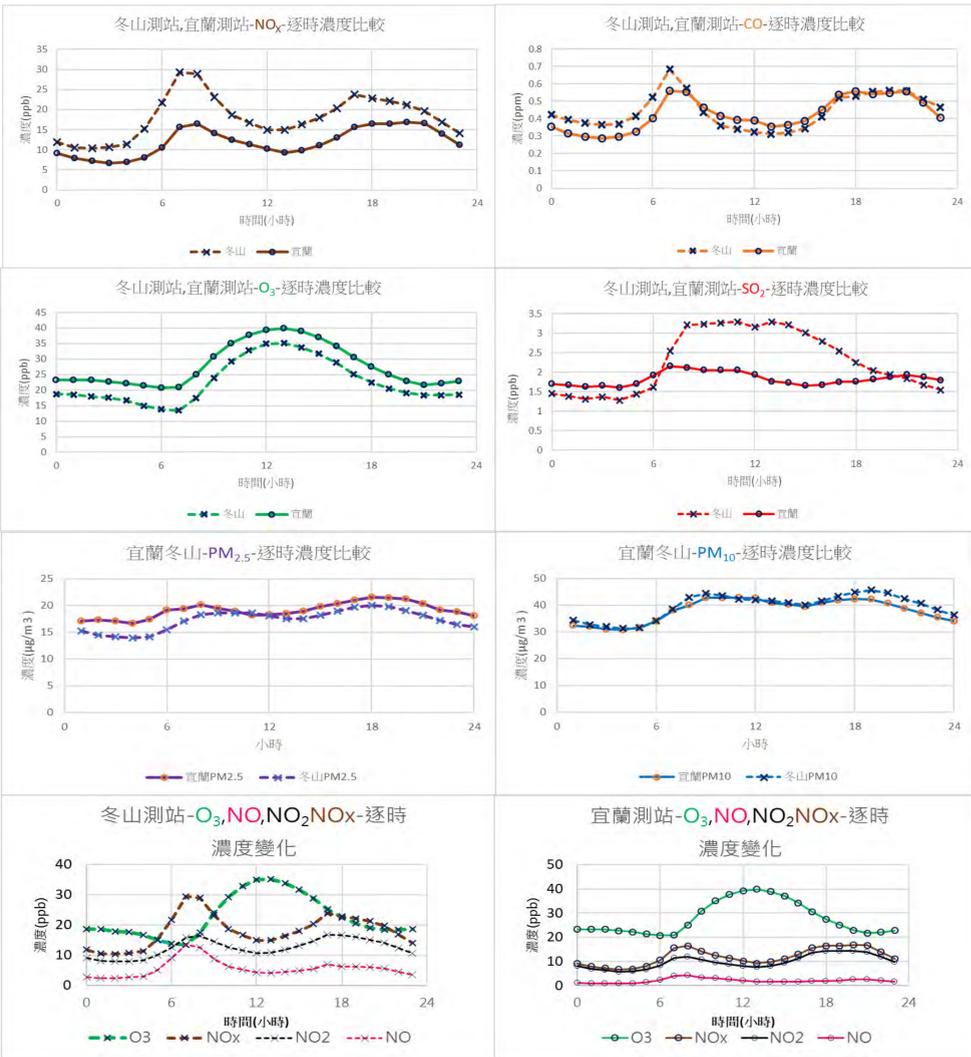
- (一) 由下圖可知，境外沙塵事件發生時，PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>濃度飆升顯著。此外，宜蘭及冬山測站在境外沙塵傳遞途徑相對萬里測站較遠，在圖中也能看到宜蘭、冬山測站的高峰顯得比萬里測站晚一些，因此更能驗證這些沙塵是源自於中國大陸。
- (二) 另透過行政院環保署—沙塵網站對於沙塵事件的介紹，得知沙塵影響期間，PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>濃度均會上升，但以PM<sub>2.5-10</sub>增加較多，故以PM<sub>10</sub>之逐時濃度圖更能代表沙塵事件的發生與否。
- (三) 因此，我們可以得知，雖然沙塵事件不是時常有，但在此類境外移入事件發生時，容易使得較為乾淨的宜蘭、冬山測站之PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>出現異常高濃度值。



