



國立臺灣大學工學院環境工程學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Environmental Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master's Thesis

觀音工業區點源污染物分析與減量策略

Analysis and Reduction Strategies for Point Sources of

Pollutants in Guanyin Industrial Park

羅子亭

Tzu-Ting Lo

指導教授：駱尚廉教授

Advisor : Professor Shang-Lien Lo

中華民國 112 年 11 月

November, 2023

國立臺灣大學碩士學位論文

口試委員會審定書

觀音工業區點源污染物分析與減量策略

Analysis and Reduction Strategies for Point Sources of
Pollutants in Guanyin Industrial Park

本論文係羅子亭君(學號P11541205)在國立臺灣大學環境工程學研究所完成之碩士學位論文，於民國112年11月6日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

論文審查委員：

駱尚廉

駱尚廉博士
國立臺灣大學環境工程學研究所特聘教授

關蓓德

關蓓德博士
國立臺灣大學環境工程學研究所教授

陳映竹

陳映竹博士
國立臺北科技大學土木工程系教授

指導教授：

駱尚廉

所長：

解衍己

誌謝



首先，感謝駱尚廉教授這一年多來為學生在論文指導上所花費之精力與時間，在研究方面給予極大自由，且常為學生著想，讓學生在做研究時能無後顧之憂，老師的幽默口條及做事的效率惠我良多。另外，特別感謝口試委員闕蓓德教授及陳映竹教授以淵博的知識對我的論文提供寶貴的建議，使我的碩士論文更臻於完整。

特別感謝長奎處長、乃仁主任、美慧隊長、貞瑩隊長及國聖科長支持我在工作上修讀碩士，讓我有機會在進入公職後還回到學校進修，也謝謝主牧、吳奇、銘駿、嘉祥、惠琦等同事在工作上的幫忙，讓我在工作之餘亦能兼顧學業。

在課業及研究上承蒙子維學長、姿萱學姐、涵涵學姐的提點、鼓勵與經驗傳承，在此致上真誠的感謝。特別是子維學長幫助我開拓研究思路，亦不厭其煩分享研究經驗及實用的指引，使我受益終生。另外也謝謝一起參與期末報告組員曉芬學姊、佳穎同學、凱婷同學、臻宜同學、兆蘭同學及翰穎學弟等，一起解決研究上的問題，使報告能如期完成。

最後，感謝我的家人、朋友、文芹、筑暄，給予我最大包容及鼓勵，使我無後顧之憂地進行研究。再次感謝生命中所有的貴人，謹以此篇論文，獻上我最愛的家人、朋友、同學、同事以及幫助我所有的朋友。

羅子亭 謹致於

國立臺灣大學環境工程學研究所

中華民國 112 年 11 月

摘要



因工業區活動產生多種空氣污染物排放，常引起鄰近住戶與環保團體的關注，難以辨識該區空氣污染來源，為了改善空氣品質，本研究以觀音工業區為例，彙整固定污染源排放量資料，並以 TEDS 第 12 版排放量為基礎，使用主成分分析工業區污染來源和排放狀況，藉由分析結果，結合空污防制成本相關資料，擬定最佳化減量策略。

本研究發現該工業區近 4 年 TSP、SO_x、NO_x 以及 NMHC 等污染物整體排放量逐年呈下降趨勢，並以 TEDS 第 12 版排放量資料進行主成分分析，選擇三個主成分，解釋數據 77.5% 變異性，其中第一個主成分 (PC1) 主要排放物質為 TSP、PM₁₀ 與 PM_{2.5}；第二個主成分 (PC2) 主要排放污染物為 THC 與 NMHC；第三個主成分 (PC3) 主要排放污染物為 NO_x 與 Pb，並經分析得知未分類其他非金屬礦物製品製造業 (瀝青拌合業) 污染程度最大，其次為塑膠原料製造業、鋼鐵鑄造業與化學原材料製造業等。

另該工業區 2021 年整體污染物 (TSP、SO_x、NO_x 與 NMHC 污染物排放量加總) 於最小減量成本下額外改善 5%、10%、15%、20% 與 25% 五種情形進行分析，在空品額外改善 5% 情形中，可發現 NMHC 為優先去除污染物；而於額外 10% 改善情形下新增 TSP 排放量管制，SO_x 與 NO_x 分析結果皆無減量；當整體污染額外改善 25% 情形下，新增 SO_x 與 NO_x 排放量管制，額外減量成本約 2,538 萬元，除此之外，在成本最小下，NMHC 額外減量噸數及去除比例最高，可列為優先去除污染物；另各別污染物 (TSP、SO_x、NO_x 與 NMHC) 額外改善情形提升至 25%，減量成本約 2,781 萬元，相較於整體污染額外改善情形 25%，增加 243 萬元，主要為整體污染額外改善可優先擇成本較低污染物進行，使減量成本降低，本研究亦結合主成分分析及減量成本分析結果分別提供減量建議。此外，亦針對整體污染

物或各別污染物不同情境下之減量成本進行敏感度分析，評估各行業於變動範圍內之減量成本，仍具備經濟效益。

關鍵詞：固定污染源、排放量、TEDS、主成分分析、減量策略



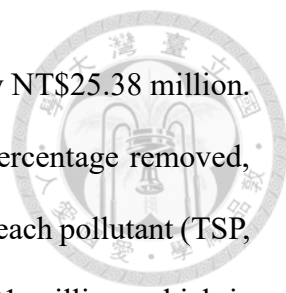
Abstract



In recent years, air pollution has become a major concern for residents and environmental groups living near industrial areas. It is often difficult to identify the sources of air pollution in these areas. To improve air quality, this study used the case of the Guanyin Industrial Park in Taiwan to compile data on emissions from stationary sources. Using the 12th edition of the Taiwan Emission Data System (TEDS), the study used principal component analysis to identify the sources and emissions of air pollutants in the industrial park. The results of the analysis were combined with data on air pollution control costs to develop an optimized reduction strategy.

The study found that emissions of particulate matter (TSP), sulfur dioxide (SO_x), nitrogen oxides (NO_x), and volatile organic compounds (NMHC) in the industrial park have been declining in recent years. Principal component analysis of TEDS 12 data identified three main components that explain 77.5% of the variation in the data. The first component (PC1) is primarily composed of TSP, PM10, and PM2.5. The second component (PC2) is primarily composed of THC and NMHC. The third component (PC3) is primarily composed of NO_x and Pb. The study also found that the largest polluter in the industrial park is the uncategorized other non-metallic mineral products manufacturing industry (asphalt mixing industry), followed by the plastic raw materials manufacturing industry, the iron and steel casting industry, and the chemical raw materials manufacturing industry.

The study also analyzed the cost-effectiveness of reducing overall pollution in the industrial park by 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%. In the case of a 5% reduction, NMHC were found to be the most cost-effective pollutant to remove. At a 10% reduction, adding a control on TSP emissions would not reduce SO_x or NO_x emissions. At a 25% reduction,



adding controls on SO_x and NO_x emissions would cost approximately NT\$25.38 million. At the lowest cost, NMHC had the highest reduction in tons and percentage removed, making them the top priority for removal. Increasing the reduction of each pollutant (TSP, SO_x, NO_x, and NMHC) to 25% would cost approximately NT\$27.81 million, which is NT\$2.43 million more than the cost of reducing all pollutants by 25%. This is because it is more cost-effective to prioritize the removal of pollutants with lower control costs. The study also provides reduction recommendations based on the results of the principal component analysis and the cost-effectiveness analysis.

In addition, the study conducted sensitivity analysis of the cost of reducing overall pollution or individual pollutants under different scenarios. This analysis evaluated whether the reduction costs for each industry are still economically feasible within the range of variation.

