

微粒濃度與空氣品質因子自動監測資料之關係探討 —以雲林斗六地區為例

林宜潔 張嘉儀 邱靜娥

國立雲林科技大學工業工程與管理研究所
雲林縣斗六市大學路三段 123 號

摘要

戶外的空氣汙染原為疑似致癌物在 103 年 10 月 17 日國際癌症研究所(IARC)將其更改為人類致癌物之一，懸浮微粒(PM_{10} 、 $PM_{2.5}$)為空氣汙染主要原因之一，在台灣微粒濃度最高的地區為雲林，其中斗六最為嚴重，因此本研究從文獻找尋影響微粒濃度的可能因子，並以環保署空氣品質監測網所提供的數據作為分析對象，共收集了 16 個可能影響微粒濃度的變項，利用因素分析找出 4 個變項共同因，分為人為因子、自然因子、燃燒因子與水氣因子，再利用微粒濃度 PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 為依據將月份分群，形成高微粒濃度月份及低微粒濃度月份，最後發現主要影響微粒濃度的因子為自然因子，其自然因子所包含變項有風向以及風向小時值。提供斗六市空氣污染預防政策的擬定方向。

關鍵字：懸浮微粒、多變量統計分析、空氣品質

一、前言

國際癌症研究所(IARC，屬於世界衛生組織 WHO 管轄下的機構)在 103 年 10 月 17 日宣布「戶外空氣汙染」原為疑似致癌物改為屬「人類致癌物第一類」(Carcinogenic to Humans Group1)，而懸浮微粒為戶外空氣汙染之一，1980 年許多學者開始針對懸浮微粒的來源與檢測做研究，並在西元 1997 年第一次提出懸浮微粒空氣品質標準，其懸浮微粒分為粗微粒 10-2.5 微米的 PM_{10} 與細懸浮微粒直徑小於 2.5 微米的 $PM_{2.5}$ ，依其生成方式分為分為「原生性」或「衍生性」，原生性是由其他排放源直接排出，如汽機車排放黑煙，或大自然風吹揚塵；而「衍生性」是經複雜的化學程序而形成，主要參與作用的有硫化物 Sox、氮化物 NOx、揮發性有機物 VOCs、氨(NH3)等(劉志堅，2014)。也有報告指出短期暴露細懸浮微粒 $PM_{2.5}$ ，會增加罹患心血管疾病和死亡風險(王建楠、李壁伊，2014)。許多學者也利用不同研究方法找出影響懸浮微粒濃度的因子，劉志堅(2014)提出大氣中已存在的細微粒與濕度都會影響衍生性的細懸浮微粒生成；Guangjin Tian、Zhi Qiao、Xinliang Xu(2014)利用灰色分析(Gray Analysis)發現氣壓關聯較高，低壓和低濕度易造成 PM_{10} ；溫志忠、方國權、蔡立弘(2006)利用非參數(Spearman)相關分析探討微粒與氣象數據之間的關係以及迴歸分析，發現台中港環境空氣微粒與風速和

溫度有高的相關性；溫志忠、蔡立宏、楊尚威(2009)利用統計分析發現 PM_{10} 、 NO_2 、 SO_2 、 CO 相互間呈現高相關性，與能見度維持負相關性。

錢滄海與陳永均(2014)利用克力金法來繪製等值圖比較歷年台灣 PM_{10} 濃度因空間的變化，從歷年的等值圖發現雲林地區的 PM_{10} 濃度比其他地區的 PM_{10} 濃度來的高，而近年來從空氣品質觀測站所得數據發現近三年斗六市(位於雲林縣)與嘉義市的 $PM_{2.5}$ 濃度全台前三，如下表。

	103 年	102 年	101 年	平均
基隆	18.1	18.7	17.75	18.18
汐止	19.6	20.6	20.4	20.20
板橋	22.4	22.7	25.31	23.47
士林	19.1	18.8	21.43	19.78
萬華	20.5	20.7	24.77	21.99
陽明	13.2	11.6	11.44	12.08
桃園	22.5	23.8	23.49	23.26
竹東	20.8	20.1	22.26	21.05
新竹	23.1	23.3	26.4	24.27
苗栗	23.6	23.9	25.91	24.47
三義	22.5	22.2	28.11	24.27
豐原	23.8	24	27.9	25.23
忠明	27	27.4	29.32	27.91