# 伍、研究結果與討論

## 一、宜蘭、冬山測站—逐時濃度比較：

### (一)各污染物逐時濃度圖（資料年份為1996~2016年）



### (二)觀察與討論

(1-1)NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 一天中會有2個高峰，分別在上午7、8時以及傍晚17時出現。在兩高峰中間約12時會降到一個低峰，明顯與O<sub>3</sub>有著近乎相反的趨勢。依據我們研究過程與方法中的文獻探討，此現象與光化學反應有密切關係，而非單純汙染物排放之影響。

(1-2)三種汙染物濃度皆為冬山測站高於宜蘭測站。

(2-1)CO一天中也有2個高峰，分別為上午7時以及17~21時出現，與氮氧化物系列有類似的趨勢。

(3-1)O<sub>3</sub>和其他汙染物有很不同的趨勢，一天僅1個高峰出現在中午12時，與NO<sub>x</sub>呈現相反的趨勢，驗證彼此光化學反應中的消長關係。

(4-1)SO<sub>2</sub>並無明顯趨勢，兩地間相關係數僅0.54，並無太大關係，透過汙染物排放源圓餅圖（圖(1)）得知硫氧化物來源多為固定式汙染源，且冬山測站東方就有著龍德與利澤工業區，得知冬山當地受較多工業汙染源影響，使得冬山與宜蘭測站逐時濃度無明顯關係。

(4-2)在清晨0~6時是宜蘭測站濃度>冬山測站，到了白天冬山測站之濃度飆升約1.6ppb，相較之下宜蘭測站濃度變化並無如此明顯，白天7時~18時宜蘭濃度都小於冬山濃度，由此可知冬山濃度飆升也是受到工業汙染源影響。

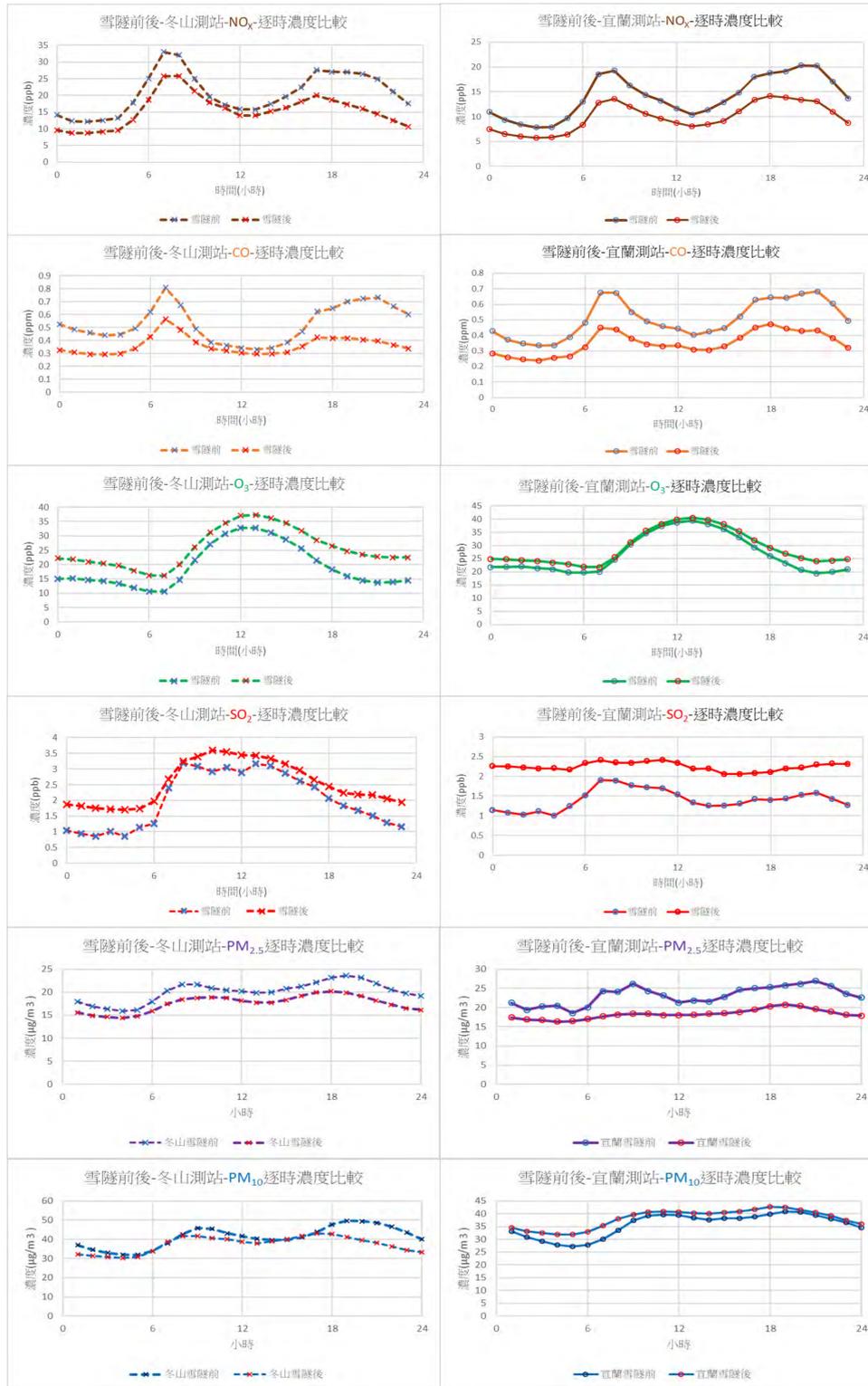
(5-1)PM<sub>2.5</sub>與PM<sub>10</sub>在宜蘭冬山兩測站有著不太明顯的雙高峰，在兩高峰中間接近中午的時刻有一個相對低峰，推測為白天較強烈之對流作用將汙染物帶離地表，降低其濃度。