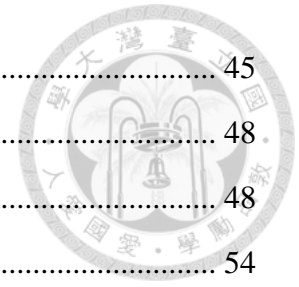
Keywords : Point source pollution 、 Emissions 、 TEDS 、 PCA 、 Reduction strategies

目次



誌謝	i
摘要	ii
Abstract.....	iv
目次	vi
圖次	viii
表次	ix
第一章 諸論	1
1.1 研究緣起	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究內容	3
第二章 文獻回顧	4
2.1 觀音工業區	4
2.2 工業區污染物組成特徵	6
2.2.1 污染物組成及來源	6
2.2.2 固定污染源排放量	11
2.2.3 空氣污染物來源主成分因子分析	14
2.3 排放量推估資料	22
2.3.1 固定污染源管理資訊公開資料	22
2.3.2 環境部全國空氣污染物排放量 TEDS 第 12 版點源清冊	22
2.4 污染防制成本	35
第三章 研究方法	38
3.1 研究架構	38
3.2 研究方法	40
3.2.1 主成分分析	40
3.2.2 LINDO 系統	43
第四章 結果與討論	45

4.1 歷年點源污染物排放量	45
4.2 TEDS 第 12 版點源排放量分析	48
4.2.1 各行業別污染排放量分析	48
4.2.2 主成分分析	54
4.3 各行業空污減量成本	63
4.4 LINDO 系統分析結果	66
4.4.1 整體污染物於額外空品改善情形下之行業別分析結果	66
4.4.2 各別污染物於額外空品改善情形下之分析結果	73
4.4.3 減量成本之敏感度分析	79
4.5 減量建議	83
第五章 結論與建議	87
5.1 結論	87
5.2 建議	90
第六章 參考文獻	91
附錄 LINDO 系統分析	95



圖次



圖 2.1 觀音工業區廠商位置平面圖	5
圖 2.2 空氣中的氣膠循環	10
圖 2.3 2013 年京津冀工業區空氣污染物排放源之貢獻圖	11
圖 2.4 2015 年貝洛奧里藏特市固定污染源排放統整圖	13
圖 2.5 電廠煙道氣與車輛尾氣之 PM _{2.5} 水溶性陰陽離子主成分分析之負荷值圖 ..	15
圖 2.6 電廠煙道氣與車輛尾氣之 PM _{2.5} 水溶性陰陽離子主成分分析之負荷值圖 ..	15
圖 2.7 哈爾濱市 17 個區縣綜合分數統計圖	21
圖 2.8 哈爾濱市 17 個區縣綜合分數排名及與綜合指數比較統計圖	21
圖 2.9 TEDS 第 12 版點源排放量清冊建置工作流程圖	22
圖 2.10 環境部之點源清冊排放量檢核流程	30
圖 3.1 研究架構圖	39
圖 4.1 污染物總排放量	45
圖 4.2 各污染物排放量	46
圖 4.3 各污染物排放比例	47
圖 4.4 TEDS 第 12 版工業區資料使用主成分分析之碎石圖	56
圖 4.5 TEDS 第 12 版工業區資料使用主成分分析之 PC1 和 PC2 轉軸負荷值圖 ..	58
圖 4.6 TEDS 第 12 版工業區資料使用主成分分析之 PC1 和 PC3 轉軸負荷值圖 ..	59
圖 4.7 整體污染物額外削減噸數	72
圖 4.8 整體污染物額外去除比例	72
圖 4.9 整體污染物額外改善與減量成本關係圖	73
圖 4.10 各別污染物額外改善與減量成本關係圖	79

表次



表 2.1 觀音工業區 2023 年行業別統計表	4
表 2.2 PM _{2.5} 與 PM ₁₀ 特性與粒徑比較	7
表 2.3 2015 年貝洛奧里藏特市固定污染源排放統整表	13
表 2.4 台灣南部石化公司於 5 個主成分的分析結果與綜合特徵值	16
表 2.5 阿根廷城市測站 2014 年至 2016 年各污染物濃度	18
表 2.6 阿根廷城市測站 PM _{2.5} 中化合物主成分分析結果	19
表 2.7 環境部之各污染物整廠排放量資料來源	24
表 2.8 環境部之各污染物整廠排放量資料來源認列優先順序	25
表 2.9 環境部之點源清冊整廠排放量檢核重點	26
表 2.10 環境部之污染物成份比例參考資料來源	28
表 2.11 排放粒狀污染物之主要行業平均防制成本	36
表 2.12 排放硫氧化物之主要行業平均防制成本	36
表 2.13 排放氮氧化物之主要行業平均防制成本	36
表 2.14 排放揮發性有機物之主要行業平均防制成本	37
表 4.1 2021 年固定污染源資訊公開平台與 TEDS 第 12 版資料比較表	48
表 4.2 TEDS 第 12 版各行業別統計表	49
表 4.3 TSP、PM ₁₀ 與 PM _{2.5} 排放統整表	50
表 4.4 SO _x 排放統整表	51
表 4.5 NO _x 排放統整表	52
表 4.6 THC 與 NMHC 排放統整表	52
表 4.7 CO 排放統整表	53
表 4.8 Pb 排放統整表	54
表 4.9 TEDS 第 12 版工業區資料使用主成分分析之 KMO 與 Bartlett's Test	55

表 4.10 TEDS 第 12 版工業區資料使用主成分分析之相關係數矩陣	55
表 4.11 TEDS 第 12 版工業區資料使用主成分分析之旋轉成分矩陣	57
表 4.12 TEDS 第 12 版工業區資料使用主成分分析之綜合分數較高 10 間公司	61
表 4.13 觀音工業區 2021 年排放量較大之 10 個行業別	63
表 4.14 工業區排放量前 10 大行業別與削減污染物量成本	64
表 4.15 不同行業 PM _{2.5} 、SO _x 、NO _x 和 NMHC 等污染物的排放比例	65
表 4.16 各行業釋放的特定污染物量佔該整體污染物總排放量	65
表 4.17 整體污染物額外改善 5%情形下各污染物減量結果	67
表 4.18 整體污染物額外改善 10%情形下各污染物減量結果	68
表 4.19 整體污染物額外改善 15%情形下各污染物減量結果	69
表 4.20 整體污染物額外改善 20%情形下各污染物減量結果	70
表 4.21 整體污染物額外改善 25%情形下各污染物減量結果	71
表 4.22 各別污染物額外改善 5%情形下各污染物減量結果	74
表 4.23 各別污染物額外改善 10%情形下各污染物減量結果	75
表 4.24 各別污染物額外改善 15%情形下各污染物減量結果	76
表 4.25 各別污染物額外改善 20%情形下各污染物減量結果	77
表 4.26 各別污染物額外改善 25%情形下各污染物減量結果	78
表 4.27 整體污染物敏感度分析允許減量成本範圍	80
表 4.28 各別污染物敏感度分析允許減量成本範圍	81

第一章 諸論

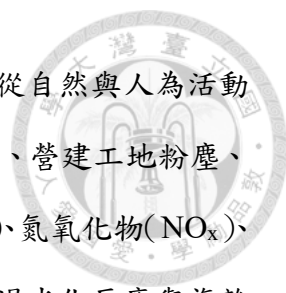


1.1 研究緣起

台灣從農業到工商業的快速轉變，後續工業活動對自然環境產生破壞，並對居民的生活環境與身體健康造成危害，再加上人們的環保意識正在興起，種種的示威活動更使得環境污染問題不容忽視。在眾多環境問題中，空氣中的污染問題佔據極為重要的地位。這是因為空氣污染無國界，其對人類的生存與健康有著密切的關聯。空氣污染的影響不受限於特定區域，而是橫跨整個地區甚至全球規模。正因如此，各國一直致力於推動空氣污染的管制及調查工作，以確保人們能夠呼吸到乾淨的空氣。

粒狀污染物是空氣污染關鍵指標，由各類型自然與人為活動帶入空氣中(Kim et al., 2015)。產生粒狀污染物來源主要可分為工業與機動車輛，因污染來源眾多，所以確定特定點源排放與其相對於其他城市和工業源之地理分佈，來減少空氣污染物對健康造成不良影響的風險是非常重要的(Castañeda-Miranda et al., 2014; Jabłońska & Janeczek, 2019)。而且暴露於多種類型的空氣污染可能加劇過敏性疾病，如氣喘與喘鳴(Schultz et al., 2017)。考慮環境污染之廣泛影響，即使某些污染物種的排放量不高，仍可能對人體健康產生威脅。而於流行病學文獻中，也發現細懸浮微粒對人體肺部疾病的發生率及死亡率有程度上的關係(黃玉潔，2013)。

我國環境部致力於制定各項法規，為了保障國民的健康與改善大氣污染情況，參考世界衛生組織(WTO)建議，考量我國空氣品質對民眾健康產生之風險、污染源現狀、確實可行的技術與現有經濟社會發展等原因於2012年5月14日增訂室外空氣中細懸浮微粒濃度限值，其24小時值與年平均值為 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，並逐期檢討PM_{2.5}空氣品質標準，與地方政府聯合推動固定污染源管制、移動污染源管制、逸散污染源管制等策略，以期全國PM_{2.5}年平均濃度符合空氣品質 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 標準(行政院，2023)。



