

# 國家科學及技術委員會

## 112 年度科技行政自行研究報告

題目：季節溫度變化對煙流上升高度及異味垂直擴散作用之影響

研究單位：國家科學及技術委員會新竹科學園區管理局

研究人員：賴昱璋、鄭楹枚

研究期程：111 年 12 月-112 年 12 月

## 目錄

<b>第一章 前言</b>	
1-1 計畫緣起	1
1-2 計畫目的研究方法流程與目標	4
<b>第二章 資料蒐集</b>	
2-1 園區空品測站監測數據分析	5
<b>第三章 研究與方法</b>	
3-1 大氣擴散原理介紹	15
3-2 大氣擴散模式介紹	17
3-3 蒲福風級與大氣邊界層對污染物擴散之探討	22
<b>第四章 結果與討論</b>	
4-1 大氣擴散模式條件設定	25
4-2 大氣擴散模式模擬結果探討	26
<b>第五章 結論與建議</b>	
5-1 結論	39
5-2 建議	40
<b>參考文獻</b>	42

## 圖目錄

圖 1-1	當氣體溫度低於外界環境溫度時氣流特性(以乾冰為例)	3
圖 1-2	當氣體溫度高於外界環境溫度時氣流特性(以水蒸氣為例)	3
圖 2-1	苗栗地區空氣品質監測站所在位置圖	6
圖 2-2	竹南北站 111 年 12 月至 112 年 11 月溫度變化	6
圖 2-3	竹南北站 111 年 12 月至 112 年 11 月濕度變化	7
圖 2-4	空氣品質監測站 111 年 12 月風玫瑰圖	9
圖 2-5	空氣品質監測站 112 年 1 月風玫瑰圖	9
圖 2-6	空氣品質監測站 112 年 2 月風玫瑰圖	10
圖 2-7	空氣品質監測站 112 年 3 月風玫瑰圖	10
圖 2-8	空氣品質監測站 112 年 4 月風玫瑰圖	11
圖 2-9	空氣品質監測站 112 年 5 月風玫瑰圖	11
圖 2-10	空氣品質監測站 112 年 6 月風玫瑰圖	12
圖 2-11	空氣品質監測站 112 年 7 月風玫瑰圖	12
圖 2-12	空氣品質監測站 112 年 8 月風玫瑰圖	13
圖 2-13	空氣品質監測站 112 年 9 月風玫瑰圖	13
圖 2-14	空氣品質監測站 112 年 10 月風玫瑰圖	14
圖 2-15	空氣品質監測站 112 年 11 月風玫瑰圖	14

圖 3-1	大氣擴散模式污染物擴散示意圖	15
圖 3-2	煙囪受到鄰近建物影響煙流變化情況	21
圖 3-3	地表粗糙度於各種環境下風力梯度變化情況	23
圖 4-1	近地面風速與煙囪頂部風速趨勢圖	30

## 表目錄

表 1-1	近 3 年環保報案專線陳情件數統計	4
表 2-1	竹南東站監測數據	7
表 2-2	竹南西站監測數據	7
表 2-3	竹南南站監測數據	8
表 2-4	竹南北站監測數據	8
表 2-5	苗栗站監測數據	8
表 2-6	頭份站監測數據	8
表 3-1	擴散模式風速及大氣穩定度分級	19
表 3-2	蒲福風級表	24
表 4-1	水平風速( $U_H$ )與地面風速之關係	30
表 4-2	煙流為射流(Jet)時出口速度( $U_0$ )與水平風速( $U_H$ )之關係	30
表 4-3	煙流為浮流(Plume)時逐月溫度與出口速度( $U_0$ )關係(20°C)	31
表 4-4	出口溫度(20°C)與季節溫度變化煙流的上升高度關係	32
表 4-5	煙流為浮流(Plume)時逐月溫度與出口速度( $U_0$ ) 關係(25°C)	33
表 4-6	出口溫度(25°C)與季節溫度變化煙流的上升高度關係	34
表 4-7	煙流為浮流(Plume)時逐月溫度與出口速度( $U_0$ ) 關係(30°C)	35
表 4-8	出口溫度(30°C)與季節溫度變化煙流的上升高度關係	36

表 4-9 煙流為浮流(Plume)時逐月溫度與出口速度( $U_0$ ) 關係(35°C) 37

表 4-10 出口溫度(35°C)與季節溫度變化煙流的上升高度關係 38

## 第一章 前言

### 1-1 計畫緣起

傳統空氣污染控制學說認為，臺灣冬季因受到東北季風盛行並且伴隨大陸地區北方冷空氣的南下，導致南下高氣壓冷空氣會夾帶境外沙塵暴入境，因而冬季時空氣污染頻率與影響較夏季嚴重。然而，經過統計本局環保陳情報案專線數據結果得知，異味的陳情之好發時段往往落於每年5月至10月之間，特別是室外溫度炎熱的夏季夜晚或缺乏日照情況下降雨前階段(尚未降雨前濕度上升期間，且伴隨土黴味產生)特別容易接獲民眾陳情異味事件，另外每年11月伴隨大葉山欖開花季節到來，其獨特淡淡瓦斯味，亦常被民眾誤認為空氣污染事件產生，由於眾多事件加乘之影響，間接影響到異味污染源來源鑑定與成因分析，故本研究嘗試以基礎大氣擴散學理，簡要分析可能造成異味來源與主要原因，以期未來能供給第一線從事污染防治人員操作上之參考。

空氣污染物自排放源釋放至大氣後主要有輸送作用、擴散作用、轉化作用及移除作用等4大作用運行到達地面：(1)輸送(transport)：排放於大氣的污染物，被風吹到下風處，而被周圍空氣所混合及稀釋，其程度視風向及風速而有所不同；(2)擴散(diffusion)：主要是指大氣的垂直擴散能力，污染物不僅隨盛行風作水平方向的輸送，同時也在垂直方向擴散；(3)轉化(transformation)：污染物滯留於大氣中時，常發生物理、化學或生物反應，而轉化為其他物質；(4)移除(removal)：大氣中的污染物可能經由乾沉降、濕沉降及截流等3種過程而從大氣中移除：(a)乾沈降(dry deposition)：主要是指存在大氣中的懸浮微粒或粒徑較大的落塵，因重力作用而自然降落；(b)溼沈降(wet

deposition)：主要是以霜、雪、雲、雨、霧等降水形式，將其中之化學物質沈降至地表。一般而言，大氣中污染物的移除以溼沈降較受到重視，百分之八十以上的氣懸微粒都可藉由溼沈降的方式去除。(c)截流 (Occult deposition)：是指雲滴或霧滴與植物葉面或其他表面接觸而被截留者，通常發生在山區較多。

其中，污染物傳輸4大作用中又以水平方向之輸送作用與垂直方向之擴散作用為空氣污染擴散之大宗，影響輸送作用因素為氣象條件因素如風速與風向決定傳輸方向與距離；而影響擴散作用因素有煙囪設置高度、煙道氣體出口速度及出口溫度等條件，由於垂直擴散等因素可由人為操作進行控制，故本研究以大氣擴散模式進行探討以期能尋找出最佳操作參數，以供園區從業人員能於天候不佳狀態下調整操作參數降低異味之產生。

分析本局陳情案件統計並進行廠區現場巡稽查後發現，異味陳情好發時段與教科書述學理不盡相同，園區大型高科技工廠(含無塵室工廠)，由於製程所須故於無塵環境下作業，故工作人員需身著無塵衣進行工作，因此工廠需要在空調(控溫、控濕及除塵)環境下作業，故大部分工廠需要將無塵室溫度恆定於23°C以維護製程良率及人員舒適程度，也由於半導體工廠產線特性關係(24小時連續運作與低溫環境)導致炎熱夏天夜晚排放管道均會有水氣凝結於煙囪表面之現象產生，此現象代表煙囪內氣體溫度較室外溫度低，受限於內外溫差而導致水氣凝結，故依據熱空氣上升冷空氣下降之原理(圖1-1及圖1-2)，當排放管道內氣體溫度低於外界溫度時將不足以提供充足的上升浮力，受到外界溫度變化影響之程度即是本研究所關心之主要議題之一。



圖 1-1 當氣體溫度低於外界環境溫度時氣流特性(以乾冰為例)



圖 1-2 當氣體溫度高於外界環境溫度時氣流特性(以水蒸氣為例)

## 1-2 計畫目的研究方法流程與目標

新竹科學園區管理局執行「新竹科學園區周界異味污染源調查計畫」陸續針對園區廠商進行污染源調查與排放管道污染源檢測，藉由檢測數據分析與減量協談協助廠商改善防制設備效率並降低異味陳情事件發生，當新竹園區獲得明顯改善成效後並推廣至竹南園區與龍潭園區，統計近3年環保報案專線陳情件數(表1-1)，新竹園區陳情件數由110年29件降至112年17件、竹南園區陳情件數由110年4件降至112年0件、龍潭園區陳情件數由110年16件降至112年3件，雖然異味事件有所改善，但在天候狀態不佳情況下，仍偶有異味事件發生，故大氣擴散條件對污染物擴散之影響即是本研究之重點。

本研究首先蒐集相關空氣污染氣象數據、空氣污染及大氣擴散相關文獻，包括國內外污染發生、傳輸機制與控制對策之文獻及相關防治設備等資料，並利用廠商排放管道數據帶入大氣擴散模式進行分析探討。綜合上述可以歸納下列幾點：

1. 蒐集園區空氣品質測站監測成果。
2. 大氣擴散原理及模式介紹。
3. 利用大氣擴散模式模擬煙流上升階段煙道氣體特性。
4. 建議與改善對策。

表 1-1 近 3 年環保報案專線陳情件數統計

所屬園區	110年	111年	112年	總計
竹南科學園區	4	0	0	4
新竹科學園區	29	41	17	87
龍潭科學園區	16	10	3	29
總計(份)	49	51	20	120

## 第二章 資料蒐集

### 2-1 園區空品測站監測數據分析

風速與風向是決定大氣水平輸送作用之主要因素，本研究蒐集彙整竹南園區內 4 座空氣品質監測站、環境部苗栗站與頭份站(圖 2-1)自 111 年 12 月至 112 年 11 月逐月風花圖、逐月溫度及濕度進行討論，測站數據如表 2-1 至表 2-6，由於竹南園區測站彼此間距離不逾 5 公里且地形平整，故整體溫度與濕度月平均變化測值差異不大，竹南北站最低平均溫度為落於 2 月其溫度為 16.2°C；最高平均溫度為落於 8 月其溫度為 30.0°C(表 2-4)，濕度部分月平均值介於 71.1%至 81.9%間差異不大，故本研究將以竹南北站量測值為比較基準並繪製溫濕度變化(圖 2-2、2-3)，並以此數據帶入大氣擴散模式中加以探討擴散模擬之結果。

彙整各站風玫瑰圖後可以發現園區主要風向來自於東北方向及西南方向，111 年 12 月至 112 年 5 月風向大多來自於北方及東北方向(圖 2-4 至圖 2-9)，自 6 月份起風向趨於混亂(圖 2-10)而到 7 月及 8 月份後大多數測站風向均來自於西南方(圖 2-11 及圖 2-12)，而到 9 月份起又陸續轉為東北季風(圖 2-13 至圖 2-15)，經數年觀察，竹南地區風向大致以此趨勢為準逐年循環。雖然風速與風向決定了污染物輸送作用的傳輸方向與傳輸距離，但由於大氣外在風速與風向變化無法經由人為操作條件改變而影響，然而垂直擴散作用卻會受到煙囪高度、出口速度及煙道氣體溫度而影響改變，故本研究選擇以垂直擴散作用參數進行探討，以尋求最佳操作參數與應變條件。