(6-1)冬山氮氧化物系列濃度可在早上7、8時超越O<sub>3</sub>濃度，宜蘭則無此現象，又宜蘭氮氧化物系列濃度變化並非像冬山測站如此明顯。冬山測站旁之利澤與龍德工業區有固定汙染源中對宜蘭地區NO<sub>x</sub>濃度影響次大之化學材料製造業，可知工業區對此有顯著影響。

(6-2)由上方末2張圖也可看出先前提及的光化學反應，且明確指出高低峰時間點並未相同，再次驗證相互間的消長關係。

## 二、宜蘭、冬山測站—雪隧開通前後—逐時濃度比較：

### (一)各污染物—雪隧開通前後—逐時濃度圖（資料年份為1996~2016年）



### (二)觀察與討論

(1-1)氮氧化物不論在冬山或宜蘭測站，雪隧開通前後皆為雙峰的型態，且兩地在雪隧開通前後出現高低峰的時刻大略相同。

(1-2)氮氧化物在兩測站中，皆為雪隧開通後濃度<雪隧開通前，與我們直覺的想法有著很大的不同，此現象與光化反應中的反應物O<sub>3</sub>增加導致NO的氧化和空汙法徵收氮氧化物排放空汙費有關。

(2-1)CO大略為雙峰型，其中兩測站在雪隧開通前的變化幅度都比雪隧開通後變化幅度大，且皆是雪隧開通前濃度>雪隧開通後，與我們所預想有著很大的不同。

(3-1)O<sub>3</sub>呈現單峰型，且出現高峰的時間在雪隧開通前後大略相同。較特別的是，兩測站濃度中皆為雪隧開通前<雪隧開通後（與SO<sub>2</sub>同），可能與〔式(5)〕中O<sub>3</sub>的累積有關。

(4-1)SO<sub>2</sub>在冬山測站呈現單峰型，而在宜蘭卻沒有此趨勢，呈現的是較平穩的濃度變化，此與冬山測站附近之工業汙染源有關。

(4-2)SO<sub>2</sub>兩測站中皆為雪隧開通前濃度<雪隧開通後（與O<sub>3</sub>同）。

(5-1)PM<sub>10</sub>在宜蘭、冬山兩測站中雪隧開通前後濃度差距不明顯，但PM<sub>2.5</sub>的部分在兩測站濃度皆為雪隧開通前>雪隧開通後。