PM_{2.5} 包含原生性與衍生性懸浮微粒，原生性 PM_{2.5} 是直接從自然與人為活動所產生，未經化學反應存在大氣環境中的微小粒子，如天然海鹽、營建工地粉塵、車行粉塵與工廠的排放等，而衍生性 PM_{2.5} 則係以硫氧化物(SO_x)、氮氧化物(NO_x)、揮發性有機物(VOCs)等前驅物的形式，被釋放至空氣中，透過光化反應與複雜的化學變化形成 PM_{2.5} 微粒，故降低 PM_{2.5} 污染，除直接削減原生性微粒外，更需針對衍生性前驅物 SO_x、NO_x 等氣態污染物著手進行相關污染減量工作。

另臺灣空氣污染物排放量清冊簡稱 TEDS (Taiwan Emission Data 系統, TEDS) 收集全國各污染源排放之空氣污染物(TSP、PM₁₀、PM_{2.5}、SO_x、NO_x、THC、NMHC、CO、Pb) 並經品保品管檢核作業，自 TEDS 第 11 版後改每 2 年更新一次，最新 TEDS 第 12 版已於 2023 年 9 月發布，是以 2021 年為基礎之污染物調查統計結果，而固定污染源公開平台每季提供固定污染源申報污染物(TSP、SO_x、NO_x、NMHC) 排放量，這些資料皆有助於民眾對於空污來源之識別與分布的了解，增進相關研究與管制之進行。

而工廠雖已針對製程產生之空氣污染物使用空污處理設備(如洗滌塔、袋式集塵器、廢氣燃燒爐等)處理，惟仍有部分空氣污染物排放至大氣中，故為提升空氣品質，本研究將探討加嚴空氣污染排放量產生之額外減量成本，強化空氣污染管制。

1.2 研究目的

因工業區坐落上百間工廠，其排放空氣污染物常引起鄰近住戶與環保團體的關注，且空氣污染物種類眾多，難以辨識該區空氣污染來源，為了改善空氣品質，提升國民生活環境與健康，本研究將以觀音工業區為例，分析固定污染源排放空氣污染物。本研究之目的如下：

1. 探討 2019 年至 2021 年工業區各行業別空氣污染物排放量及優先行業別減量順序。
2. 因空氣污染物種類眾多，本研究透過主成分分析 2021 年工業區空氣污染

物排放主成分，根據轉軸負荷值圖找出相似排放群體，並使用主成分綜合分數法對得到的 3 個主成分與其特徵值進行加權求和，計算出綜合分數 (F)，並自 174 間公司中篩選綜合分數較高 10 間公司優先進行額外減量工作，提供該行業別削減污染之建議。

3. 排放量資料結合各行業處理成本資料，探討加嚴空氣污染排放下產生之額外減量成本，結合主成分分析分別提供減量建議，並進行整體污染物或各別污染物不同情境下之減量成本敏感度分析。

1.3 研究內容

本研究分為三階段：

1. 彙整工業區 2019 年至 2022 年固定污染源資訊公開平台排放量資料，了解近年污染物排放趨勢，並與全國排放清冊第 12 版 (TEDS12, 基準年: 2021 年) (環境部, 2023) 中觀音工業區各行業總懸浮微粒 (TSP)、懸浮微粒 (PM₁₀)、細懸浮微粒 (PM_{2.5})、硫氧化物 (SO_x)、氮氧化物 (NO_x)、總碳氫化合物 (THC)、非甲烷碳氫化合物 (NMHC)、一氧化碳 (CO)、鉛 (Pb) 等空氣污染物排放量資料比較。
2. 以 TEDS 第 12 版排放量資料為基礎，使用主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 2021 年工業區空氣污染物排放主成分，根據轉軸負荷值圖找出相似排放群體，並對主成分及特徵值進行加權求和計算綜合分數，分數較高之 10 間公司優先進行額外減量工作，並提供該行業別削減污染之建議。
3. 收集各行業防制成本相關資料，使用 LINDO 系統解析加嚴空氣污染排放下不同空品改善情形之額外減量成本，提供行業別削減污染之建議，並進行整體污染物或各別污染物不同情境下之減量成本敏感度分析。

第二章 文獻回顧



2.1 觀音工業區

觀音工業區位於桃園市觀音區西北區域，鄰近台灣海峽，並根據行政院孫前院長運璿於 1979 年 11 月 24 日實地考察後所做的指示而設立的。該工業區的開發是為解決桃園市濱海四區所面臨的問題，也為配合政府改善投資環境，並帶動台灣北部地區沿海地區繁榮，滿足工業用地需求和籌措開發資金。觀音工業區至 1982 年 2 月起分三個時期進行開發，至 1990 年 12 月完成。工業區的總面積為 632.12 公頃，為綜合性工業區，且於周圍設林帶、防風林等。

觀音工業區內設有各種類型工廠，包括化學工業、金屬工業、電子工業、紡染工業、機械工業、塑膠業、汽車業、食品業、紙業、藥品業等，其工廠行業別統計如表 2.1 所示，各工廠位置平面圖如圖 2.1 所示(經濟部工業局觀音工業區服務中心，2023)。

表 2.1 觀音工業區 2023 年行業別統計表
(經濟部工業局觀音工業區服務中心，2023)

行業別	家數	比例
化學工業	115	31.9%
金屬工業	56	15.6%
電子工業	53	14.7%
紡染工業	36	10.0%
機械工業	23	6.4%
塑膠	18	5.0%
汽車	15	4.2%
其他	13	3.6%
食品	9	2.5%
非金屬	8	2.2%
紙業	8	2.2%
藥品	4	1.1%
其他運輸	2	0.6%



圖 2.1 觀音工業區廠商位置平面圖(經濟部工業局觀音工業區服務中心，2023)

工業區活動產生多種空氣污染物排放，包含焚燒過程、車輛排放或製程使用溶劑等可能會釋放出懸浮微粒、氮氧化物、硫氧化物與揮發性有機物等污染物，由於此工業區緊鄰住宅與國小，這些物質對當地的居住環境與人體健康產生負面影響。



2.2 工業區污染物組成特徵

2.2.1 污染物組成及來源

空氣中有許多污染物，而漂浮於空氣中像是灰塵之粒狀物稱懸浮微粒 (Particulate Matter)，懸浮微粒通常指顆粒粒徑介 0.005 至 100 微米的粒狀物，在大氣環境中除水分子外之固態或液態微小顆粒，主要來自天然之岩石風化、火山爆發、海洋飛沫及森林火災，與人為產生之機動車輛排放、工廠排放飛灰、街道揚塵和煙塵等，尤其粒徑小於 10 微米的粒子在呼吸道與肺部中央腺泡區域具有高效率的沉積(MacNee & Donaldson, 2003)，而空氣中懸浮微粒可分成下列幾種(葉國樑，2017)：

1. 落塵 (Dust Fall)：指環境中粒徑超過 10 微米的微小顆粒 (如粉塵、灰塵、污染物等) 在空氣中懸浮一段時間後，因重力作用逐漸沉降至地面或其他表面上，是政府空氣品質監測最早的檢驗項目。
2. 總懸浮微粒 (Total Suspended Particulate, TSP)：指於空氣中所有粒徑懸浮之微粒，可使用高量採樣器捕捉的微粒，也是政府早期的檢驗項目之一。
3. 懸浮微粒 (PM₁₀)：指空氣中懸浮之微粒，其粒徑在 10 微米以下，PM₁₀ 也被稱為可吸入性懸浮微粒，這些微小粒子能夠穿過呼吸道，到達人體肺泡組織，對呼吸系統和整體健康產生潛在的負面影響。
4. 細懸浮微粒 (PM_{2.5})：指空氣中粒徑在 2.5 微米以下懸浮之微粒，此種微粒之生命週期達數天至數周，透過浮力及風力相互作用，於空氣中長時間的懸浮，傳輸距離更能到達 1,000 公里，而 PM_{2.5} 來源與落塵不同，這些微粒的主要來自人為排放的污染物，經過後續反應後形成衍生之氣膠。

Kim et al. (2015)總結 PM_{2.5} 與 PM₁₀ 特性如表 2.2 所示，懸浮微粒的化學成分通常包含無機離子（如硫酸鹽、硝酸鹽、銨、鈉、鈣、鎂和氯化物等），微粒可以進一步形成其他成分，如有機化合物和元素碳、地殼物質、粒子結合水、金屬（包括鉛、鎘、銅、鎳、鈇和鋅）以及多環芳香烴（PAH）。尤其 PM_{2.5} 尺寸細小，往往會長時間（數週或數月）懸浮在空氣中，被運輸數百（甚至數千）公里，如果風場模式和大氣穩定性發生變化，不同粒徑的 PM 濃度可從一天至隔天大幅波動。


表 2.2 PM_{2.5} 與 PM₁₀ 特性與粒徑比較(Kim et al., 2015)