彰化	27.6	28.2	32.32	29.37
南投	29.8	30.2	29.55	29.85
斗六	34.1	34	37.17	35.09
补子	29.6	29.4	32.75	30.58
嘉義	34.7	33.5	39.21	35.80
新營	30.6	31.5	33.36	31.82
台南	29.8	30.8	34.24	31.61
美濃	27.7	28.2	30.63	28.84
前金	31.2	23.2	39.8	31.40
屏東	31.6	33.6	30.08	31.76
恆春	9.7	9.7	12.98	10.79
台東	11.3	10.9	11.3	11.17
花蓮	13.7	13.1	17.24	14.68
宜蘭	15.2	15.3	18.93	16.48
馬祖	24.2	27.3	27.93	26.48
金門	32.8	33.1	36.78	34.23
馬公	16.8	20.2	21.79	19.60

本研究以斗六最為研究對象，其可能原因為西邊有麥寮六輕的火力發電與石化廠、西北邊有台中火力發電廠，位於華山邊下風處，微粒吹進來卻出不去(洪綾襄，2014)。因此本篇論文探討微粒濃度以斗六為主，從文獻找尋影響微粒濃度的可能因子，並以環保署空氣品質監測網所提供的數據作為分析對象。

二、資料與分析方法

(一) 資料簡介

使用行政院環保署空氣品質監測網之資料，本研究所考慮的空氣品質監測資料有相對濕度、一氧化碳、氮化物(NO、NO₂、NOX)、懸浮微粒(PM₁₀、PM_{2.5})、大氣溫度、紫外線指數、風速、風向(WD-HR、WD-DIREC)、雨量、臭氧及二氧化硫等 16 項變項，變項都經由文獻驗證為可能影響微粒濃度因子，本研究利用因素分析找出變項間是否存在可能的共同因子，與利用集群分析找出月分和微粒濃度間的關係，並探討其與變項共同因子間的關係。

(二) 分析方法 (Factor Analysis)

因素分析屬於分類而群集分析屬於分群，分類是將找出變項間的關係，將變項作分類作為未來建模使用；而分群是將結果透過變項分佈作為分群，其分群不影響結果(溫福星，2002)。

1. 因素分析

在多變量分析中屬於資料縮間的統計方法，找出多個變項間的不易辨認的潛在共同因子，將多個變項縮減成少量因子，並且偵測這些因子可以解釋整個變項的能力，其原理如下：

$$\begin{aligned}x_1 &= \lambda_{11}f_1 + \lambda_{12}f_2 + \cdots + \lambda_{1q}f_q + e_1 \\x_2 &= \lambda_{21}f_1 + \lambda_{22}f_2 + \cdots + \lambda_{2q}f_q + e_2 \\&\vdots \\x_p &= \lambda_{p1}f_1 + \lambda_{p2}f_2 + \cdots + \lambda_{pq}f_q + e_p\end{aligned}$$

假設有 p 個變項，其潛在共同因子為 q 個(q < p)，以上 p 個方程式為簡單迴歸分析，解釋變項 f 為標準化分數，故截距項為 0，λ係數在因素分析中稱為因素負荷量，e 為誤差項。換言之，在迴歸的基本假設中，全部 f 與 e 的相關若為 0，使 p 個變項可以由最少的 q 個 f 所解釋，因此，f 則為共同因素，共同因之變項之 e 平均為 0。共同因數量依研究人員需求決定，或利用 Kaiser 方法以變項間的相關係數矩陣的特徵值大於 1 為判斷依據。

本研究之因素分析為參考 Kaiser 方法將 16 個變項分成四個因子以便後續的研究探討。

2. 集群分析 (Cluster Analysis)

集群分析不著重於探討變項間的關係，而是希望能夠利用變項間(X)的差異將欲歸納分群之目標(Y)分群，將變項作為座標，計算 Y 之間的距離，與本身距離最短者最為同一群。

舉例說明：

	x ₁	x ₂	x ₃
y ₁	2	1.5	3.5
y ₂	3	2	2
y ₃	4	5	0.5
y ₄	5	5	1

y₁和y₂的距離以D₁₂表示，D₁₂ = D₂₁

$$= \sqrt{(3 - 2)^2 + (2 - 1.5)^2 + (2 - 3.5)^2} = 1.871$$

以此類推

$$D_{13} = D_{31} = 5.025$$

$$D_{14} = D_{41} = 5.244$$

$$D_{23} = D_{32} = 3.5$$

$$D_{24} = D_{42} = 3.742$$

$$D_{34} = D_{43} = 1.118$$

距離最短為y₃和y₄的距離則放在同一群，再來是y₁和y₂的距離故放在同一群，因此分成了兩群，第一群有y₃和y₄，第二群有y₁和y₂。

本研究利用懸浮微粒濃度PM₁₀和PM_{2.5}將月份分群，觀察不同月份間懸浮微粒濃度的差異。

三、結果與討論

(一) 因素分析

表1為KMO與Bartlett檢定結果，KMO為取樣適切性量數，其值介於0到1，其值越大代表16個研究變項的相關矩陣有特定的類型存在，適合因素萃取，而本研究的KMO值為0.775>0.5，故適合用來因素萃取。Bartlett的球型檢定的相關係數是否有特定關聯，卡方檢定統計量則為761.953達到顯著水準，拒絕變項間球型假設，故16個變項之間存在特定類型關聯。