圖 2-1 苗栗地區空氣品質監測站所在位置圖

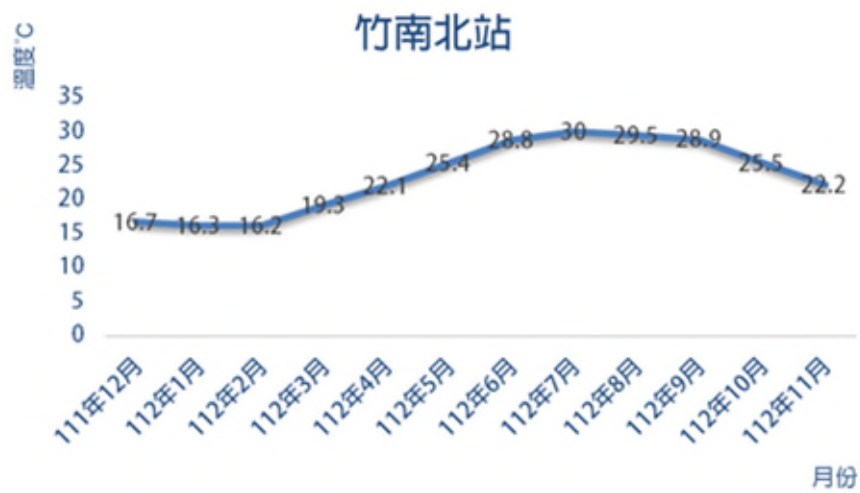


圖 2-2 竹南北站 111 年 12 月至 112 年 11 月溫度變化

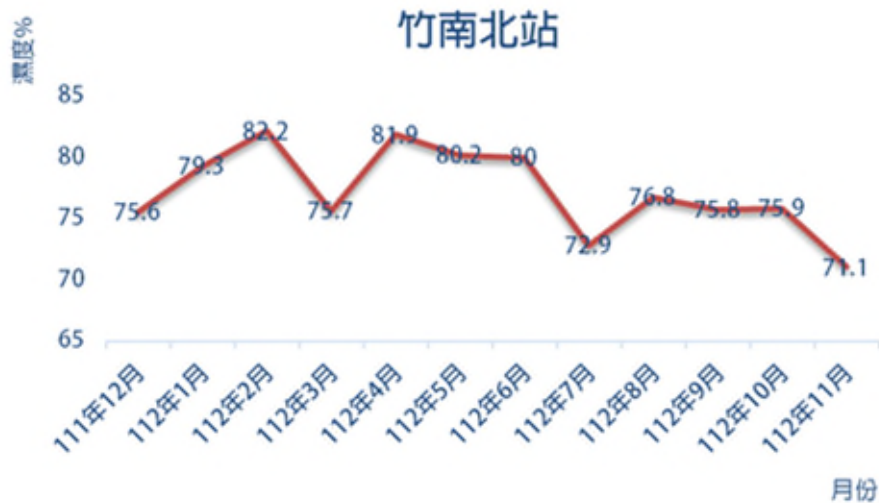


圖 2-3 竹南北站 111 年 12 月至 112 年 11 月濕度變化

表 2-1 竹南東站監測數據

竹南東站		
監測項目	溫度	濕度
月份		
單位	°C	%
111 年 12 月	16.8	75.7
112 年 1 月	16.6	76.5
112 年 2 月	16.6	77.2
112 年 3 月	19.7	73.2
112 年 4 月	22.4	79.8
112 年 5 月	25.7	81.0
112 年 6 月	29.0	82.9
112 年 7 月	30.2	76.6
112 年 8 月	29.8	79.2
112 年 9 月	29.2	80.2
112 年 10 月	25.9	79.0
112 年 11 月	22.4	77.7

表 2-2 竹南西站監測數據

竹南西站		
監測項目	溫度	濕度
月份		
單位	°C	%
111 年 12 月	16.6	82.5
112 年 1 月	16.0	84.5
112 年 2 月	16.1	84.5
112 年 3 月	19.7	71.9
112 年 4 月	22.5	76.5
112 年 5 月	25.7	76.2
112 年 6 月	29.1	77.8
112 年 7 月	30.3	72.4
112 年 8 月	29.9	75.8
112 年 9 月	29.3	75.1
112 年 10 月	25.9	74.8
112 年 11 月	22.5	71.6

表 2-3 竹南南站監測數據

竹南南站		
監測項目	溫度	濕度
月份		
單位	°C	%
111年12月	16.5	80.3
112年1月	16.3	82.6
112年2月	16.1	83.4
112年3月	19.2	76.2
112年4月	21.9	83.4
112年5月	25.1	84.3
112年6月	28.5	85.4
112年7月	29.7	79.0
112年8月	29.1	84.2
112年9月	28.5	81.6
112年10月	25.2	80.7
112年11月	21.7	79.7

表 2-4 竹南北站監測數據

竹南北站		
監測項目	溫度	濕度
月份		
單位	°C	%
111年12月	16.7	75.6
112年1月	16.3	79.3
112年2月	16.2	82.2
112年3月	19.3	75.7
112年4月	22.1	81.9
112年5月	25.4	80.2
112年6月	28.8	80.0
112年7月	30.0	72.9
112年8月	29.5	76.8
112年9月	28.9	75.8
112年10月	25.5	75.9
112年11月	22.2	71.1

表 2-5 苗栗站監測數據

苗栗站		
監測項目	溫度	濕度
月份		
單位	°C	%
111年12月	16.7	74.3
112年1月	16.3	77.6
112年2月	16.2	79.5
112年3月	19.6	72.2
112年4月	22.7	75.4
112年5月	25.9	74.4
112年6月	29.9	71.8
112年7月	30.5	69.5
112年8月	30.0	72.8
112年9月	29.1	74.2
112年10月	25.6	75.1
112年11月	22.2	71.1

表 2-6 頭份站監測數據

頭份站		
監測項目	溫度	濕度
月份		
單位	°C	%
111年12月	17.5	80.3
112年1月	17.1	83.6
112年2月	16.9	85.8
112年3月	20.1	80.9
112年4月	22.9	87.6
112年5月	26.2	87.3
112年6月	29.4	76.6
112年7月	30.6	70.5
112年8月	30.1	74.1
112年9月	29.0	77.0
112年10月	25.7	77.3
112年11月	22.1	73.4