項目	細懸浮微粒 (PM _{2.5})	粗懸浮微粒 (PM ₁₀)
直徑	小於 2.5 微米	小於 10 微米
組成	硫酸鹽(SO ₄ ²⁻)、硝酸鹽(NO ₃ ⁻)、銨(NH ₄ ⁺)、元素碳(C)、有機化合物、多環芳香烴(PAH)、金屬(銅、鋅、鉛、鎘、鎳、鈇)、顆粒結合水與生物有機物	懸浮灰塵、土壤灰塵、街道灰塵、煤與石油飛灰、矽氧化物、鎂氧化物、鋁氧化物、鐵氧化物、鈦氧化物、碳酸鈣、氯化鹽、海鹽、花粉、黴菌孢子
來源	煤炭、石油、汽油的燃燒、NO _x 轉化物、SO ₂ 轉化物、有機物(包含生物源有機物)、高溫過程、冶煉廠和鋼鐵廠等	被輾壓到道路與街道再懸浮的土壤(如農業、採礦)、工業塵埃再懸浮、建築過程、煤炭與石油燃燒等
生命週期	數天至數週	數分鐘至數小時
傳輸距離(公里)	100 公里至 1000 公里	1 公里至 10 公里



此外，空氣中亦存在氣態污染物或是鉛物質，亦對人體健康與環境造成危害，其組成與來源等分述如下：

1. 硫氧化物 (sulfur oxides, SO_x): 二氧化硫 (SO_2) 與三氧化硫 (SO_3) 合稱為 SO_x ， SO_2 為辛辣與窒息性氣味的無色氣體，使用於硫酸生產，也作為殺蟲劑、殺菌劑、漂白劑和還原劑等，液化二氧化硫是很好溶劑，可用於精制各種潤滑油，並使用於冷凍劑。二氧化硫主要來自煤與石油燃燒，其次為硫酸製造與金屬冶煉時黃鐵礦的燃燒、硫酸鹽與亞硫酸鹽製造與橡膠硫化、紙漿漂白與消毒等過程中的排放。空氣污染物目前以二氧化硫為主，對植物產生有毒氣體，透過氣孔進入植物組織內，造成葉片退綠與葉脈間產生褐色的斑塊，並逐漸壞死，導致樹枝尖端乾枯與葉片過早凋落等。二氧化硫對人體的影響主要為上呼吸道刺激，附著於細微顆粒也可能影響下呼吸道。大量吸入將致使喉水腫、肺水腫、聲帶痙攣而致窒息(國家環境保護局科技標準司，1997)。除此之外，空氣中 SO_2 會逐漸被氧化成 SO_3 ，當 SO_2 與 SO_3 碰到水氣時會形成硫酸，造成建築物材料等腐蝕。
2. 氮氧化物 (Nitrogen oxides, NO_x): 氮氧化物 (NO_x) 為氧化亞氮 (N_2O)、氧化氮 (NO)、二氧化氮 (NO_2)、四氧化二氮 (N_2O_4) 及五氧化二氮 (N_2O_5) 等含氮之氧化物總稱，氮氧化物產生多為燃燒過程中將空氣中的氮氣轉換為氮氧化物及生產過程中氮氧化物的排放，例如硝酸生產、硝酸溶解金屬、硝酸浸洗金屬及有機物接觸濃硝酸等。由於二氧化氮難溶於水，對上呼吸道和黏膜膜作用較小，主要作用於深呼吸道，緩慢地溶解於含水蒸氣的肺泡氣及肺泡表面液體中，形成硝酸與亞硝酸，導致劇烈的刺激與腐蝕反應，使得肺毛血管通透性增加，造成肺水腫(國家環境保護局科技標準司，1997)，除此之外，氮氧化物也會形成光化學煙霧及造成酸沉降。

- 
3. 總碳氫化合物 (Total hydrocarbons, THC): THC 指所有碳氫化合物的總量, 包括甲烷、乙烷、烷烴、芳香烴等。THC 來自於機汽車排放、化石燃料燃燒、揮發性有機化合物的釋放等, 為臭氧等光化學物質生成的前體, 對人體健康產生威脅。
 4. 非甲烷碳氫化合物 (Non-methane hydrocarbons, NMHC): NMHC 指除甲烷以外的非甲烷碳氫化合物, 主要包括烷烴、烯烴、芳香烴與含氧烴等, 為 $C_2 \sim C_{12}$ 烴類物質。NMHC 人為排放主要來自油類燃燒排放尾氣、有機物質燃燒、有機溶劑蒸發、運輸損耗、石油等製品貯存及廢棄物提煉過程產生廢氣, 具有易燃易爆特性, 對人體直接影響為中樞神經系統麻醉作用, 並對皮膚黏膜產生刺激作用, 較嚴重者將導致皮膚濕疹, NMHC 為臭氧、醛類等光化學物質生成的前體, 其毒性與危害已成為最受關注環境污染類型之一(國家環境保護局科技標準司, 1997)。
 5. 一氧化碳 (Carbon monoxide, CO): CO 來自燃燒含碳燃料, 加上不完全燃燒時產生無色無味的氣體, 多為汽機車排放與工業排放。CO 基本上對植物和材料為惰性, 但對人體健康卻有很大影響, CO 易與紅血球結合導致紅血球喪失其傳氧能力, 並隨其濃度不同與暴露時間長短, 對人體產生頭痛、噁心與死亡等(Cooper & Alley, 2009)。
 6. 鉛 (Lead, Pb): Pb 及其化合物常溫下不易被氧化, 且具耐腐蝕、柔軟等特性, 廣泛使用於工農業生產中, 像是鉛礦的燒結與精煉、含鉛金屬和合金熔煉、蓄電池廠澆鉛板、印刷業鑄字和澆版、機械工業的鉛浴熱處理、電纜包鉛、自來水管焊接、製造火車及汽車軸承、無線電源件噴鉛等過程中, 鉛的蒸汽將氧化為氧化亞鉛, 凝聚為極小的顆粒, 稱鉛煙, 粒徑僅 1 微米以下。有的鉛物質附著於較大粒徑的固體顆粒, 稱鉛塵。一般排放的鉛煙塵經除塵處理後, 大部分為粒徑較小的顆粒排放至空氣中。鉛對人體各組織皆有毒性作用, 尤其對神經

系統、消化系統、造血系統和血管方面產生病變為多(國家環境保護局科技標準司，1997)。

由於這些懸浮微粒飄浮在空氣中，將經歷各種物理和化學相互反應與轉化，從而改變顆粒的大小、結構和組成，並經多數雲重新蒸發，使改變的氣膠顆粒再次釋出至蒸發的雲滴或冰晶中。當雲粒子形成降水並到達地面時，氣膠也被移除，而無水顆粒將通過對流和擴散被運輸到地面(Pöschl, 2005)，如圖 2.2 所示。因原生性氣膠之粒徑較大，而衍生性氣膠存在氣團中物化過程生成，常存在於較小的微粒中。除此之外，不同地區具不同的氣象環境、地形特性和排放源種類，其化學組成也會有所不同，相同地區的組成成分也可能因為各種季節的氣象因素而有所變化(簡汝嫻，2017)。

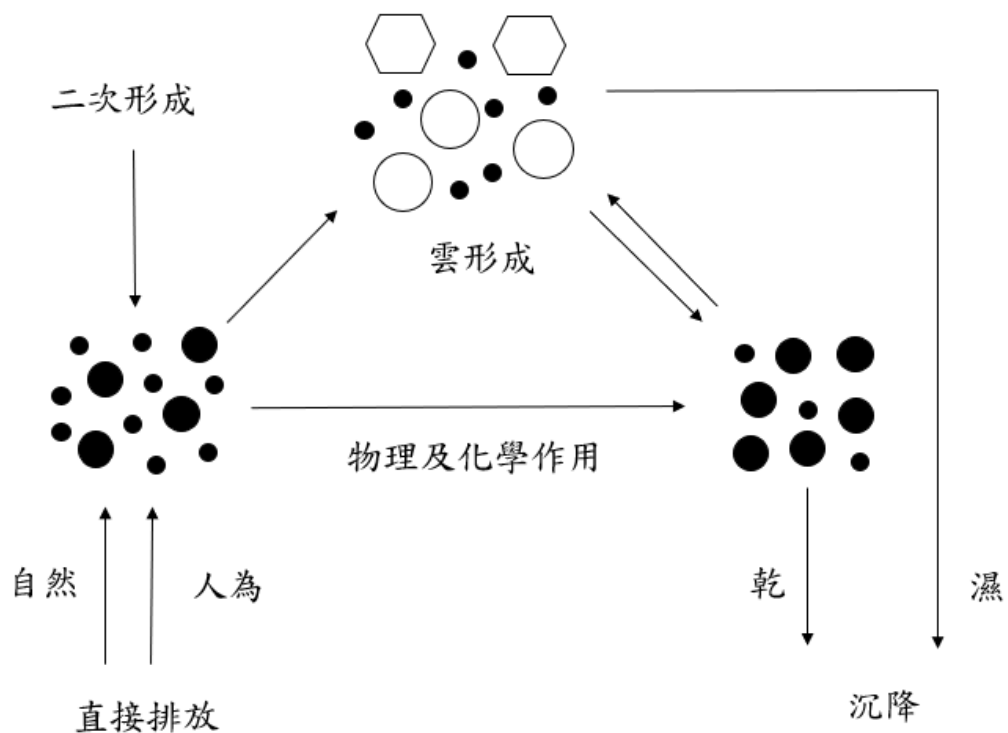


圖 2.2 空氣中的氣膠循環(Poschl, 2005)