表1. KMO與Bartlett檢定

Kaiser-Meyer-Olkin 取樣適切性量數。	.775
Bartlett 的球形檢定	
近似卡方分配	7617.953
df	120
顯著性	.000

1. 因子的選取

本研究主要利用最大變異旋轉方法(Varimax Rotation)進行直交旋轉來解釋因子的個數特性，經由分析結果，初始特徵值大於1的因子由表2顯示，共有四個因子，其初始特徵值分別為6.644、2.5、1.869及1.179，此四個因子的累積解釋變異量為76.201%。故本研究共選取並歸納四個因子加以解釋為斗六地區的空氣品質之主要因素。

表2. 因子分析之結果與變異數之解釋表

因子	初始特徵值	總變異數之百分比	變異數累積之百分比
1	6.644	41.523	41.523
2	2.500	15.626	57.149
3	1.869	11.684	68.833
4	1.179	7.368	76.201
5	0.974	6.088	82.289
6	0.605	3.780	86.069
7	0.539	3.372	89.440
8	0.444	2.776	92.217
9	0.351	2.196	94.413
10	0.264	1.651	96.064
11	0.219	1.371	97.435
12	0.165	1.031	98.466

13	0.099	0.616	99.082
14	0.084	0.522	99.604
15	0.063	0.396	100.000
16	6.278E-005	0.000	100.000

2. 因子之決定

經過旋轉後的矩陣即能解釋每個因子的特性，亦可利用此四個因子來描述在斗六地區中關於各種空氣污染因子數值之間的差異性。

表3. 斗六空氣品質經直交旋轉後因子負荷量矩陣表

汙染因子	因子			
	1	2	3	4
一氧化碳	0.819	-0.171	0.421	0.091
二氧化氮	0.676	-0.317	0.597	0.084
臭氧	0.494	0.058	-0.562	0.33
PM ₁₀	0.712	-0.219	0.166	0.313
PM _{2.5}	0.832	-0.109	0.106	0.195
二氧化硫	0.636	0.013	0.117	0.295
風速小時值	-0.647	0.183	-0.056	0.065
氣溫	-0.318	0.561	-0.498	-0.088
紫外線指數	-0.399	0.535	-0.447	0.27
風向小時值	-0.188	0.941	-0.095	-0.004
風向	-0.171	0.923	-0.092	0.014
風速	-0.371	-0.428	-0.137	0.197
一氧化氮	0.165	0.008	0.731	-0.019
氮氧化物	0.62	-0.264	0.729	0.082
降雨量	-0.224	0.017	-0.019	-0.406
相對溼度	-0.048	0.006	0.073	-0.835

第一因子：主要以一氧化碳、二氧化氮、臭氧、PM₁₀、PM_{2.5}、二氧化硫及風速小時值所組成，其總變異量由表2顯示可達41.523%。表3的第一因子中，一氧化碳的負荷程度為0.819，PM₁₀及PM_{2.5}的負荷程度分別為0.712和0.832，此三因子負荷程度非常的高(皆大於0.7)，由此可見此四汙染物質對空氣汙染程度具有相當高的相關性。一氧化碳的來源主要為車輛排放的廢氣所導致，根據統計大氣中的86%一氧化碳由汽機車所排放，另一小部分則來自工廠以及發電廠中未能完全燃燒的燃料氣體，故其主要經由含碳燃料不完全燃燒所產生的氣體，為空氣中存在濃度最高的汙染物。PM₁₀的主要來源分成原生性氣膠(primary aerosols)及衍生性氣膠(secondary aerosols)兩種[Chou, 2010]。原生性氣膠主要由人為所造成的直接排放，如工廠燃燒、車輛廢氣排放等，而這些懸浮粒子則會