### (二)觀察與討論

1. NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 分別可觀察到汙染物濃度值大致上皆為冬山測站高於宜蘭測站，且濃度皆為逐年下降，由於空汙法徵收空汙費，又根據交通工具空氣汙染物排放標準中規定，已針對此項汙染物排放進行管制，因此呈現下降趨勢。

2. CO在宜蘭和冬山兩測站中濃度差異不大，且濃度皆為逐年下降。同樣地根據交通工具空氣汙染物排放標準中規定，已針對此項汙染物排放進行管制，因此呈現下降趨勢。

3. 宜蘭測站的O<sub>3</sub>濃度值皆高於於冬山測站，且在宜蘭、冬山兩測站濃度皆為逐年上升，與氮氧化物系列有著相反的趨勢。

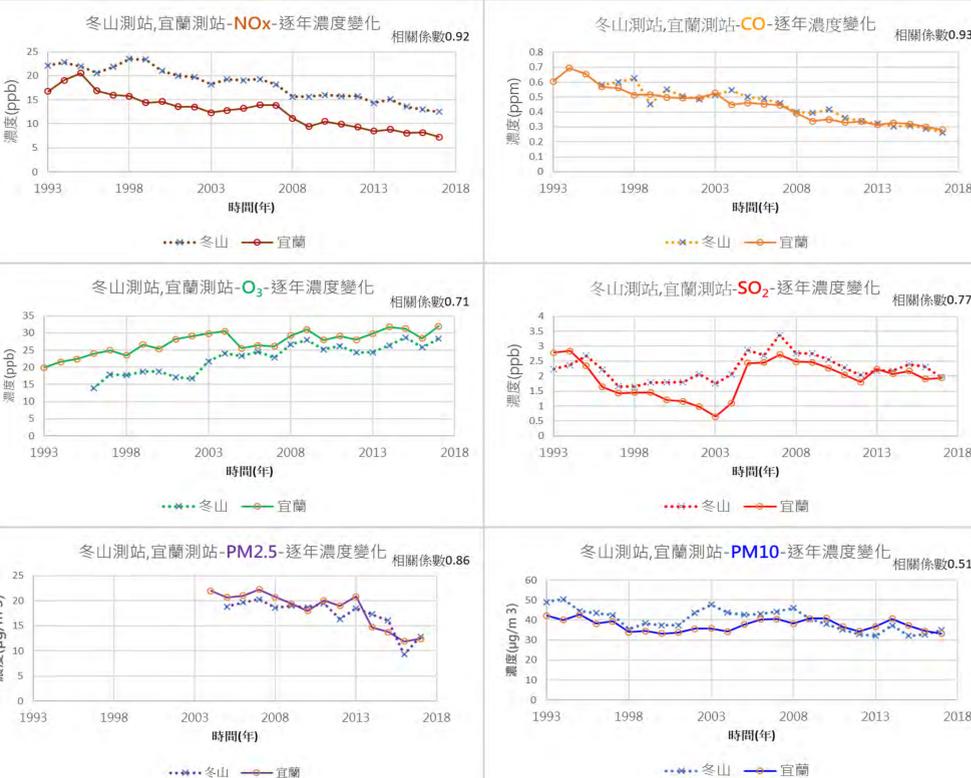
4. SO<sub>2</sub>濃度變化較無明顯趨勢，而濃度值大致上是冬山測站濃度高於宜蘭測站。冬山測站東側有著龍德與利澤工業區，其皆有著對宜蘭地區硫氧化物濃度影響最大的化學材料製造業，使得冬山測站SO<sub>2</sub>濃度大於宜蘭測站。