2.2.2 固定污染源排放量

Qi et al. (2017)描繪京津冀工業區的工廠不同來源污染物的分佈如圖 2.3 所示，其中使用工業鍋爐排放二氧化硫 (SO₂) 和氮氧化物 (NO_x) 分別佔 44.8%和 37.1% 排放量，只有少數工業鍋爐使用煙氣脫硫處理來減少二氧化硫 (SO₂) 排放，使得工業燃燒源二氧化硫 (SO₂) 排放量高於電廠。

另外鋼鐵生產主要排放源為二氧化硫 (SO₂)、細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 和一氧化碳 (CO) 排放，分別佔工業部門總排放量 25.6%、38.8%和 75.1%。此外，水泥和焦炭生產過程分別排放 23.1%及 14.1%的細懸浮微粒 (PM_{2.5}) 排放量，而使用溶劑和生產焦炭的工廠為非甲烷揮發性有機物 (NMVOC) 主要排放源，分別佔 46.7% 和 14.1%排放量，因在工業生產及溶劑使用方面，中國政府對溶劑含量的限制相對已開發國家較為寬鬆，所以較少使用揮發性有機化合物 (VOC) 末端處理設備。另氨 (NH₃) 主要來自氨相關的化學過程排放。

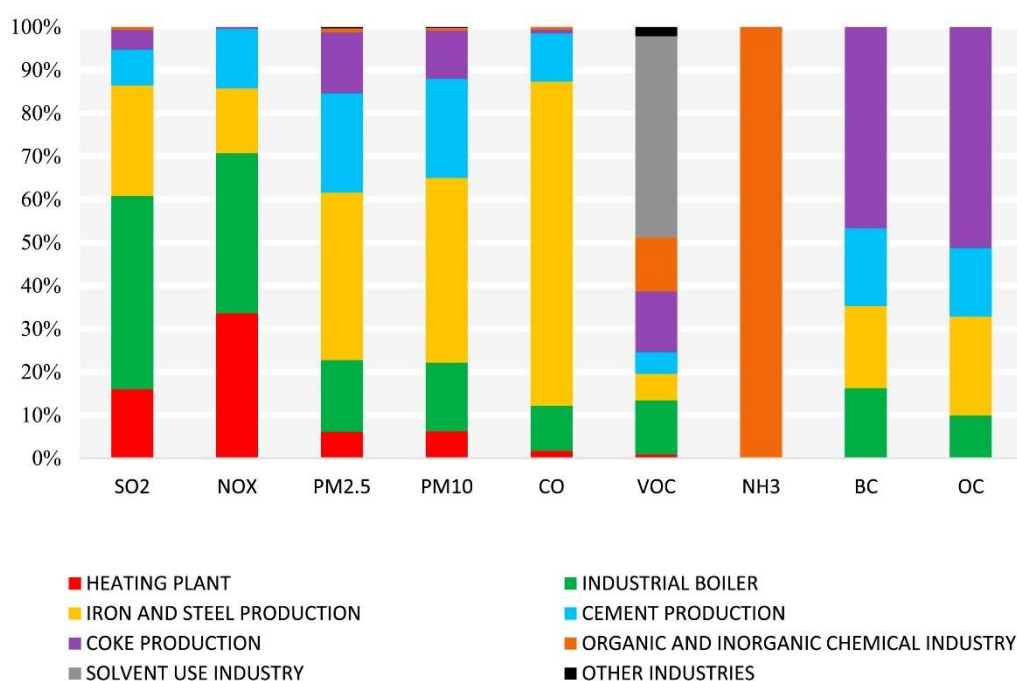
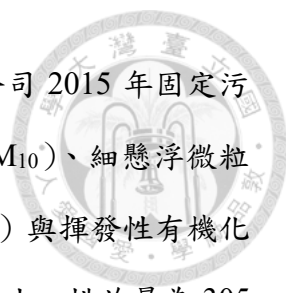


圖 2.3 2013 年京津冀工業區空氣污染物排放源之貢獻圖(Qi et al., 2017)



Santos et al. (2019)分析巴西西南部貝洛奧里藏特市 28 家公司 2015 年固定污染源排放情形，污染物包括總懸浮微粒（TSP）、懸浮微粒（PM₁₀）、細懸浮微粒（PM_{2.5}）、一氧化碳（CO）、二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）與揮發性有機化合物（VOCs），結果如圖 2.4 顯示。固定污染源中 NO_x 排放量最大，排放量為 305 噸/年，NO_x 排放與燃燒過程密切相關，由於高溫下空氣中的氮（N₂）和氧（O₂）的燃燒結合（Zeldovich 機制）而產生。貝洛奧里藏特市的固定源中，NO_x 排放主要發生在工業鍋爐（公司 6、8 和 13 至 17）、沼氣能源製造廠（公司 27）與鋼鐵工業（公司 28），如表 2.3 所示。CO 為貝洛奧里藏特市固定源排放的第二大污染物，年排放量為 235 噸（圖 2.4），同樣與燃燒過程有關，因為燃料氧化不完全，排放量最大為柴木燃燒鍋爐（公司 5 至 9）、BPF 1A 油鍋爐（公司 13）以及沼氣能源製造廠（公司 27）和鋼鐵工業（公司 28）。除此之外，TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 排放量均超過 200 噸/年（圖 2.4），除燃燒過程中顆粒物排放外，研磨、運輸和材料加工等物理過程也對排放產生了影響，從表 2.3 可以看出，鋼鐵工業（公司 28）在貝洛奧里藏特市的固定源中產生 81%、82% 和 85% 的 TSP、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 排放。另 SO₂ 排放量為 180 噸/年（圖 2.4），其中主要來自工業鍋爐中的燃料油如公司 13 至 16（表 2.3）。VOCs 為排放最少的物種，在燃燒作業中（不完全氧化）形成與噴漆室中的揮發性物質排放，其總排放量為 63 噸/年（圖 2.4），其中最大產生量來自鋼鐵工業（公司 28）和柴木燃燒鍋爐（公司 5）（表 2.3）。

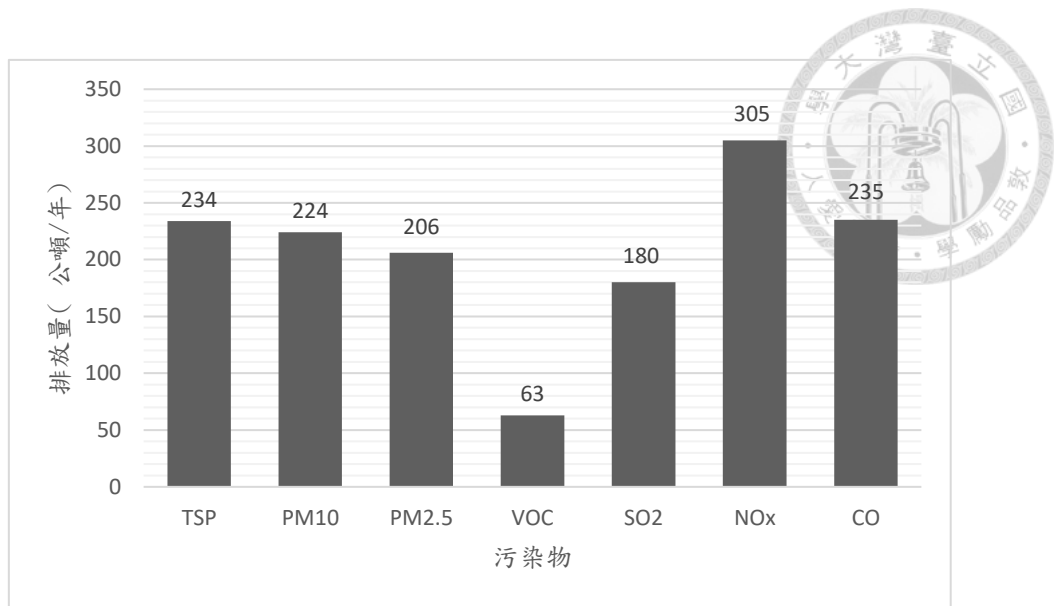


圖 2.4 2015 年貝洛奧里藏特市固定污染源排放統整圖(Santos et al., 2019)