因散射陽光而影響到空氣能見度，為空氣汙染的指標汙染物。 $PM_{2.5}$ 即為比 PM_{10} 更微小的懸浮粒子，會經由人類的呼吸系統進入到人體進而沉積在支氣管以及肺泡中，而造成支氣管擴張、肺水腫及支氣管纖維化等。二氧化氮的負荷程度為 0.676，二氧化硫的負荷程度為 0.636 以及風速小時值的負荷程度為 -0.647。二氧化氮主要經由車輛廢氣排放、力發電廠以及其他工業的燃燒等所產生的一氧化氮，隨後在空氣中與氧反應迅速氧化成二氧化氮。二氧化硫主要來源為燃燒期間所需要的燃料(如工廠燃燒重油、生煤、煉焦煤等)所排放的空氣污染物。臭氧的負荷程度為 0.494，因未超過 0.5，故不考慮使用於第一因子中。因此，以上因子予以命名為「人為因子」。

第二因子：由表 3 的第二因子中，主要由氣溫、紫外線指數、風向小時值、風向及風速所組成，其總變異量由表 2 顯示可達 15.626%。風向小時值的負荷程度為 0.941，風向的負荷程度為 0.923，兩者具相當高的相關性。氣溫的負荷程度為 0.561，紫外線指數的負荷程度為 0.535，皆為空氣汙染的重要指標之一。風速的負荷程度為 -0.428，因未超過 0.5，故不考慮使用於第二因子中。因此，以上因子予以命名為「自然因子」。

第三因子：由表 3 的第二因子中，主要由一氧化氮與氮氧化物所組成，其總變異量由表 2 顯示可達 11.684%。一氧化氮的負荷程度為 0.731 以及氮氧化物的負荷程度為 0.729，皆為人為燃燒後所形成的空氣廢氣汙染，故予以命名為「燃燒因子」。

第四因子：由表 3 的第二因子中，主要由降雨量以及相對濕度所組成，其總變異量由表 2 顯示可達 7.368%，其中降雨量的負荷程度為 -0.406，因未超過 0.5，故不予以考慮使用在第四因子中。相對溼度的負荷程度為 -0.835，為相關性相當高的空氣汙染因子，故予以命名為「水氣因子」。

(二) 群集分析

本研究係採用群集分析方法中的兩階段分群法(A Two-staged Clustering Algorithm)在本文主要探討空氣品質因子 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 找出月份的分群，先由階層分群法(Hierarchical Methods)求得概略分群結果後，再利用非階層分群法(K-means Methods)測試不同的群集數目，最後選擇以 2 種群集來區分空氣品質的差異。第一階段所使用的階層分群所得出的圖 1 顯示，主要分成了 2 個集群，群集 1 包含的月份有 1 月、3 月、4 月、10 月、11 月和 12 月，由表 4 可得知，該集群之 PM_{10} 的平均值為 118.3799， $PM_{2.5}$ 的平均值為

73.211，為懸浮粒子濃度較高的群集。另外，群集 2 的月份則分別有 2 月、5 月、6 月、7 月、8 月和 9 月， PM_{10} 的平均值為 62.79， $PM_{2.5}$ 的平均值為 38.138，為懸浮粒子濃度較低的集群。

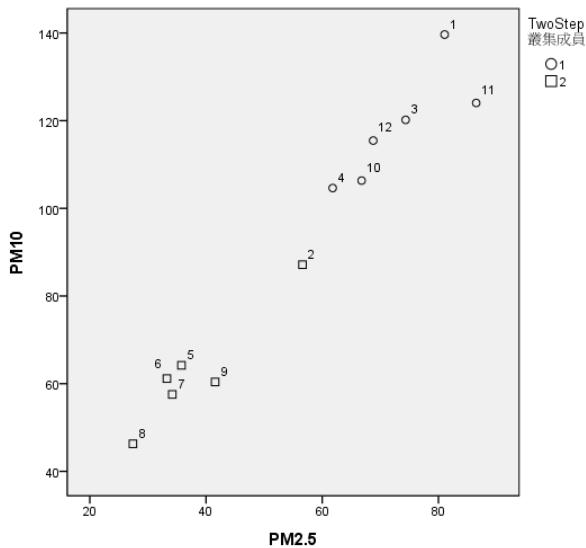


圖1. 使用平均連結的散佈圖

表4. 兩群集與兩空氣品質變數之平均值與極值表

群集 \ 別變數	群集1	群集2
PM_{10}	118.3799 (104.633~139.645)	62.79 (46.29~87.143)
$PM_{2.5}$	73.211 (61.8~86.5)	38.138 (27.419~56.607)
筆數統計	6	6