5. PM<sub>2.5</sub>在兩測站皆有明顯逐年下降趨勢。依據固定汙染源逸散性粒狀汙染物空氣汙染防制設施管理辦法，規範固定汙染源應設置或採行空氣汙染防制措施，使PM<sub>2.5</sub>濃度在此有顯著下降趨勢。

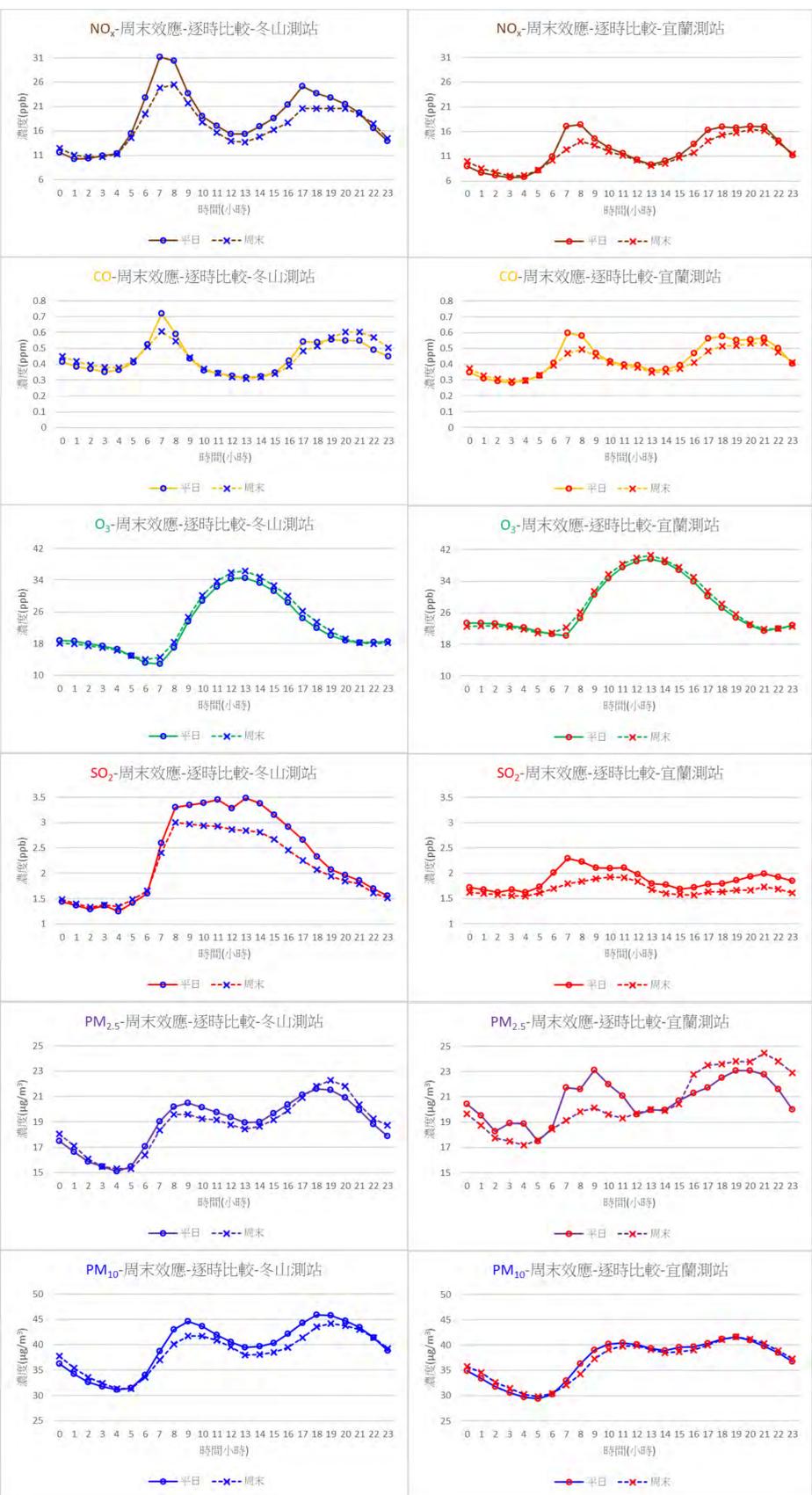
6. PM<sub>10</sub>在冬山測站浮動較大，不過大致上是逐年下降，而宜蘭測站逐年濃度起伏十分平穩。兩地間相關係數僅0.51，顯示出影響PM<sub>10</sub>濃度的因素在兩地可能有所不同。