表 2.3 2015 年貝洛奧里藏特市固定污染源排放統整表(Santos et al., 2019)

公司		排放量(噸/年)						
編號	類型活動	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	VOC	SO ₂	NO _x	CO
1	麥芽與啤酒的製造	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.24	0.2
2	藥品製造	0.04	0.04	0.04	0.01	0.02	0.23	0.22
3	防彈背心、頭盔和防彈板的製造	0.07	0.07	0.07	1.1	0.05	0.02	0.95
4	麥芽和啤酒的生產	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.1	0.05
5	工業洗衣業	6.87	6.18	5.22	20.79	13.33	0.47	7.74
6	紗線、織物和紡織品漂白與染色	2.6	2.34	1.97	0.3	0.19	3.78	10.55
7	肉製品的製造和屠宰副產品處理	1.15	1.05	0.62	0.09	0.05	0.1	23.65
8	預拌混凝土與建築材料製造	16.82	15.14	12.78	2.44	1.57	30.71	91.01
9	密封膠黏劑和橡膠產品的製造	0.98	0.88	0.74	0.11	0.07	1.34	2.38
10	工業洗衣	0.16	0.16	0.15	0.01	0.79	0.45	0.04
11	橡膠產品的製造	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.11	0.84
12	醫院鍋爐	0.17	0.16	0.04	0.04	2.94	1.66	0.52
13	醫院鍋爐	7.63	6.56	4.27	1.94	40.24	42.87	7.59

14	醫院鍋爐	1.26	1.08	0.7	0.16	49.28	6.91	0.63
15	醫院鍋爐	0.73	0.63	0.41	0.09	28.81	4.04	0.37
16	醫院鍋爐	2.71	2.57	0.6	0.39	24.97	17.4	0.43
17	醫院鍋爐	1.43	1.23	0.8	0.18	4.53	7.85	0.71
18	軟飲料製造	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	1.65	0.15
19	有機電子實驗室	0	0	0	0.04	0	0	0
20	建築製品（合成大理石的 水槽、儲罐和洗臉盆）製 造	0.84	0.84	0.84	0.21	0	0	0
21	採礦機械和設備的製造	0.12	0.12	0.12	0	0	0	0
22	負載運輸和升降機械、設 備和裝置的製造	1.49	1.49	1.49	2.47	0	0	0
23	火葬場	0.19	0.17	0.17	0.03	0.26	0.67	0.17
24	印刷電路板製造	0.03	0.03	0.03	0	0	0	0
25	太陽能薄膜製造	0	0	0	0.01	0	0	0
26	混凝土製造	0.03	0.03	0.03	0	0	0	0
27	掩埋場沼氣能源製造	0	0	0	0	7.34	49.51	11.65
28	鋼鐵工業：從礦石還原製 造生鐵與鋼產品的煉鋼和 加工	189.03	183.22	174.51	32.43	5.59	134.58	75.19

2.2.3 空氣污染物來源主成分因子分析

吳亞璇 (2020) 收集北部、中部和南部三個電廠的煙道氣以及柴油車和汽油車在怠速和快速 (70 公里/小時) 下的尾氣樣本，以了解不同排放源中 PM_{2.5} 中水溶性陰陽離子的組成空間變異，使用主成分因子法對每個樣本中的 10 種水溶性陰陽離子進行解析，通過將轉軸後的成分矩陣污染物推測污染源排放污染物的相似組成。

主成分分析結果如圖 2.5 與圖 2.6 所示，第一主成分(PC1)及第二主成分(PC2) 個別解釋 28.6%和 22.1%的變異量。於各排放源離子中，PC1 的轉軸因子負荷值大於 0.6 包含 NH₄⁺、NO₃⁻和 PO₄³⁻，可以明顯觀察到固定源和移動源間的區分。在車

輛引擎運轉時，高溫燃燒會排放氮氧化物，這導致 PC1 中固定源和移動源的離子組成差異。PC2 主要由 Na^+ 和 Cl^- 組成，在北部電廠和汽柴油引擎快速下與中部和南部電廠以及汽柴油引擎有所區分。因為北部電廠使用海水脫硫排煙法進行，而車輛可能於添加潤滑劑等過程排出 Na^+ 與 Cl^- ，這導致 PC2 中固定源和移動源間沒有顯著區分。根據 PC1 和 PC2 的轉軸負荷值，排放源被分為 3 個相似污染物組成的群體，其中一個群體是汽柴油引擎在快速和惰轉下的排放源，該群體主要的離子污染物是 NO_3^- 和 PO_4^{3-} ，並且將北部電廠單獨分為一個群體，因為 Na^+ 和 Cl^- 為其主要排出物種，與其他排放源不同。另一個相似群體則是中部和南部電廠的排放源。

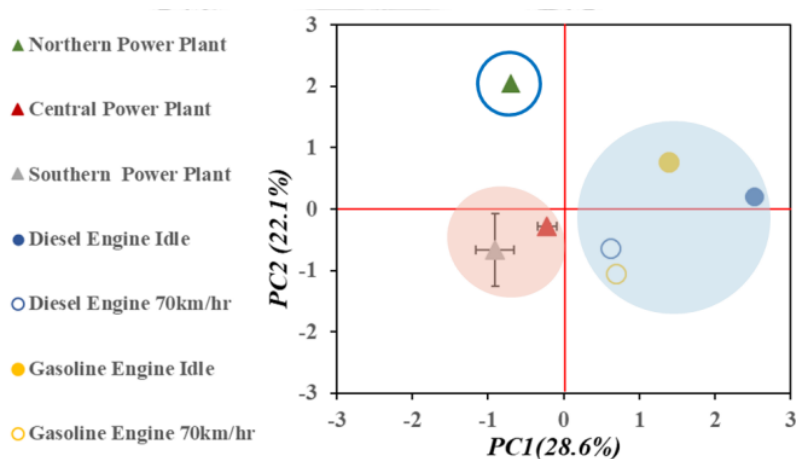


圖 2.5 電廠煙道氣與車輛尾氣之 $\text{PM}_{2.5}$ 水溶性陰陽離子主成分分析之負荷值圖

(吳亞璇，2020)

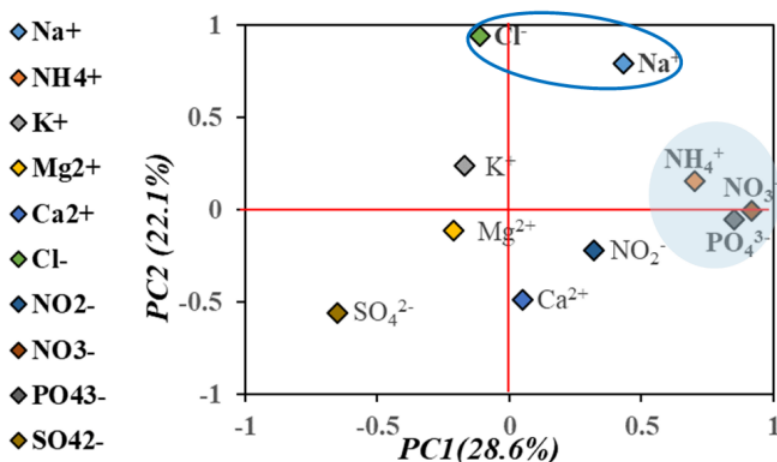


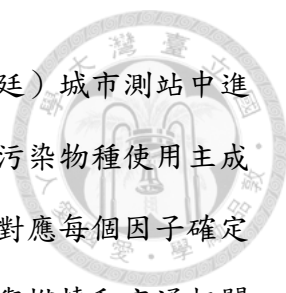
圖 2.6 電廠煙道氣與車輛尾氣之 $\text{PM}_{2.5}$ 水溶性陰陽離子主成分分析之負荷值圖

(吳亞璇，2020)

Chen et al. (2020)選擇台灣南部具代表性的石化工業園區，針對 20 間上、中、下游公司和 2012 年至 2014 年的 519,442 個揮發性有機化合物 (VOC) 排放源進行主成分分析。表 2.4 顯示進行主成分 (principal component) 分析和綜合特徵值 (comprehensive eigenvalue) 計算的結果，PC 和 CE 分別代表主成分和綜合特徵值。通過計算綜合特徵值，將數據投影至一維，並考慮公司對揮發性有機化合物 (VOC) 排放的重要性降序排列，排序為 F04>F16>F18>F03>F20。這些公司屬於石化行業的中下游部門，與儲罐、催化轉換器 (CTs) 和製程單元 (ECs) 有關，提高中下游部門公司控制揮發性有機化合物 (VOC) 的重要性。除考慮排放量和前幾個主成分負荷值外，源頭數量和複雜性也是石化行業中確定關鍵公司以進行有效的 VOC 控制的另一個因素。