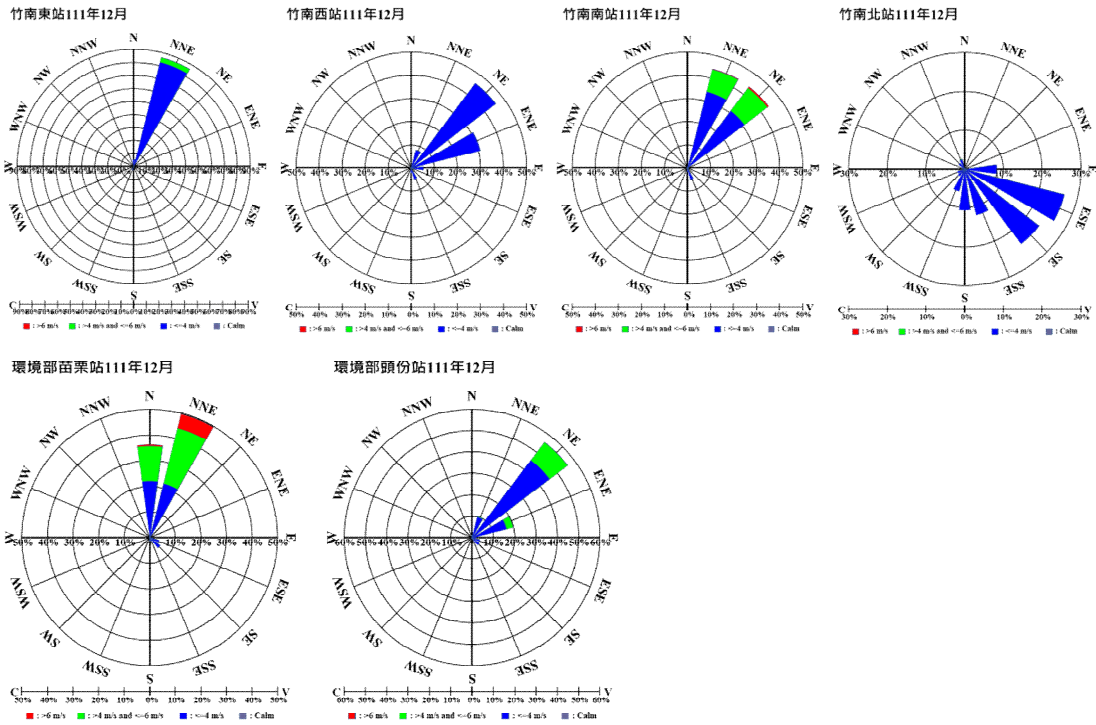


圖 2-4 空氣品質監測站 111 年 12 月風玫瑰圖

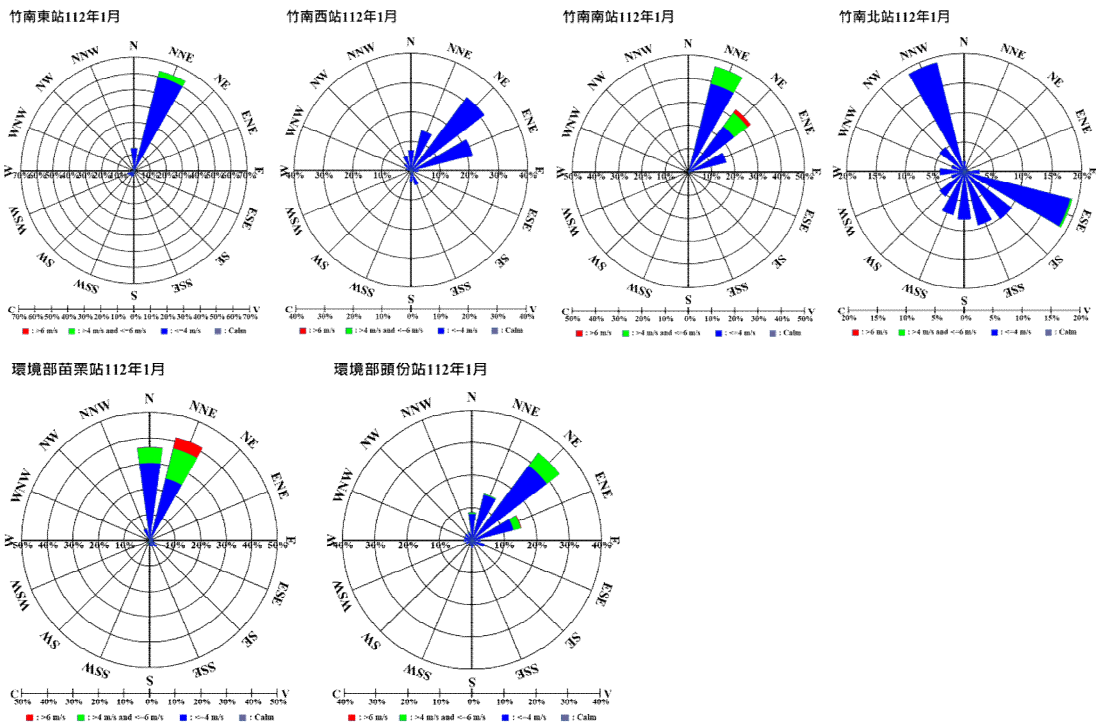


圖 2-5 空氣品質監測站 112 年 1 月風玫瑰圖

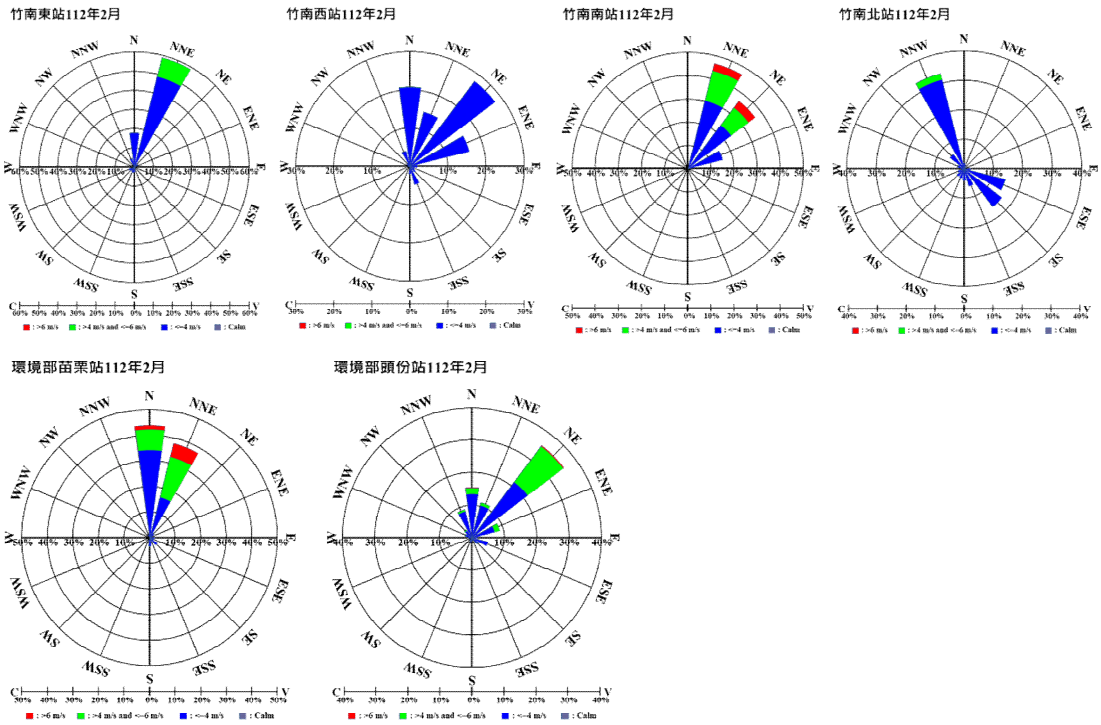


圖 2-6 空氣品質監測站 112 年 2 月風玫瑰圖

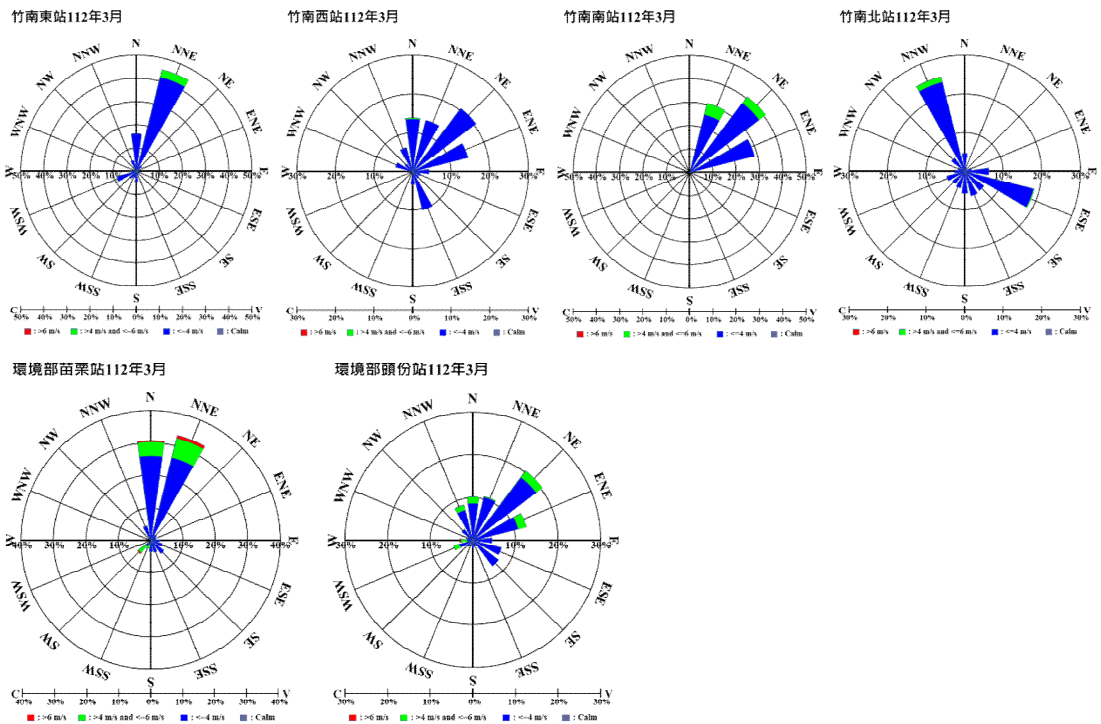


圖 2-7 空氣品質監測站 112 年 3 月風玫瑰圖

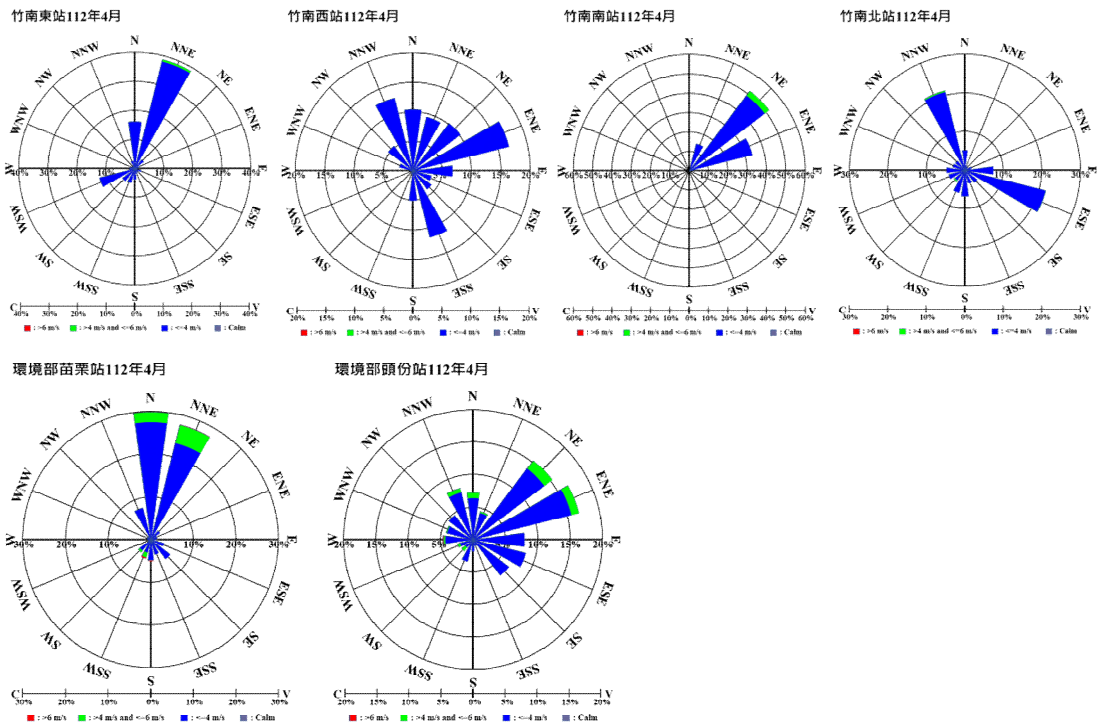


圖 2-8 空氣品質監測站 112 年 4 月風玫瑰圖

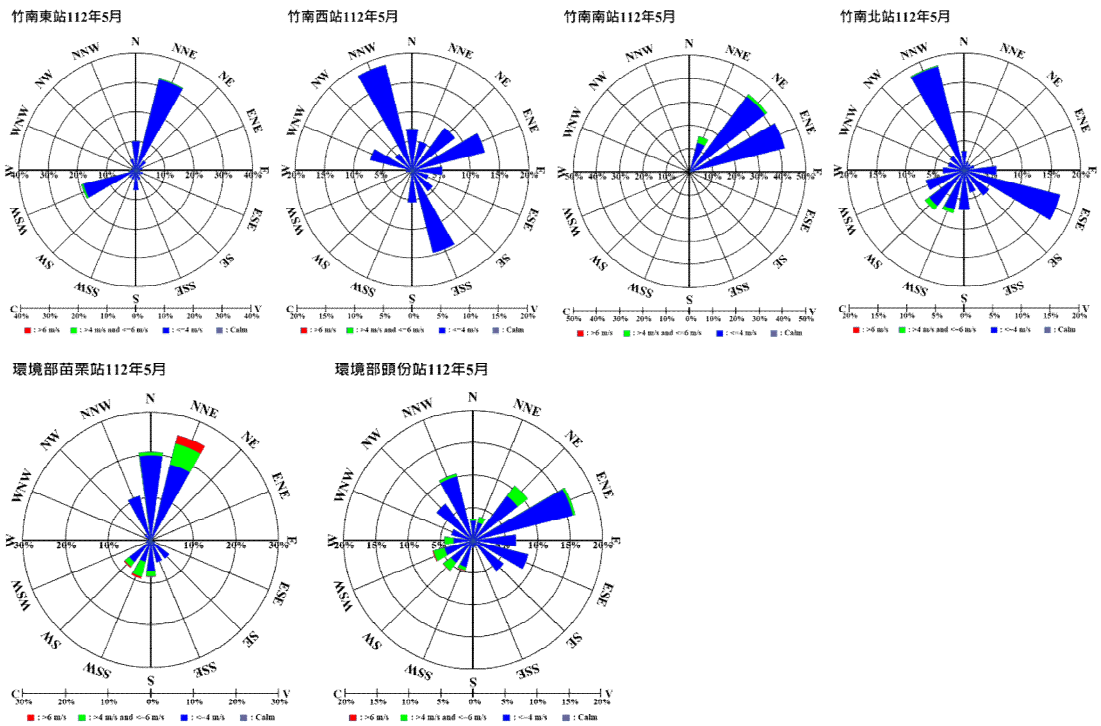


圖 2-9 空氣品質監測站 112 年 5 月風玫瑰圖

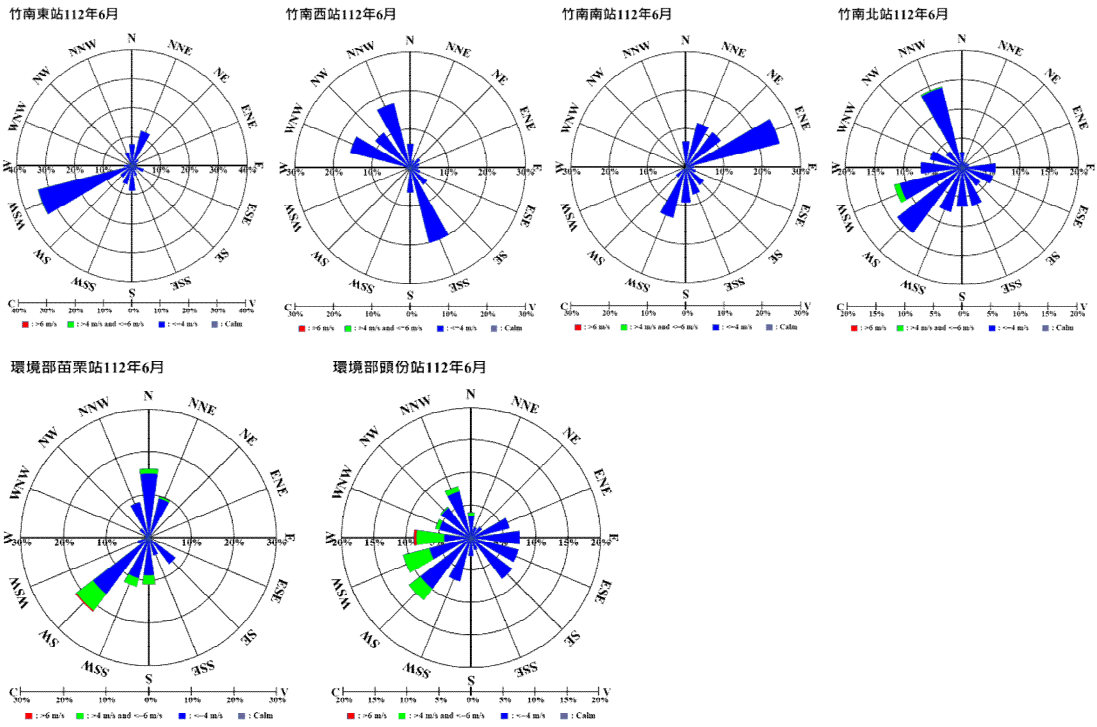


圖 2-10 空氣品質監測站 112 年 6 月風玫瑰圖

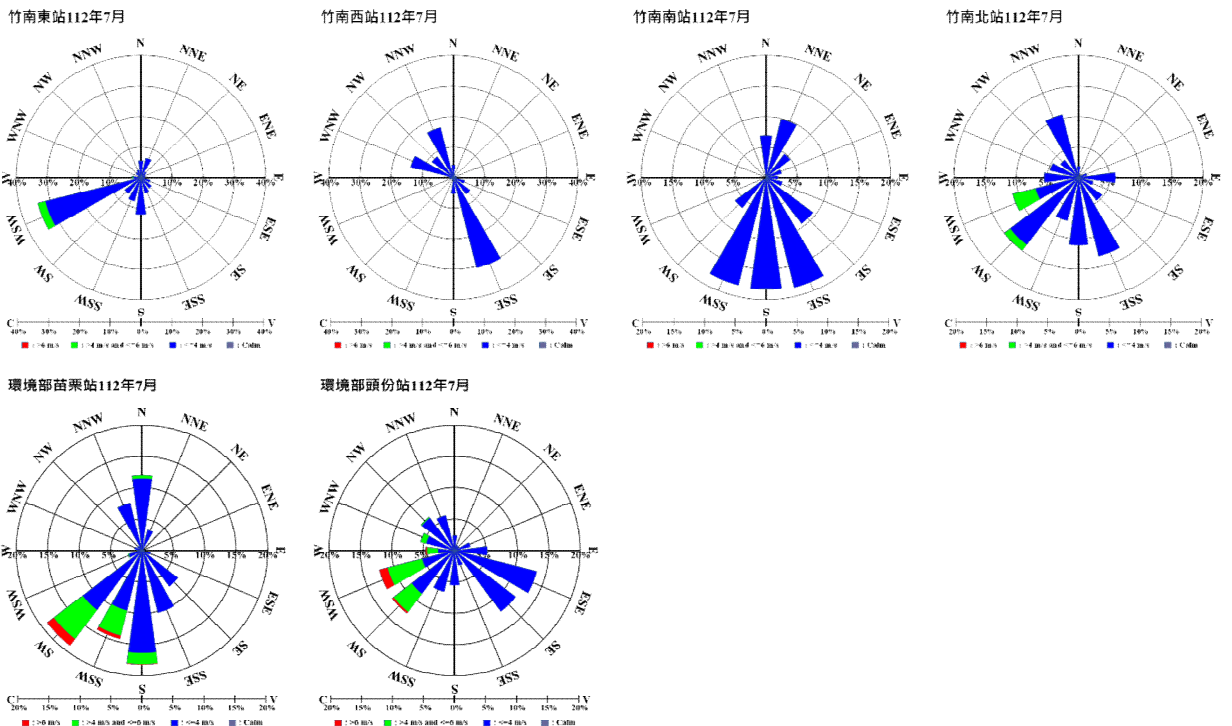


圖 2-11 空氣品質監測站 112 年 7 月風玫瑰圖