## 三、宜蘭測站、冬山測站—逐年濃度比較：

### (一)各污染物逐年濃度圖（資料年份為1993~2017年）



#### 四、宜蘭、冬山測站—周末效應—逐時濃度： (一)各污染物—周末效應—逐時濃度圖 (資料年份為1996~2016年)



#### 五、宜蘭、冬山測站—逐季濃度比較： (一)各污染物逐季濃度圖 (資料年份為1996~2016年)



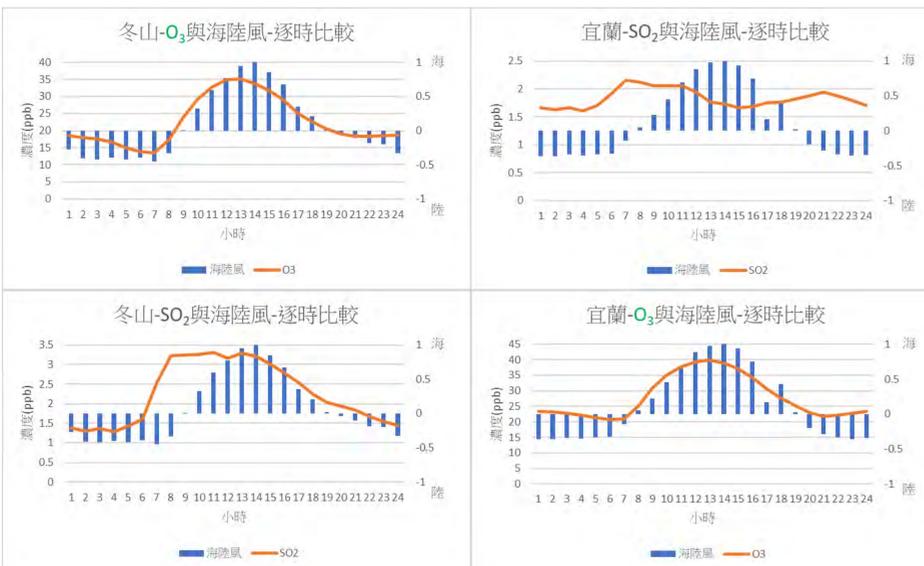
#### (二)觀察與討論

- (1-1) NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 冬季皆偏高。NO之所以冬季較多，有2種可能因素影響，第一種是從CO + NO<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + NO中，可知CO上升可生成較多NO，第二種為O<sub>3</sub> + NO → O<sub>2</sub> + NO<sub>2</sub>反應式中，當O<sub>3</sub>下降導致NO消耗量減少。而又NO<sub>2</sub>在冬天分解少，因此NO<sub>2</sub>冬季濃度較高。
- (1-2) NO在夏季較高，則可參照NO<sub>2</sub>  $\xrightarrow{h\nu(\lambda < 430nm)}$  NO + O，因為日照時數增加，導致NO生成量增多。
- (2-1) 春天O<sub>3</sub>濃度較高，由前述：若大氣中僅有NO<sub>x</sub>而無VOCs存在，對流層中O<sub>3</sub>濃度將無法累積。但若大氣中有VOCs存在，則可與NO進行反應並轉換生成NO<sub>2</sub>、降低空氣中NO的濃度，進而導致空氣中NO<sub>2</sub>濃度的增加，而使O<sub>3</sub>的濃度在大氣中累積，由於春天NO較少，可推論VOCs春天較多導致臭氧濃度在春季累積較多。
- (3-1) SO<sub>2</sub>在宜蘭測站為冬季濃度最高，而冬山卻是夏季濃度最高。由於SO<sub>x</sub>多來自固定式污染源，且冬山站之東側有龍德和利澤工業區，造成SO<sub>2</sub>在兩測站關聯性較低。
- (4-1) PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>在春季濃度有較高的現象，經沙塵網站之介紹得知，冬、春季為沙塵暴發生的主要季節，以3月至5月發生頻率最高，故出現春季濃度偏高的狀況。

- (1-1) 以NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、CO為一組，而O<sub>3</sub>為一組，前者皆在平日有較高的峰值，後者則在周末有較高的峰值。
- (1-2) 此五種污染物於深夜均有污染物濃度交替的現象（污染物濃度交替：意指平日、周末濃度高的一邊在深夜濃度會轉為低的一邊）。
- (2-1) 至於SO<sub>2</sub>兩測站的污染物濃度值皆為平日高於周末。另外，冬山測站的深夜也有污染物濃度交替的現象。
- (3-1) 最後PM<sub>10</sub>及PM<sub>2.5</sub>，雖然宜蘭測站的PM<sub>2.5</sub>折線圖顯得較凌亂，但污染物濃度大致皆為平日高於周末。冬山測站和宜蘭測站之污染物濃度差異甚小，而兩者也皆在深夜有污染物濃度交替的現象。