表 2.4 台灣南部石化公司於 5 個主成分的分析結果與綜合特徵值(Chen et al., 2020)

PC	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	CE
Eigenvalue	5.838	3.902	3.867	2.295	1.807	
F01	0.022	0.162	0.966	-0.029	0.034	0.128
F02	-0.024	0.95	0.151	0.006	-0.226	0.103
F03	0.042	0.932	0.263	0.103	-0.021	0.146
F04	0.675	0.205	0.65	-0.018	-0.16	0.173
F05	0.153	0.148	0.826	-0.043	-0.098	0.118
F06	0.719	-0.151	-0.045	-0.122	0.546	0.107
F07	-0.122	0.832	-0.25	-0.056	0.378	0.074
F08	0.968	-0.139	-0.019	-0.069	0.083	0.115
F09	-0.044	0.625	0.43	-0.161	0.129	0.107
F10	-0.015	0.055	0.024	0.816	-0.22	0.06
F11	-0.1	0.048	0.112	0.247	0.929	0.096
F12	-0.139	-0.037	-0.146	0.943	0.246	0.06
F13	-0.027	0.884	0.415	0.019	-0.105	0.135
F14	-0.192	-0.06	-0.031	0.768	0.391	0.059
F15	0.974	-0.034	-0.056	-0.089	-0.027	0.113
F16	0.821	0.067	0.463	-0.071	-0.072	0.159
F17	0.974	-0.093	-0.038	-0.061	-0.059	0.109
F18	0.077	0.246	0.929	-0.036	0.224	0.155
F19	0.569	0.228	0.396	-0.031	-0.226	0.127
F20	0.958	0.006	0.201	-0.086	-0.093	0.139

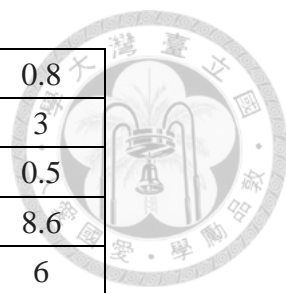


Lanzaco et al. (2017)於 2014 年至 2016 年在科爾多瓦（阿根廷）城市測站中進行 PM_{2.5} 採集並整理各污染物之濃度如表 2.5，選擇樣本中 18 個污染物種使用主成分進行來源解析，其分析污染物主成分如表 2.6 所示，粗體數值對應每個因子確定污染物，解析結果有 5 個解釋因子，總解釋變量為 78%。PC1 與燃燒和交通相關的排放過程有關聯，主要成分含有機碳 (OC)、元素碳 (EC)、鉀 (K) 和銻 (Sb)，解釋 20% 的變異，其中車輛的微粒排放取決於引擎類型、使用年限和維護狀況，包含 OC 和 EC 形式的碳（柴油車中的 OC/EC 比較低）以及微量金屬，且 OC 和 EC 也富含於生物質燃燒排放，透過 K 與環境中碳質物質 (OC 和 EC) 之比值，可區分交通和生物質燃燒排放源。此外，除少數樣本被視為生物質燃燒產生的排放外，主要碳質物質來源仍然是交通排放。Sb 是一種潛在有毒的微量元素，可能對人類和環境產生不良影響。過去研究指出，空氣中的銻與剎車片磨損有關，它被用作剎車片的潤滑劑，以減少震動並提高摩擦穩定性；PC2 主要由中程傳輸過程產生，其特徵污染物為氯離子 (Cl⁻)、鈉 (Na) 和砷 (As) 為主，解釋 17% 的變異。在科爾多瓦東北方的馬其魁它 (Mar Chiquita) 擁有世界上最大的鹽水湖之一，該湖含有高含量的氯化鈉 (NaCl) 及西北方薩利納斯格蘭德斯鹽沼 (Salinas Grandes)。除此之外，砷通常與有色金屬冶煉（如金 (Au)、銅 (Cu)、鉛 (Pb)、鋅 (Zn)）及採礦之工業排放有關。該地區的有色金屬冶煉廠主要使用砷 (As)，使土壤含有異常高砷 (As) 含量，這表明受到地下水中砷的污染。所以可得出 PC2 的特徵污染物主要來自自然來源中的元素在中程範圍傳輸的影響；PC3 被歸類為土壤粉塵，其主要特徵污染物包括鋁 (Al)、鐵 (Fe)、鈦 (Ti) 和錳 (Mn)，解釋了 15% 的變異。這種粉塵來源於城市道路的揚塵與天然礦物的混合物，鐵 (Fe) 通常與煞車盤有關，而鋁 (Al)、鈦 (Ti)、錳 (Mn) 等地殼元素通常與道路、沙漠等地區的礦物粉塵有關；PC4 被歸類為二次無機氣膠，其主要特徵污染物包括硝酸根離子 (NO₃⁻)、銨離子 (NH₄⁺) 和硫酸根離子 (SO₄²⁻)，解釋了 15% 的變異。這些二次氣膠的主要來自煤及生物質燃燒，硝酸根離子 (NO₃⁻) 的前驅物是氮氧化物 (NO_x)，以柴油引擎和

固定源的排放為主；PC5 被歸類為工業排放，其主要特徵污染物包括鈦 (V)、鋅 (Zn) 和鈣 (Ca)，解釋了 11% 的變異。城市的混合燃料來源也包括工業、水泥廠和火力發電廠。鈦 (V) 通常於焦油和重燃料油中含量較高，由於天然氣使用上的限制，該地的水泥廠增加使用焦油作為燃料，將廢棄輪胎作為替代燃料，進而排出鋅物質。而鈣則是石灰石的主要成分，是水泥廠使用的原材料之一。

表 2.5 阿根廷城市測站 2014 年至 2016 年各污染物濃度(Lanzaco et al., 2017)


污染物 (ng·m ⁻³)	平均值	標準差	最小值	中位數	最大值
PM _{2.5}	48111.3	44553.9	16583.9	28240.4	163669.7
OC	11306.3	13398.9	2580.4	4290.9	45817.7
EC	2664.2	1054	790.2	2665	4696.9
SO ₄ ²⁻	862.2	354.7	210.4	813.4	1670.2
NH ₄ ⁺	217.5	213.1	68	144.5	797.9
Cl ⁻	440	242.2	281.6	356.4	1128.5
NO ₃ ⁻	343.6	219.5	146.3	260.9	1009.8
Al	208.8	125.1	14.6	184	458
Ca	364.6	371.9	5.2	286.1	1306.7
Fe	156.8	80.4	20	151	280.9
K	134.6	188.9	4.2	62.5	861.5
Mg	72	34.8	20	70.3	162.2
Na	173.3	194.6	6.6	109	838.3
P	31.7	48	0.7	20	225.3
S	215.3	132.2	60.4	194.3	541
Ti	14.4	6.9	3.2	15.1	30.3
V	5.9	5.2	0.3	4.3	20.2
Cr	7.9	9.1	1.7	2.3	27.3
Mn	4.4	1.5	1.3	4.8	7
Co	5.9	5.4	0.4	4.7	14.9
Ni	12.3	13.4	1.6	7.2	35.5
Cu	7.1	12.8	0.5	2.8	46.6
Zn	17	12.6	4.5	14	55.1
Ge	0.4	0.2	0.1	0.4	0.9
As	2.7	2.1	0.4	2.3	8.4



Rb	0.6	0.1	0.4	0.6	0.8
Sr	1.5	0.7	0.5	1.5	3
Y	0.2	0.2	0	0.2	0.5
Zr	3.3	2.4	0.1	3.1	8.6
Mo	3.5	1.6	1.1	3.4	6
Cd	12	14.8	1	6.1	28.9
Sn	0.5	0.5	0	0.4	1.6
Sb	1.4	0.9	0.5	1.1	3.5
Ba	6	3.7	1.9	4.9	15.5
La	0.2	0.2	0	0.1	0.8
Ce	0.3	0.3	0.1	0.3	1.3
Nd	0.1	0	0	0.1	0.2
Pb	8.6	9.3	1.1	6.1	40.4

表 2.6 阿根廷城市測站 PM_{2.5} 中化合物主成分分析結果(Lanzaco et al., 2017)