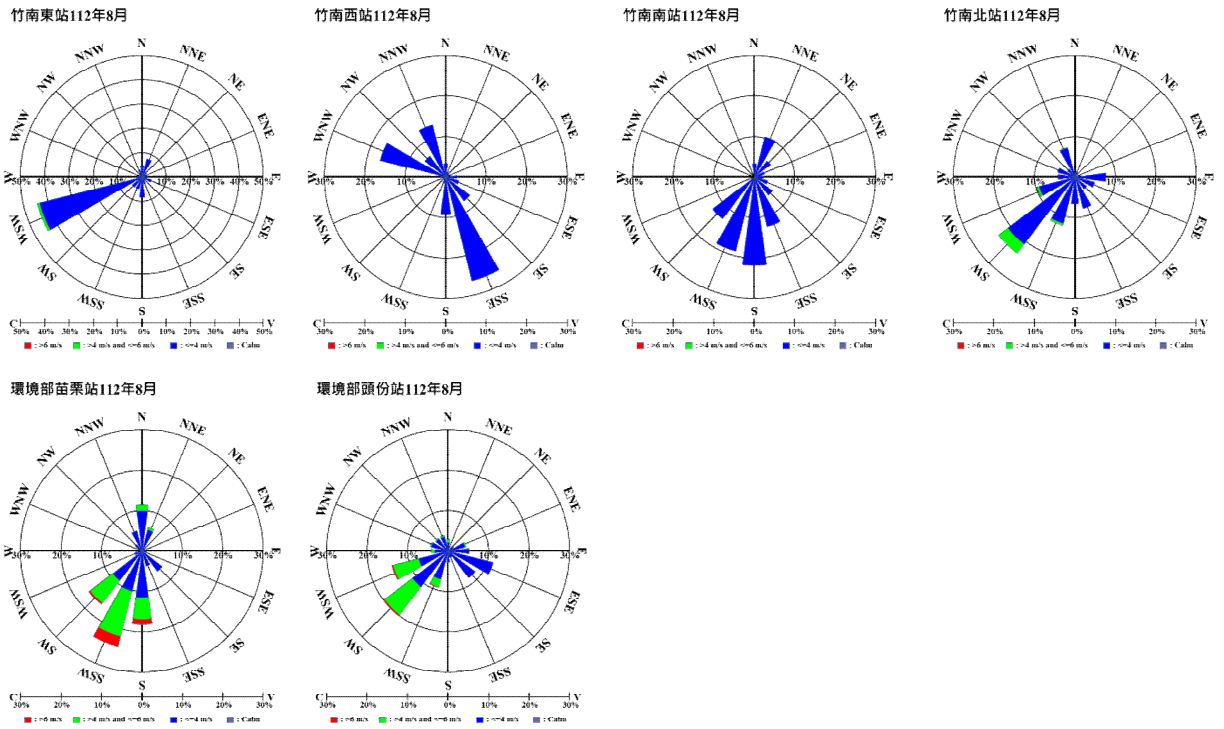


圖 2-12 空氣品質監測站 112 年 8 月風玫瑰圖

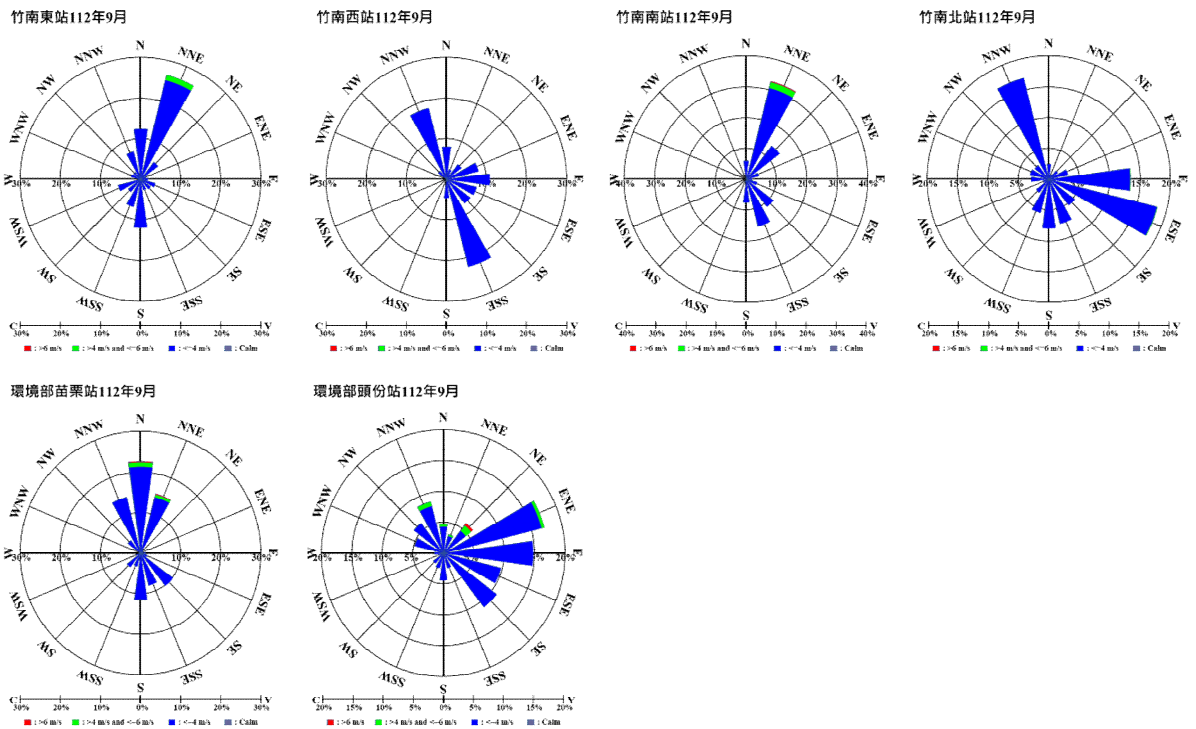
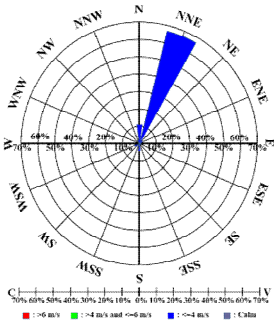
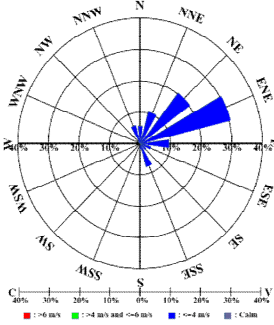


圖 2-13 空氣品質監測站 112 年 9 月風玫瑰圖

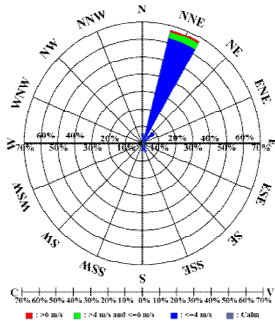
竹南東站112年10月



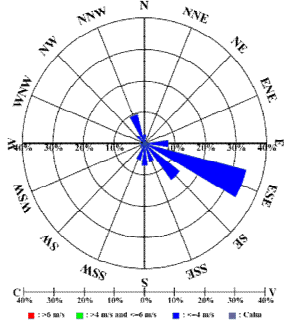
竹南西站112年10月



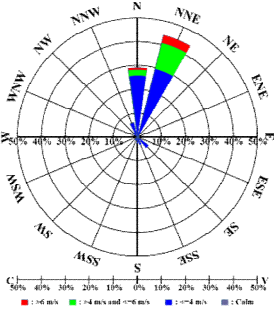
竹南南站112年10月



竹南北站112年10月



環境部苗栗站112年10月



環境部頭份站112年10月

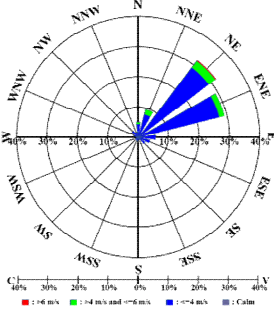
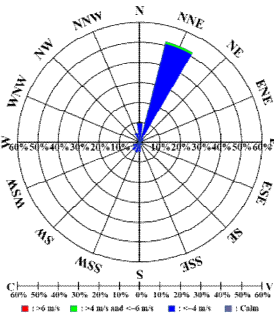
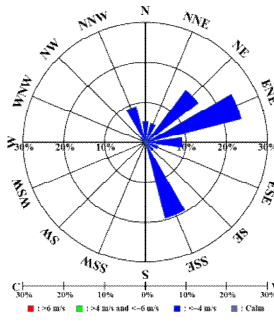