將群集分析所求得的 2 群集加以分類本研究所探討之空氣品質變數，結合前述因素分析的結論，探討造成此分群的可能原因。呈現於圖 2，可得知在人為因子中，二氧化氮的濃度為主要影響懸浮微粒濃度差異的變項，其餘變項皆無顯著差異。自然因子中，氣溫、風向及風向小時值的兩群集有明顯的差異性，皆為顯著影響懸浮微粒濃度差異的變項。燃燒因子中，氮氧化物為主要影響懸浮微粒濃度差異的變項，其以 PM_{10} 之影響較為顯著。在水氣因子中，相對溼度並無明顯的差異，故水氣因子不會影響懸浮微粒濃度。綜觀四個因子可得，影響懸浮微粒濃度最明顯的因子為自然因子，而水氣因子則為不影響微粒濃度的因子。

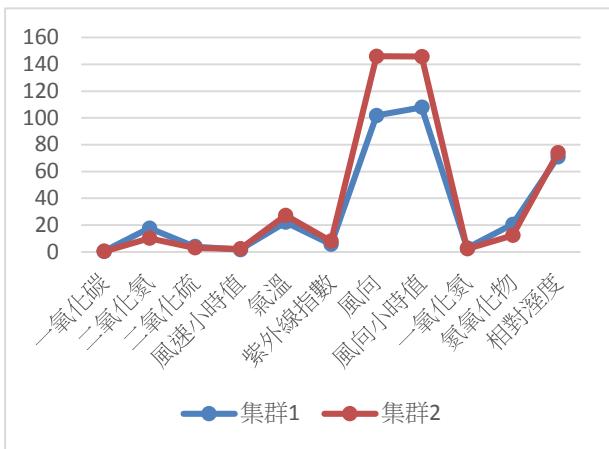


圖 2 各群集與空氣品質變數之折線圖

四、結論

本文利用多變量統計分析方法應用於雲林斗六地區空氣品質監測站之空氣品質資料，探討各空氣品質變項之間的相互關係，其能真正反映各空氣品質的差異。首先於因素分析方面，四個因子分別為人為因子、自然因子、燃燒因子以及水氣因子，此四個因子為影響空氣品質優劣的主要因素。接續在群集分析方面，本研究將空氣懸浮微粒 PM_{10} 與 $PM_{2.5}$ 依月份分為兩種群集，分別為懸浮微粒較高濃度的群集以及懸浮微粒較低濃度的群集，兩群集中以二氧化氮、風向、風向小時值以及氮氧化物會影響懸浮微粒濃度造成差異，其中自然因子之風向以及風向小時值為影響最為顯著的兩變項。

懸浮微粒濃度較高月份為 10、11、12、1、3 及 4 月屬於冬季與春季，此時台灣 10 月至 4 月正受東北季風影響，斗六位於華山及八卦山腳，北部有台中火力發電廠及彰化焚化廠，北部吹來的的微粒容易堆積在地勢較低的斗六，斗六又屬於背風坡風速小，微粒不容易擴散，因此造成冬季微粒濃度來的比夏季高。

風速及風向為自然因素無法人為改善，但可以做為污染預防政策的擬定，如加強冬季外出口罩配戴之宣導。

本研究僅使用斗六一地區的空氣品質監測站資料，未來研究可以針對更多的地區作為探討對象，亦能加入非大氣資料之變項作為探討，如地區汽機車使用量、工廠數量...等等，亦或能使用其他統計方法作為分析之工具。

五、參考文獻

- 王建楠、李璧伊，2014：“細懸浮微粒暴露與心血管疾病：系統性回顧及整合分析”，中華職業醫學雜誌，21 卷，4 期，193-204。
- 黃才尉，2014：“共同因素分析與主成份分析之比賽”，彰化師大輔導學報，25 期，63-86。
- 溫志中、方國權、蔡立宏，2006：“台中港區空氣懸浮微粒特性研究”，港灣報導，75 期，39-45。
- 溫志中、蔡立宏、楊尚威，2009：“台灣港區大氣能見度特性探討－基隆、台中、高雄”，港灣報導，82 期，31-39。
- 溫福星，2012：多變量分析方法與操作 SPSS 之應用，第一版，六章十一章，鼎茂圖書，台北市，141-196、281-288。
- 劉志堅，2014：“細懸浮微粒($PM_{2.5}$)的來源與現況－並論臺中地區空氣品質(含 $PM_{2.5}$)之現況”，生態臺灣，45 期，7-15。
- 錢滄海、陳永均，2014：“ PM_{10} 年平均濃度之時間與空間變化”，水土保持學報，46 期，927-940。
- Tian, G., Qiao, Z., & Xu, X., 2014: "Characteristics of particulate matter (PM_{10}) and its relationship with meteorological factors during 2001–2012 in Beijing", Environmental Pollution 192, 266-274.