#### 六、宜蘭、冬山測站—逐時濃度與海陸風程度比較： 討論相關性極高者，如下表 此處利用原始逐時風向與風速資料減去24小時滑動平均後的數據，以減去盛行風之影響。

#### (一)逐時濃度與海陸風逐時變化疊圖 (資料年份為1996~2016年)



#### (二)觀察與討論

- 1. O<sub>3</sub>逐時濃度變化與海陸風的逐時變化有著相關係數高達0.9的高度正相關，也就是當海風比例增加時，O<sub>3</sub>濃度跟著升高，當陸風比例增加，O<sub>3</sub>濃度則下降。也因此可推論O<sub>3</sub>濃度變化除了與光化反應有關外，也與海陸風有關。
- 2. SO<sub>2</sub>與海陸風逐時變化在冬山有r=0.76之高度正相關，宜蘭則是r=0.08低度相關，推論是因為SO<sub>x</sub>的來源多是固定污染源，且冬山站之東側有著龍德和利澤工業區，故當海風比例增加會帶來較多硫氧化物污染物。

相關係數	宜蘭	冬山
CO	0.028479	-0.51024
NO	0.151981	-0.14388
NO2	0.040187	0.189203
NOx	0.073207	0.025086
O3	0.962323	0.966332
SO2	0.087715	0.762231
PM 2.5	0.234525	0.568375
PM10	0.687702	0.543276

## 陸、結論

### 一、結論

- (一) 在特定時間尺度下，NO<sub>x</sub>與O<sub>3</sub>都呈反向變動的關係。逐時濃度是由於光化學反應使NO<sub>x</sub>和O<sub>3</sub>一直保有相反的趨勢；而逐年濃度是由於法規限制使NO<sub>x</sub>濃度下降，造成O<sub>3</sub>相對上升。而反向變動的關係，在周末效應及雪隧通車前後的比較中皆有呈現出來，再次驗證出光化學反應之重要性。
- (二) SO<sub>2</sub>的濃度變化主要受工業區的影響。在逐時濃度中冬山測站的濃度值就相對宜蘭測站高出許多；從平日和周末的比較來看，在工廠大多運轉的平日，的確SO<sub>2</sub>濃度顯得較周末為高，而單就逐時濃度來看，海陸風在一日中的變化對SO<sub>2</sub>濃度的表現也忠實地呈現在我們的數據上。
- (三) PM<sub>10</sub>及PM<sub>2.5</sub>由於排放來源較複雜，故各圖表中的濃度變化較雜亂，但若僅挑出沙塵事件來分析，沙塵事件發生的幾日內，PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>濃度皆會有顯著的上升，也確認中國大陸的沙塵確實會對台灣空氣品質帶來極大影響。
- (四) 在逐年濃度圖表中，由於多項針對空氣污染排放之法規，使得氮氧化物系列、CO、PM<sub>2.5</sub>與PM<sub>10</sub>濃度呈現逐年下降的趨勢。而O<sub>3</sub>仍為逐年上升，則是由於NO<sub>x</sub>濃度的下降，與O<sub>3</sub>反應的物質減少，使得O<sub>3</sub>累積於大氣中。

### 二、未來展望

- (一) 深澳火力發電廠早期曾為台灣最大的發電廠，但在2007年時，由於原有機組過於老舊，於是在除役後推動更新擴建計畫。近日來，此項更新計畫成為了新聞上的焦點，惟大眾對於空氣污染議題的重視，使得此計畫窒礙難行。台電認為台灣能源短缺，98%燃料仰賴進口，為維持供電穩定、避免仰賴單一能源，燃煤電廠仍扮演一定角色。
- (二) 若能運用此研究中對於各污染物排放特性及氣象因子之討論觀點（如季風），也許能更清楚分析出電廠運作對於北部、東部地區環境的影響，進一步找出用電需求與空氣品質間的平衡點。