圖 2-14 空氣品質監測站 112 年 10 月風玫瑰圖

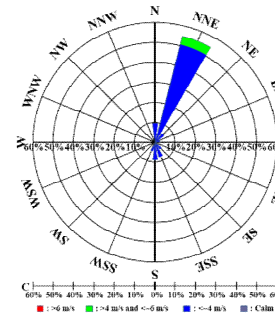
竹南東站112年11月



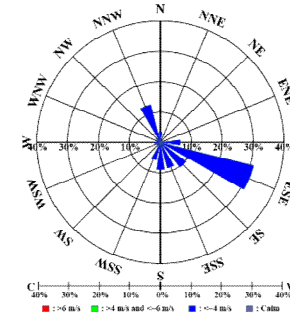
竹南西站112年11月



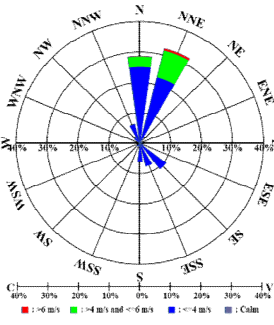
竹南南站112年11月



竹南北站112年11月



環境部苗栗站112年11月



環境部頭份站112年11月

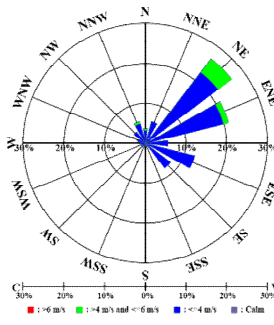


圖 2-15 空氣品質監測站 112 年 11 月風玫瑰圖

### 第三章 研究方法

#### 3-1 大氣擴散原理介紹

大氣煙流上升過程主要可分為四個階段：(1)煙流噴出階段：此個階段主要依靠煙囪內鼓風機帶動，藉由鼓風機抽送速風量將煙囪內氣體向上噴射；(2)煙流上升階段：藉由於煙流的出口速度與氣體溫度熱浮力之作用促使煙流上升，假如煙道氣體溫度較室外溫度高，氣體離開煙囪後因熱浮力上升，此時氣體會膨脹導致其密度比空氣小，故產生熱浮力上升；(3)氣流垂直擴散作用：當煙氣上升到一定高度後，煙流與空氣充分混合後，當溫度達到平衡後因為失去上浮動量進而導致和煙道氣體停留於固定高度無法向上擴散；(4)氣流水平輸送作用階段：這時煙流上升於固定高度停止，受到大氣風速與風向的作用下，朝向下風處擴散，使煙流愈漂越遠。(圖 3-1)

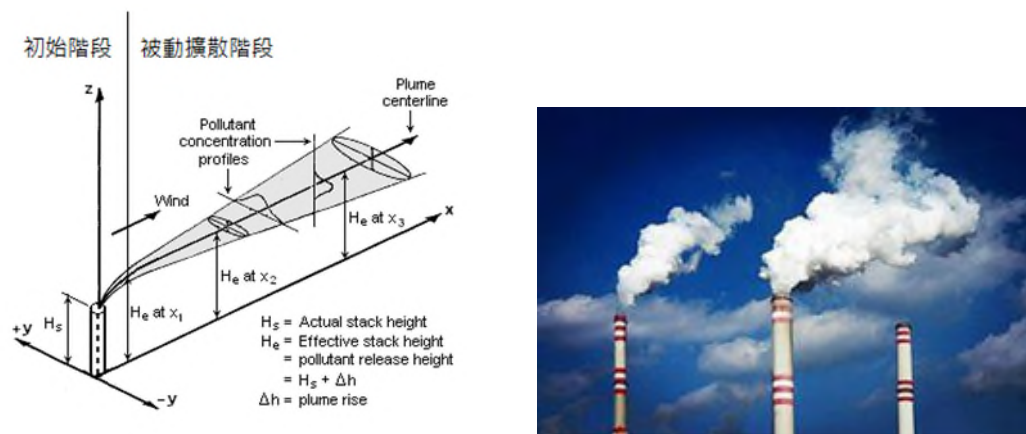


圖 3-1 大氣擴散模式污染物擴散示意圖

影響煙道氣體上升的因素主要源自於初始階段，從煙道氣體的上升過程可以發現，影響煙道氣體上升的主要因素有煙流本身的熱浮力、出口風速、所在地的氣象條件及下風處地面條件，前面兩項因素與工廠有關，後面兩種因素與環境條件有關。

煙道氣體上升首先取決於它本身的出口速度與上升浮力。出口速度取決於鼓風機排氣速度的快慢，而排氣速度的快慢又與排煙裝置及煙囪的出口直徑有關，速度越大，出口速度越快煙流上升的越高。煙道氣體的上升浮力與大氣周界空氣密度差成正比。密度差的大小主要決定於與大氣之間的溫度差。溫差愈大，密度差也愈大，產生的浮力也愈大，煙雲上升愈高。許多實測資料證明，煙流上升高度主要受熱浮力及出口速度等因素之影響。

煙氣排入大氣後，究竟能上升多高，主要仍需取決於大氣氣象條件，其中影響最大的因子是煙囪口處水平平均風速和大氣紊流的強度。接近地表的大氣紊流狀況是引起煙流和環境空氣相互混合的主要因素，平均風速越大，紊流越強，則混合越快速，煙流上升高度較小。

### 3-2 大氣擴散模式介紹

大氣擴散模式主要影響參數為風速、紊流強度、大氣穩定狀況及大氣對物質之反應，如配合邊界條件及初始條件，可以利用理論解析或數值模式求得污染物濃度之分佈，主要方程式為：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + E_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - kC \quad 3-1$$

其中：C=污染物濃度

K=反應常數

U=橫向風速(m/sec)

$E_x$ 、 $E_y$ 、 $E_z$ =x、y、z 方向之紊流擴散係數

故煙囪所排放之煙流為常見的空氣污染問題，通常在進行環境影響評估過程中往往需要計算煙流中的污染物在地面和空氣中的濃度分佈，其中又可以分為兩階段探討 (1)初始階段：煙流的擴散受到煙氣本身之速度動量、熱浮力及風速等參數的影響，擴散屬於主動混合； (2)被動擴散階段：煙氣擴散的主要影響參數為風速、紊流強度、大氣穩定狀況(Atmospheric stability)，此時煙氣的擴散可視為被動混合，煙氣中的污染物會發生反應和沈降(Deposition)，進而影響到下風處不同位置的空氣品質。

在煙流擴散的初始階段，煙氣會浮昇至一個有效高度煙流 (Effective stack height)，然後自此高度在大氣中擴散。煙囪之有效高度即是：

$$h_e = h_s + \Delta h$$

3-2

依據煙流本身的出口動量和大氣的穩定程度，可大致分為以下幾種狀況：

(1)當煙流的排放速度大時，且煙流的溫度與外界周遭的氣溫 相差不多( $\Delta T < 50^\circ\text{C}$ )時，煙流的上升力是由煙流本身的動量 所控制，煙流屬於射流(Jet)，其浮昇的高度：

$$\Delta h = \beta D \frac{U_0^{1.4}}{U_H} \quad 3-3$$

其中：D=煙囪的直徑(m)，

$U_0$ =煙流初始速度(m/s)

$U_H$ =為煙囪高度的風速(m/s)，

$\beta$  為煙囪係數(有蓋的煙囪  $\beta=0$ ；無蓋的煙囪  $\beta=1$ )

(2)當煙流的排放速度小，且煙流溫度和周遭的氣溫差異很大時，煙流屬於浮流(Plume)。煙流的浮力通量公式為：

$$\beta_0 = \frac{\pi D^2 U_0}{4} \frac{\rho_0 - \rho_a}{\rho_a} = \frac{\pi D^2 U_0}{4} \frac{T_0 - T_a}{T_a} g \quad 3-4$$

其中： $T_a$ =外界溫度

$T_0$ =煙流初始溫度

煙流上升高度會因為大氣穩定度之不同而有不同：

(a) 中性和不穩定的大氣狀況：煙流的浮昇高度

$$\Delta h = 7.4 \frac{(\beta_0 D^2)^{\frac{1}{3}}}{U_H} \quad 3-5$$

(b) 穩定的大氣狀況：煙流的浮昇高度

$$\Delta h = 2.9 \left( \frac{\beta_0}{U_H S_1} \right)^{\frac{1}{3}} \quad 3-6$$

表 3-1 擴散模式風速及大氣穩定度分級

10公尺處的 地面風速 (m/sec)	日 入射的太陽輻射量			夜 雲量覆蓋比例	
	強	中	弱	>4/8 <sup>b</sup>	≤4/8
<2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D <sup>c</sup>	D	D

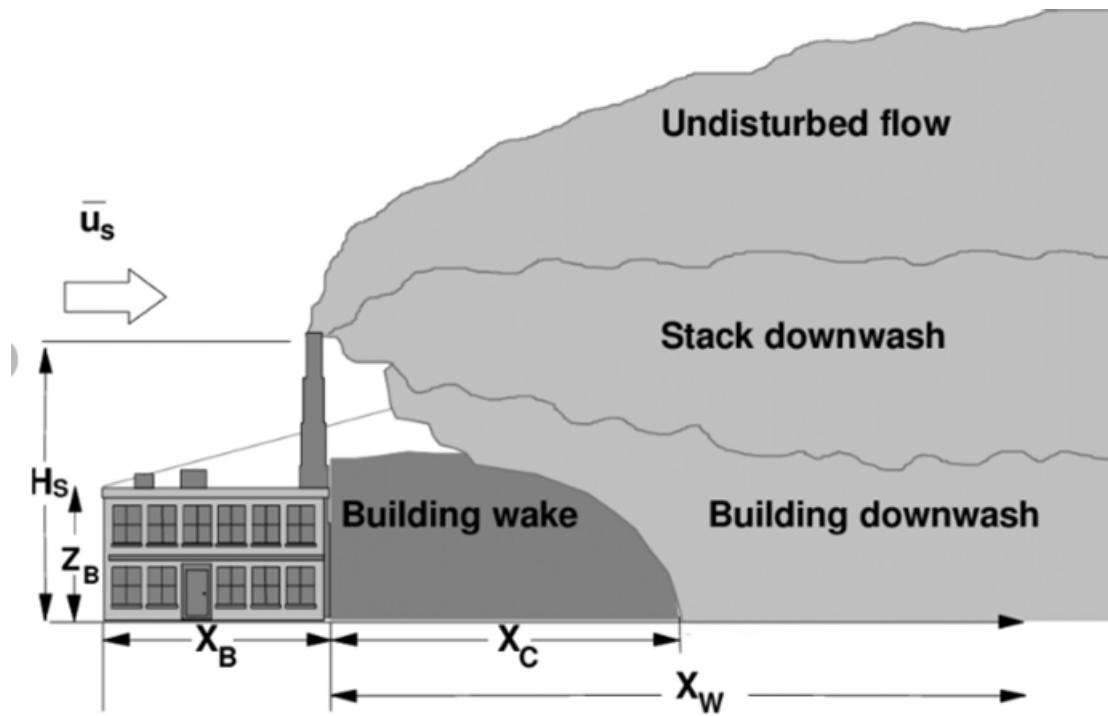
大氣擴散模式主要針對污染物從煙囪排放源排出來之後，對於下風處受體點受到大氣輸送及擴散作用後最終承受濃度之影響，期擴散示意圖如圖 3-1 所示，大氣模式主要受到影響之參數條件如下：

1. 有效煙囪高度與煙流垂直擴散作用：當煙道氣體從煙囪排放出污染物時，這個氣體會受到煙囪馬達帶動空氣之影響而受有上升之出口速度，故氣團離開煙囪後會先往上升高，除受到出口速度推送外，出口溫度之上升熱浮力亦是重要上浮因素之一，等到上升浮力與外界大氣達到平衡時氣團才不會持續上升。這個原本的煙囪高度，加上煙流因為機械帶動所造成的煙流上升高度，亦稱為有效煙囪高度，煙流上升後會受到外界大氣影響故會開始往下風處擴散如

圖 3-1。

2.煙流水平輸送作用：污染物由煙囪排放後主要受到風速與風向之影響，水平移動是由於被平流(advection)的輸送形式的風吹送造成污染物往下風處分布之平均運動所造成，此水平運動亦稱輸送作用；污染物的垂直的分布，通常被稱為擴散作用(diffusion)，擴散作用主要會受到風向影響亦溫度差變化亦是主要影響因素之一，相同高度狀況下，溫度下降越大擴散作用越強大氣越不穩定越有利污染物擴散；反之，相同高度狀況下，溫度下降越小擴散作用越弱大氣，相對穩定反而不利污染物擴散，另外大氣偶有高度越高溫度隨之升高之逆溫情況產生，此時污染物會停滯在此高度污染物既無法上升亦無法下降。故污染物藉由大氣輸送與擴散作用會朝向下風處做水平與垂直傳輸，越往下風處污染物氣團會隨之膨脹造成濃度稀釋變化。

3.建築物下洗作用：煙囪的有效高度不夠高，煙流便會被捲入尾流區中，造成建築物周遭區域污染物濃度的提高，此現象又稱為下沖現象，依據學說一般的煙囪高度設計規範大多要求煙囪有效高度應為相鄰廠房高度的 2.5 倍以上，避免煙流捲入建築物之尾流區中。 $H_s \geq Z_B + 1.5X_B$ ，詳細情況如圖 3-2 所示。



Snyder (1976)

圖 3-2 煙囪受到鄰近建物影響煙流變化情況

本研究參考之數據，源自於「111-113 新竹科學園區周界異味污染源調查計畫」園區周界空氣污染物分析結果，部分基礎數據採用廠商許可操作範圍進行擴散模擬評估，其模擬計算結果與分析將於第四章中探討。

### 3-3 蒲福風級與大氣邊界層對污染物擴散之探討

蒲福風級表是一種預估及報告風速之方法，並於十九世紀初期由英國海軍上將蒲福(Beaufort)所發明。原係根據各種風速對於滿帆戰艦所產生之風帆推進效應測量而決定，通常廠區異味之產生常發生會於 0~1 級(無風級輕風)的階段好發，由於欠缺水平方向輸送作用之產生，導致污染物離開煙囪出口後僅能依靠出口風速之動量與煙流自身熱浮力進行垂直擴散作用，然而受限於垂直擴散空間之影響，當煙道出口動量與熱浮力達到固定之大氣高程時將與大氣混合達到平衡，此時受到煙流氣體中污染物物理性質之影響(煙道氣體中粒狀物或化學品分子量)其排放污染物均比大氣空氣為重，故在無風階段，排放口周邊或廠區範圍內偶爾會有異味存在。

當蒲福風級表落於 3~4 級時(輕風及微風)，污染物受到些微風力之影響導致，污染物具有部分水平擴散之作用力，此時污染物會向下風處移動，故下風地區鄰近工廠周邊居民偶爾會聞到異味；而當風力大於 4 級時(和風)由於污染物受到水平擴散作用力加大之結果故，像下風處傳輸距離變遠，相對污染物濃度變低，進而導致異味陳情件數因此減少。

大氣邊界層(atmospheric boundary layer)是大氣層中最接近地球表面的部分，受到地球摩擦力之影響，大氣邊界層中存在紊流，垂直混合強烈，風速、溫度和濕度等影響，邊界層之上部空氣亦稱為自由大氣，其風速與風向是由於地球自轉所造成亦稱為地轉風，造成大氣邊界層的形成主要是因為地表摩擦力的存在，另外，由於近地表面的空氣分子受摩擦而減慢速度導致其近似於靜止狀態造成空氣流動之減緩。此外，進地表空氣亦受到地表建築物與地面粗糙度

之影響進而導致不規則漩渦因前述之作用產生，進而演變為湍流因而對空氣流動帶來巨大阻力，正常情況下邊界層中的湍流尺度介於20m至200m之間。

大氣邊界層中的風場受地表的影響，成不均匀分佈，地表的地形、地物會影響大氣邊界層流的特性。大氣邊界層之上的對流層，受地表影響較小，地球自轉的影響較大，流速成均勻分佈，稱為自由流(Free stream)。其中地面與高空風速換算如下：

$$\frac{U}{U_H} = \left(\frac{Z}{Z_H}\right)^n \quad 3-7$$

U= 高度 Z 之風速(m/s)

U<sub>H</sub>= 高度 Z<sub>H</sub> 之風速(m/s)

n= 地表粗糙度(市區 0.4 郊區 0.28 海面 0.16)

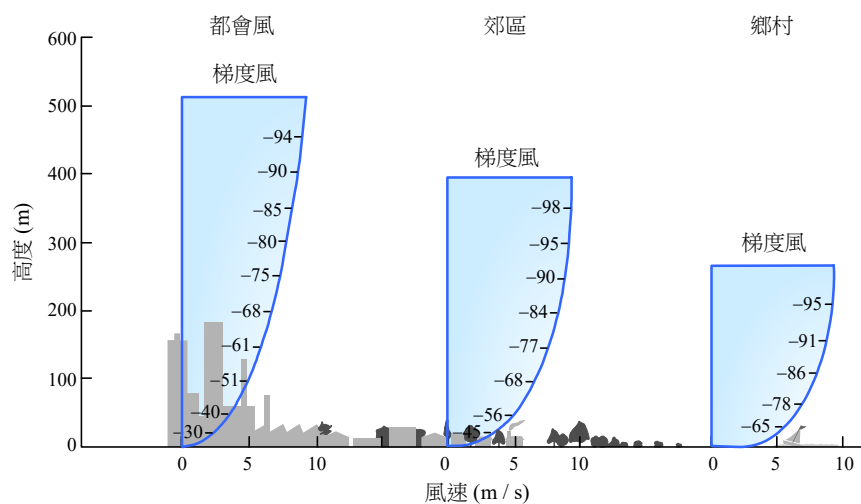


圖 3-3 地表粗糙度於各種環境下風力梯度變化情況

表 3-2 蒲福風級表

級數	風的名稱	速度(秒公尺(m/s))
0	無風	0~0.2
1	軟風	0.3~1.5
2	輕風	1.6~3.3
3	微風	3.4~5.4
4	和風	5.5~7.9
5	清風	8.0~10.7
6	強風	10.8~13.8
7	疾風	13.9~17.1
8	大風	17.2~20.7
9	烈風	20.8~24.4
10	狂風	24.5~28.4
11	暴風	28.5~32.6
12	颶風	32.7~36.9
13	颶風	37.0~41.4
14	颶風	41.5~46.1
15	颶風	46.2~50.9
16	颶風	51.0~56.0
17	颶風	56.1~61.2

本研究蒐集「111-113 新竹科學園區周界異味污染源調查計畫」園區周界空氣污染物分析結果進行模擬分析，針對空氣污染防治設備操作參數進行大氣擴散模擬分析，受限於科學園區廠商污染防治設備均不如發電廠或石化廠高，且園區廠商一般將防治設備建築於廠房樓頂，固本研究將建築物高度設定在大約 5 至 8 層樓位置，故設定高度暫定距離地表大約 40 公尺至 50 公尺，其地面風速與頂樓風速換算以 3-7 公式進行轉換，地表粗糙度以都市常用 0.4 為基礎進行換算並以此高度所接觸之水平風速為基準並進行煙流上升之探討。

## 第四章 結果與討論

### 4-1 大氣擴散模式條件設定

本研究針對科學園區某面板廠防治設備排放管道 P101 污染物進行大氣擴散模式模擬分析，該防制設備主要假操作參數條件如下：

(1)該工廠空污許可證登載出口風量為 300CMM 至 833CMM；(2)防治設備 P001 管道直徑 1.68 公尺；(3)P001 管道換算後之廢氣出口速度( $U_0$ )為 2.25m/s 至 6.25m/s(設定模擬情境為 3m/s、4m/s、5m/s 及 6m/s)；(4)煙囪排放高度設定 40 公尺(廠房高度約 36 公尺；煙囪高度 4 公尺)；(5)水平風速( $U_H$ )初步設定為分別為 1m/s、2m/s、4m/s 及 8m/s 等模擬情境；(6)煙囪廢氣出口溫度設定為 20°C、25°C、30°C 及 35°C (一般無塵室控制溫度 20°C 至 23°C)；(7)大氣溫度條件以新竹科學園區竹南園區北站量測之月平均溫度為比較，並以此上述條件針對廠商連續操情況下之大氣擴散模擬計算，其模擬數據與結果討論將於 4-2 章討論。

## 4-2 大氣擴散模式模擬結果探討

有關煙囪高度部分之探討，傳統學理上煙囪高度越高越有利於污染物之擴散，由於高空之風速遠較地面快速之影響，故一般在火力發電廠、垃圾焚化爐、煉油廠及石化工廠，均採用高煙囪政策以利於污染物擴散及稀釋，由於高煙囪之影響故時常有新聞播報火力電廠之污染物飄至內陸，或六輕煙囪排放污染物飄散至埔里等內陸新聞產生。

科學園區受限於建築物法規及廠商建築物美化之關係，且考量為了避免影響景觀及廠商樓頂荷重之因素，園區廠商煙囪高度都不至於過高，大型半導體製造工廠煙囪高度大約架設於頂樓 8~15 公尺左右，其煙囪高度遠不如學理上規定 ( $H_s > Z_B + 1.5X_B$ )，故廠房煙囪有可能會因為煙囪高度不高而有煙流下洗作用之產生，目前已有園區部分廠商既有廠(P 公司及 T 公司舊廠)採用此種方式進行改善，考量到樓頂荷重能力與原有防治設備銜接，P 公司經評估後將原有舊廠煙囪由樓頂向上延伸 8m 之煙囪加高至 15m 後有效蓋善該廠區四周與鄰近周圍廠區民眾陳情次數，不定期周邊巡查後發現原先周邊有明顯酸味與化學藥品異味之區域其味道亦無之前明顯；另外園區 T 公司亦於新廠興建設計規畫階段便全面將煙囪高度提升至 15m 以避免煙流下洗情況發生並改善地面異味發生之頻率，故雖然園區廠房興建煙囪高度雖然無法滿足學理上之要求，但如能夠適當地加高煙囪高度，此改善方式對既有廠房而言不失為一個可行又經濟實惠之方法。

有關上升煙流射流部分之探討，經過大氣擴散模式計算，煙流上升高度通常與煙囪出口速度息息相關，當出口速度越高時煙流上

升高度會越高(表 2-2)，受到水平風速之影響當煙流離開煙囪後，如受到水平風速越高時，煙流上升高度即會受到水平風速之影響。

由表 4-2 中可以發現當煙囪出口速度由 3m/s 提升至 8m/s 時(水平風速 1m/s)，其煙流上升高度亦由 7.82m 上升至 20.64m，此現象代表煙道氣體受到鼓風機提供之上升動量增加之情況下可提高之上升高度，當煙流上升高度越高於初始階段當中越有利污染物之垂直擴散，且進入被動擴散階段時亦有利於水平風向輸送作用，當高度越高時可使下風處最大近地濃度離排放源越遠，可使其近地污染物濃度越低，有利於大氣污染物擴散；然而水平風速亦會影響煙流初始階段煙流之上升高度，當水平風速越高時越不利於煙流上升高度之發展，由表 4-2 中可發現當煙囪出口速度恆定狀況下(3m/s)當水平風速由 1m/s 增加至 8m/s 時，煙流上升高度由 7.82m 降低至 0.98m，故由數據中可發現煙流上升高度受到水平風速作用力之影響甚大，為此時由表 4-2 模擬亦可發現當風速上升時，亦可考慮提高出口速度，當水平風速由 1m/s 增加至 8m/s 時如能將鼓風機風量提高提高出口速度，此時若能由 3 m/s 提升出口速度至 6 m/s，其上升高度可由 0.98m 提高至 2.58m，故提高出口速度可以減緩水平風速之影響。

有關上升煙流浮流部分之探討，浮流之產生主要受限於煙囪出口溫度與大氣環境溫差所致，當煙流溫度較大氣環境溫度高時，由於熱漲冷縮之關係氣團會隨著熱氣膨脹而使其密度較低於外界大氣，進而獲得上升之熱浮力，直到氣團溫度與大氣溫度達成一致時，氣團始無法再上升故此一上升熱浮力亦稱為浮流。

在半導體製程產業中，由於高科技製程對空氣中灰塵有特殊需

求規範，為避免人體毛髮碎屑影響製程良率故廠區人員需著無塵衣始得進入製程區作業，為提供人員妥善之作業環境故無塵室環境溫度控制通常較一般辦公室空調溫度低，製程區環控溫度通常介於 20°C 至 23°C，以提供身著無塵衣之工作人員能有良好之工作環境，且半導體產業通常均 24 小時不間斷生產，故廢氣排放是 24 小時連續排放且排氣溫度因廠區長期恆溫空調之關係，故排放之廢氣溫度較一般工廠排放溫度低，另有別於傳統產業工作型態，大多數工廠及商辦大樓空調溫度都設定於 25°C 至 26°C，且作業時間大多落於上班工作時間屬於階段性排放，故此排放模式之差異在夜間時影響特別明顯，故經常被聞到異味民眾誤認廠商偷排廢氣。

本研究經大氣模式模擬結果詳列於表 4-3 製表 4-10，模擬結果顯示，當煙道出口溫度為 20°C 情況下，僅有 1 月至 4 月平均溫度低於煙道出口溫度(表 4-3；表 4-4)，即代表 5 月至 8 月煙流排氣無法獲得上升浮力，若無鼓風機抽送排出煙道氣體，通常煙流於流出煙囪後會因為比外界大氣溫度低，而無法獲得上升浮力以致於煙道氣體下沉，數據模擬顯示(口速度設定在 3m/s；水平風速為 1m/s)，自 5 月起( $\beta_0$  值為-0.46； $\Delta h$  為-8.09m)即無法獲得上升浮力，且隨著氣溫逐漸升高至 8 月為影響程度最嚴重之情況( $\beta_0$  值為-2.17； $\Delta h$  為-13.54m)，然而自 8 月後氣溫逐漸降低故上升浮力可逐漸獲得改善至 12 月時( $\beta_0$  值為-0.49； $\Delta h$  為-8.22m)，

當煙道出口溫度提高至 25°C 時，上升浮力相較於 20°C 時有明顯改善，僅有 6 月至 11 月平均溫度高於煙道出口溫度而無法獲得上升浮力(表 4-5；表 4-6)，根據模擬結果顯示(口速度設定在 3m/s；水平風速為 1m/s)，自 6 月起( $\beta_0$  值為-0.09； $\Delta h$  為-4.64m)才無法獲得

上升浮力，較之前 20°C 排放溫度期受影響程度減半，8 月仍為影響程度最嚴重之月份( $\beta_0$  值為-1.10； $\Delta h$  為-10.78m)，11 月時( $\beta_0$  值為-0.11； $\Delta h$  為-5.00m)。

更進一步，當煙道出口溫度再提高至 30°C 時，上升浮力僅有 8 平均溫度高於煙道出口溫度而無法獲得上升浮力(表 4-7；表 4-8)，相同條件下(口速度設定在 3m/s；水平風速為 1m/s)，僅只有 8 月份( $\beta_0$  值為-0.02； $\Delta h$  為-2.91m)無法獲得上升浮力，其他月份均因大氣溫度低於廢氣排放溫度故均可以獲得上升浮力。

最終，當煙道出口溫度提高至 35°C 以上時(表 4-9；表 4-10)，無論任何季節其上升浮力均為正向，故由一系列模擬計算測值顯示，當煙道氣體高於外界大氣溫度時，其煙道氣體因溫差膨脹線始能獲得上升浮力，此種因溫差造成之上升浮力變化現象於朝九晚五之傳統產業並不明顯，但在 24 小時運作排放之園區半導體產業卻會特別明顯，白晝期間由於太陽直射頂樓及設備之緣故會造成管道之廢氣受到日照之影響間接升溫，進而減緩管道內煙流與大氣之溫差，故上升浮力不足之問題並未特別明顯，加上日照可促使煙道出口煙流中之揮發性有機物加速揮發，故異味問題在白晝時並未特別明顯；反之，夜間排放時因缺少太陽照射之熱量，故無法對設備內煙道氣體增溫，故導致無塵室中空調控溫之廢氣直接排放至大氣中，故於夏季室外高溫或白天陰天缺乏日照之情況下，因為低溫廢氣無法獲得上升浮力，進而導致夜間時段園區異味發生機率提高，也因此易讓陳情民眾誤會園區廠商故意於夜間偷排，故經由大氣模式之模擬可完善解釋為何夏季異味陳情次數較冬季頻率高，亦能解釋夜間陳情頻率較日間頻繁之現象。

表 4-1 水平風速(U<sub>H</sub>)與地面風速之關係

煙囪頂部水平風速(40m)	近地面風速(1m)
0.5m/s	0.12m/s
1.0m/s	0.23 m/s
2.0m/s	0.46 m/s
4.0m/s	0.91 m/s
8.0m/s	1.83 m/s

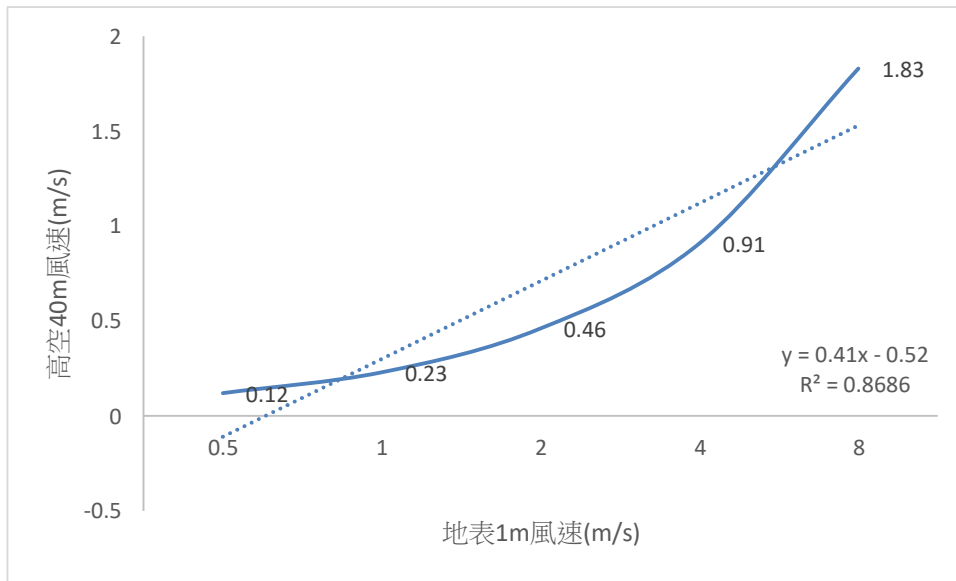


圖 4-1 近地面風速與煙囪頂部風速趨勢圖

表 4-2 煙流為射流(Jet)時出口速度(U<sub>0</sub>)與水平風速(U<sub>H</sub>)之關係

垂直出口速度 (U <sub>0</sub> )	$\Delta h = \beta D \frac{U_0^{1.4}}{U_H}$			
	3m/s	4m/s	5m/s	6m/s
水平風速(U <sub>H</sub> )				
1.0m/s	7.82 m	11.70 m	15.99 m	20.64 m
2.0m/s	3.91 m	5.85 m	7.99 m	10.32 m
4.0m/s	1.96 m	2.93 m	3.99 m	5.16 m
8.0m/s	0.98 m	1.46 m	1.99 m	2.58 m

表 4-3 煙流為浮流(Plume)時逐月溫度與出口速度(U<sub>0</sub>) 關係(20°C)

出口速度 (U <sub>0</sub> ) 平均溫度	煙囪出口溫度為 20°C $\beta_0 = \frac{\pi D^2 U_0}{4} \frac{\rho_0 - \rho_a}{\rho_a} = \frac{\pi D^2 U_0 T_0 - T_a}{4 T_a} g$			
	3m/s	4m/s	5m/s	6m/s
1 月(16.7°C)	0.74	0.99	1.24	1.48
2 月(16.3°C)	0.83	1.11	1.39	1.67
3 月(16.2°C)	0.86	1.14	1.43	1.71
4 月(19.3°C)	0.16	0.21	0.26	0.31
5 月(22.1°C)	<u>-0.46</u>	<u>-0.62</u>	<u>-0.77</u>	<u>-0.93</u>
6 月(25.4°C)	<u>-1.18</u>	<u>-1.57</u>	<u>-1.96</u>	<u>-2.36</u>
7 月(28.8°C)	<u>-1.90</u>	<u>-2.53</u>	<u>-3.17</u>	<u>-3.80</u>
8 月(30.1°C)	<u>-2.17</u>	<u>-2.89</u>	<u>-3.62</u>	<u>-4.34</u>
9 月(29.5°C)	<u>-2.05</u>	<u>-2.73</u>	<u>-3.41</u>	<u>-4.09</u>
10 月(28.9°C)	<u>-1.92</u>	<u>-2.56</u>	<u>-3.20</u>	<u>-3.84</u>
11 月(25.5°C)	<u>-1.20</u>	<u>-1.60</u>	<u>-2.00</u>	<u>-2.40</u>
12 月(22.2°C)	<u>-0.49</u>	<u>-0.65</u>	<u>-0.81</u>	<u>-0.97</u>

畫底線部分為該月份無上升浮力

表 4-4 出口溫度(20°C)與季節溫度變化煙流的上升高度關係

水平風速 (U <sub>H</sub> ) 平均溫度	$\Delta h = 7.4 \frac{(\beta_0 D^2)^{\frac{1}{3}}}{U_H}$			
	1m/s	2m/s	4m/s	8m/s
1 月(16.7°C)	9.47 m	4.73 m	2.37 m	1.18 m
2 月(16.3°C)	9.84 m	4.92 m	2.46 m	1.23 m
3 月(16.2°C)	9.93 m	4.96 m	2.48 m	1.24 m
4 月(19.3°C)	5.63 m	2.81 m	1.41 m	0.70 m
5 月(22.1°C)	<u>-8.09 m</u>	<u>-4.05 m</u>	<u>-2.02 m</u>	<u>-1.01 m</u>
6 月(25.4°C)	<u>-11.05 m</u>	<u>-5.52 m</u>	<u>-2.76 m</u>	<u>-1.38 m</u>
7 月(28.8°C)	<u>-12.95 m</u>	<u>-6.48 m</u>	<u>-3.24 m</u>	<u>-1.62 m</u>
8 月(30.1°C)	<u>-13.54 m</u>	<u>-6.77 m</u>	<u>-3.38 m</u>	<u>-1.69 m</u>
9 月(29.5°C)	<u>-13.27 m</u>	<u>-6.64 m</u>	<u>-3.32 m</u>	<u>-1.66 m</u>
10 月(28.9°C)	<u>-13.00 m</u>	<u>-6.50 m</u>	<u>-3.25 m</u>	<u>-1.62 m</u>
11 月(25.5°C)	<u>-11.11 m</u>	<u>-5.56 m</u>	<u>-2.78 m</u>	<u>-1.39 m</u>
12 月(22.2°C)	<u>-8.22 m</u>	<u>-4.11 m</u>	<u>-2.05 m</u>	<u>-1.03 m</u>

畫底線部分為該月份無上升浮力

表 4-5 煙流為浮流(Plume)時逐月溫度與出口速度(U<sub>0</sub>) 關係(25°C)

平均溫度 出口速度 (U <sub>0</sub> )	煙囪出口溫度為 25°C $\beta_0 = \frac{\pi D^2 U_0}{4} \frac{\rho_0 - \rho_a}{\rho_a} = \frac{\pi D^2 U_0}{4} \frac{T_0 - T_a}{T_a} g$			
	3m/s	4m/s	5m/s	6m/s
1 月(16.7°C)	1.87	2.49	3.11	3.73
2 月(16.3°C)	1.96	2.61	3.26	3.92
3 月(16.2°C)	1.98	2.64	3.30	3.96
4 月(19.3°C)	1.27	1.69	2.12	2.54
5 月(22.1°C)	0.64	0.85	1.07	1.28
6 月(25.4°C)	<u>-0.09</u>	<u>-0.12</u>	<u>-0.15</u>	<u>-0.17</u>
7 月(28.8°C)	<u>-0.82</u>	<u>-1.09</u>	<u>-1.37</u>	<u>-1.64</u>
8 月(30.1°C)	<u>-1.10</u>	<u>-1.46</u>	<u>-1.83</u>	<u>-2.19</u>
9 月(29.5°C)	<u>-0.97</u>	<u>-1.29</u>	<u>-1.61</u>	<u>-1.94</u>
10 月(28.9°C)	<u>-0.84</u>	<u>-1.12</u>	<u>-1.40</u>	<u>-1.68</u>
11 月(25.5°C)	<u>-0.11</u>	<u>-0.15</u>	<u>-0.18</u>	<u>-0.22</u>
12 月(22.2°C)	0.62	0.82	1.03	1.24

畫底線部分為該月份無上升浮力

表 4-6 出口溫度(25°C)與季節溫度變化煙流的上升高度關係

水平風速 (U <sub>H</sub> ) 平均溫度	$\Delta h = 7.4 \frac{(\beta_0 D^2)^{\frac{1}{3}}}{U_H}$			
	1m/s	2m/s	4m/s	8m/s
1 月(16.7°C)	12.87 m	6.44 m	3.22 m	1.61 m
2 月(16.3°C)	13.08 m	6.54 m	3.27 m	1.64 m
3 月(16.2°C)	13.14 m	6.57 m	3.28 m	1.64 m
4 月(19.3°C)	11.33 m	5.66 m	2.83 m	1.42 m
5 月(22.1°C)	9.01 m	4.51 m	2.25 m	1.13 m
6 月(25.4°C)	-4.64 m	-2.32 m	-1.16 m	-0.58 m
7 月(28.8°C)	-9.79 m	-4.89 m	-2.45 m	-1.22 m
8 月(30.1°C)	-10.78 m	-5.39 m	-2.70 m	-1.35 m
9 月(29.5°C)	-10.35 m	-5.17 m	-2.59 m	-1.29 m
10 月(28.9°C)	-9.87 m	-4.94 m	-2.47 m	-1.23 m
11 月(25.5°C)	-5.00 m	-2.50 m	-1.25 m	-0.62 m
12 月(22.2°C)	8.91 m	4.45 m	2.23 m	1.11 m

畫底線部分為該月份無上升浮力

表 4-7 煙流為浮流(Plume)時逐月溫度與出口速度(U<sub>0</sub>) 關係(30°C)

出口速度 (U <sub>0</sub> ) 平均溫度	煙囪出口溫度為 30°C $\beta_0 = \frac{\pi D^2 U_0}{4} \frac{\rho_0 - \rho_a}{\rho_a} = \frac{\pi D^2 U_0 T_0 - T_a}{4 T_a} g$			
	3m/s	4m/s	5m/s	6m/s
1 月(16.7°C)	2.99	3.99	4.98	5.98
2 月(16.3°C)	3.08	4.11	5.14	6.17
3 月(16.2°C)	3.11	4.14	5.18	6.22
4 月(19.3°C)	2.38	3.18	3.97	4.77
5 月(22.1°C)	1.74	2.33	2.91	3.49
6 月(25.4°C)	1.00	1.34	1.67	2.01
7 月(28.8°C)	0.26	0.35	0.43	0.52
8 月(30.1°C)	<u>-0.02</u>	<u>-0.03</u>	<u>-0.04</u>	<u>-0.04</u>
9 月(29.5°C)	0.11	0.14	0.18	0.22
10 月(28.9°C)	0.24	0.32	0.40	0.47
11 月(25.5°C)	0.98	1.31	1.64	1.96
12 月(22.2°C)	1.72	2.29	2.87	3.44

畫底線部分為該月份無上升浮力

表 4-8 出口溫度(30°C)與季節溫度變化煙流的上升高度關係

水平風速 (U <sub>H</sub> ) 平均溫度	$\Delta h = 7.4 \frac{(\beta_0 D^2)^{\frac{1}{3}}}{U_H}$			
	1m/s	2m/s	4m/s	8m/s
1 月(16.7°C)	15.07 m	7.53 m	3.77 m	1.88 m
2 月(16.3°C)	15.22 m	7.61 m	3.81 m	1.90 m
3 月(16.2°C)	15.26 m	7.63 m	3.82 m	1.91 m
4 月(19.3°C)	13.97 m	6.99 m	3.49 m	1.75 m
5 月(22.1°C)	12.59 m	6.29 m	3.15 m	1.57 m
6 月(25.4°C)	10.47 m	5.24 m	2.62 m	1.31 m
7 月(28.8°C)	6.67 m	3.33 m	1.67 m	0.83 m
8 月(30.1°C)	-2.91 m	-1.45 m	-0.73 m	-0.36 m
9 月(29.5°C)	4.97 m	2.49 m	1.24 m	0.62 m
10 月(28.9°C)	6.47 m	3.24 m	1.62 m	0.81 m
11 月(25.5°C)	10.39 m	5.20 m	2.60 m	1.30 m
12 月(22.2°C)	12.53 m	6.27 m	3.13 m	1.57 m

畫底線部分為該月份無上升浮力

表 4-9 煙流為浮流(Plume)時逐月溫度與出口速度(U<sub>0</sub>) 關係(35°C)

出口速度 (U <sub>0</sub> ) 平均溫度	煙囪出口溫度為 35°C $\beta_0 = \frac{\pi D^2 U_0}{4} \frac{\rho_0 - \rho_a}{\rho_a} = \frac{\pi D^2 U_0 T_0 - T_a}{4 T_a} g$			
	3m/s	4m/s	5m/s	6m/s
1 月(16.7°C)	4.11	5.49	6.86	8.23
2 月(16.3°C)	4.21	5.61	7.02	8.42
3 月(16.2°C)	4.23	5.65	7.06	8.47
4 月(19.3°C)	3.50	4.66	5.83	7.00
5 月(22.1°C)	2.85	3.80	4.75	5.69
6 月(25.4°C)	2.10	2.79	3.49	4.19
7 月(28.8°C)	1.34	1.78	2.23	2.68
8 月(30.1°C)	1.05	1.40	1.76	2.11
9 月(29.5°C)	1.18	1.58	1.97	2.37
10 月(28.9°C)	1.32	1.75	2.19	2.63
11 月(25.5°C)	2.07	2.76	3.46	4.15
12 月(22.2°C)	2.82	3.77	4.71	5.65

畫底線部分為該月份無上升浮力

表 4-10 出口溫度(35°C)與季節溫度變化煙流的上升高度關係

水平風速 (U <sub>H</sub> ) 平均溫度	$\Delta h = 7.4 \frac{(\beta_0 D^2)^{\frac{1}{3}}}{U_H}$			
	1m/s	2m/s	4m/s	8m/s
1 月(16.7°C)	16.76	8.38	4.19	2.09
2 月(16.3°C)	16.89	8.44	4.22	2.11
3 月(16.2°C)	16.92	8.46	4.23	2.11
4 月(19.3°C)	15.88	7.94	3.97	1.98
5 月(22.1°C)	14.82	7.41	3.71	1.85
6 月(25.4°C)	13.38	6.69	3.35	1.67
7 月(28.8°C)	11.52	5.76	2.88	1.44
8 月(30.1°C)	10.64	5.32	2.66	1.33
9 月(29.5°C)	11.06	5.53	2.77	1.38
10 月(28.9°C)	11.46	5.73	2.87	1.43
11 月(25.5°C)	13.33	6.67	3.33	1.67
12 月(22.2°C)	14.78	7.39	3.70	1.85

畫底線部分為該月份無上升浮力

## 第五章 結論與建議

### 5-1 結論

#### (1) 有關園區煙囪高度部分

園區煙囪高度受限於建管法規影響、廠商建築物綠美化需求及建築物樓頂荷重之限制，目前園區廠商不符合空污教科書之規定( $H_s \geq Z_B + 1.5X_B$ )，由此可知煙囪排放後之污染物極易受到自身廠房背風面負壓或鄰近廠房紊流之影響，造成煙流下洗作用之現象產生，進而導致地面廠區從業人員或路過民眾，時常反映空氣污染異味之情況。

#### (2) 有關煙道氣體射流(jet)部分探討

針對廠商煙道氣體出口速度部分，由於出口速度越快越有利於研到氣體垂直上升之擴散作用，故若煙道出口速度不足時，污染物所受到的上升動量不足，由於污染物自身分子量較空氣重，故 0 至 1 級風速時(無風或軟風)，防治設備周邊會有異味產生。

#### (3) 有關煙道氣體浮流(plume)部分探討

由大氣擴散模擬結果可以發現，當煙道氣體溫度低於周界大氣溫度時 20°C(表 4-4)，煙道氣體無法獲得上升浮力，故一旦氣體離開煙囪後，由於缺乏上升浮力進而導致污染物沉降造成地面異味產生，其好發階段通常自 5 月份開始至 8 月份達到高峰，隨後隨著大氣溫度降低至 12 月份上升浮力始獲得改善，然而當提升出口溫度至 35°C(表 4-10)，則可以避免季節溫度變化對煙流上升浮力之影響，此外水平風速對煙流上升浮力之影響可發現當水平風速由 1m/s 上升至 8m/s 時，煙流上升高度會隨著水平風速之

增加而降低(1m/s 時全年煙流上升高度 10.64m 至 16.92m；8m/s 時全年煙流上升高度 1.33m 至 2.11m)，故此模擬結論可提供未來設施操作人員進行參考。

## 5-2 建議

本研究嘗試利用大氣擴散模式進行煙流上升初始階段煙道氣體特性探討，探討議題涵蓋園區廠房煙囪高度、煙流初始上升階段射流(jet)及浮流(plume)之計算數值進行研析，針對研析結果提出改善建議如下：

(1)有關廠商煙囪高度部分建議：既有廠商可以考慮於現有防治設備所允許之狀態情況下適當的加高煙囪高度，藉由煙囪高度之提升高伴隨高空中水平輸送作用風速較快之作用，可以有效提高污染物擴散距離降低排放濃度，得益於煙囪高度提高亦可以降低煙流受建築物背風面負壓之影響而減低煙流下洗作用之發生頻率。然而，廠區建築物樓頂荷重與建築物安全係數亦須一併加以考量。故建議若是新建廠房時，於建築師設計階段時，能將上述條件納入設計考量，並同時研議防治設備彼此配置距離以避免加乘效應產生，此外，工廠與工廠之間應保持適當緩衝距離，如能於緩衝綠帶上種植植栽，亦可減緩地面污染物擴散。

(2)有關煙流初始上升階段射流(jet)部分建議：大氣擴散模式模擬結果發現，當大氣如呈現穩定情況(水平風速較高)，垂直擴散高度會越高；當大氣如呈現不穩定情況(水平風速較低)，垂直擴散高度會越低。而若能調整鼓風機風量加快出口速度或排放管道適當的縮小管口，便能提高煙囪出口速度促使污染物擴散至更

高之高度，相較於地表作業人員與居民會越不易有異味產生，故未來針對既有工廠亦可採用此類變通之方法應用，有助於污染物上升改善地面異味。

(3)有關煙流初始上升階段浮流(plume)部分建議：工廠應於夜間或日間陰天情況下，妥善監測排放管道氣體與大氣之間溫差，防治設備內煙道氣體溫度低於外界溫度時，代表缺乏上升浮力，此時應適當調適廢氣溫度，至少應與外界溫度相同才能獲得上升浮力，建議設備內可裝設熱交換裝置，適當引入機械設備廢熱，提升管道氣體溫度，可避免污染物因缺乏上升浮力，而落至地面造成異味污染產生。

(4)建議監測煙囪高度風速與風向：經由擴散模擬方程式計算後發現，無論是射流(jet)或浮流(plume)其上升高度均受到風速之影響甚大，當風速越高會導致煙流上升高度越低，此時為彌補受影響之煙流可適當增加流量或提高煙道氣內之溫度，故出口水平風速之監測與操作參數之彈性調整是未來值得留意之操作環節。

## 參考文獻

1. 新竹科學園區管理局網站(<https://www.sipa.gov.tw>)，112年。
2. 國家科學及技術委員會網頁(<https://most.gov.tw/>)，112年。
3. 行政院環境保護署網站(<https://www.epa.gov.tw/>)，112年。
4. 國家科學及技術委員會新竹科學園區管理局，「新竹科學園區環境品質智慧看格建置及維運計畫112年成果報告」，民國112年。
5. 光宇學校財團法人元培醫事科技大學，「111-113新竹科學園區周界異味污染源調查計畫」112年期末報告，民國112年。
6. 林益安，「半導體廢氣水洗塔加藥最佳位置點之研究」，民國108年。
7. 高苙凱，「以大氣擴散模式探討半導體業排放對區域性之影響-以中科三期后里園區為例」民國102年。
8. 蘇柏展，「二氧化碳與水蒸氣對大氣溫度及熱傳之影響」，民國110年。
9. 鄭鎮杰，「氧化洗滌技術處理半導體廢氣中甲苯與單甲基醚丙二醇之研究」，民國93年