污染物	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
NH ₄ ⁺	0.02	-0.09	0.11	0.94	0.02
Cl ⁻	-0.13	0.88	0.13	-0.17	-0.11
NO ₃ ⁻	-0.01	0.53	0.04	0.8	-0.08
SO ₄ ²⁻	-0.06	0.19	0.03	0.7	0.25
OC	0.91	-0.06	-0.03	-0.19	-0.08
EC	0.84	-0.03	-0.11	0.28	-0.07
Al	0.01	0.01	0.68	-0.09	0.09
Ca	-0.02	-0.08	0.02	0.15	0.83
Fe	0.26	0.12	0.82	0.34	0.04
K	0.8	-0.02	0.08	-0.02	0.14
Mg	0.63	0.59	0.2	0.29	0.11
Na	-0.01	0.91	0	0.15	-0.04
Ti	-0.11	0.11	0.81	0.03	0.11
V	-0.1	0.35	0.51	-0.26	0.56
Mn	-0.53	0.06	0.73	0.36	0.08
Zn	-0.04	-0.05	0.2	0.08	0.85
As	0.03	0.84	0.14	0.34	0.09
Sb	0.79	-0.05	0.21	-0.2	-0.25
% 變量	20	17	15	15	11



Zhang et al. (2022)採用主成分分析 (PCA) 方法對 2020 年至 2021 年哈爾濱市空氣品質測站 6 項空氣污染物指標 (PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、SO₂、CO、O₃) 降維為兩個主要成分。每個主成分為原始指標的線性組合，並保留原始指標的大部分信息，以最大限度地減少信息損失，通過計算兩個主成分的權重，即可得到各區縣的綜合得分，如圖 2.7 所示，通過給予每個指標權重來進行哈爾濱市 17 個區縣排名評估，如圖 2.8 所示。藉由比較綜合指數評估方法，可看出兩種方法的排名結果高度一致，這也說明了主成分分析綜合評分方法的有效性和合理性。空氣品質較差的 5 個區縣位於哈爾濱市主城區，而空氣品質較好的五個區縣位於哈爾濱市周邊地區，形成明顯的「周邊好，中心差」的情形，主要為主城區人口密度高，使用燃煤產生的污染比周遭縣市高，也因主城區有高交通流量，使機動車的尾氣產生的污染高於周遭城市。

Zhang et al. (2022)指出綜合分數的計算方法為全國統一的評估方法，由於不同地區的空氣品質不同，因此每個指標在評估過程中不進行加權，即每個指標對空氣品質影響皆相同，使綜合評分更科學合理。另因 AQI 評估方法會對所有指標進行計算及評價，由於指標間存在一定的相關性，全指標評估方法將影響評估結果，如細顆粒物及可吸入顆粒物高度相關，存在冗餘信息，相較之下，主成分分析可降低具特定相關性的指標的維度，並獲得一組獨立、綜合的指標來替換原始指標，以捕獲數據中的主要信息進行評估。

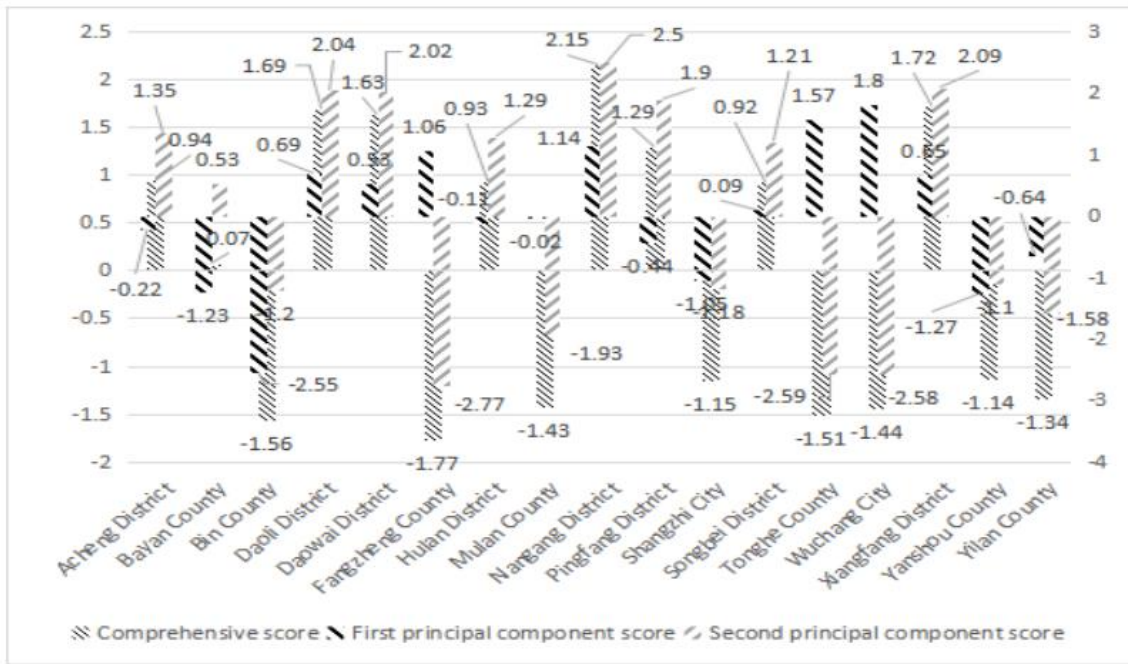


圖 2.7 哈爾濱市 17 個區縣綜合分數統計圖 (Zhang et al., 2022)

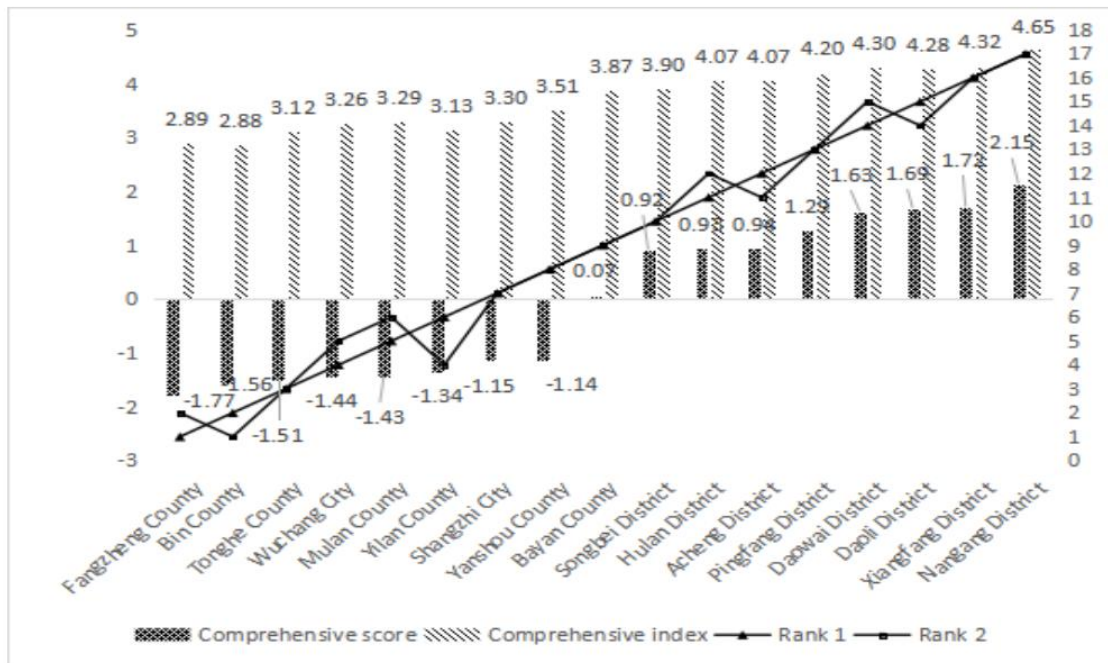


圖 2.8 哈爾濱市 17 個區縣綜合分數排名及與綜合指數比較統計圖

(Zhang et al., 2022)



2.3 排放量推估資料

2.3.1 固定污染源管理資訊公開資料

環境部依空氣污染防治法增訂資訊公開規定，建置固定污染源公開平台，並提供 102 年起每季固定污染源申報 4 種污染物 (TSP、SO_x、NO_x、NMHC) 實際排放量資料(環境部，2023)。

2.3.2 環境部全國空氣污染物排放量 TEDS 第 12 版點源清冊

點源清冊建置流程

臺灣空氣污染物排放量清冊簡稱 TEDS (Taiwan Emission Data 系統, TEDS)，自 TEDS 第 11 版後改採每 2 年更新一次，最新版 (TEDS 第 12 版) 收集全國 2021 年不同污染源排放至大氣之空氣污染物，原始資料來源以各級環保機關與主計單位記錄與提供之數據為主，經由環境部分類後綜整收載並於 2023 年公布。點源排放量推估手冊建置工作如圖 2.9 所示，以下為工作流程介紹(環境部，2023)：

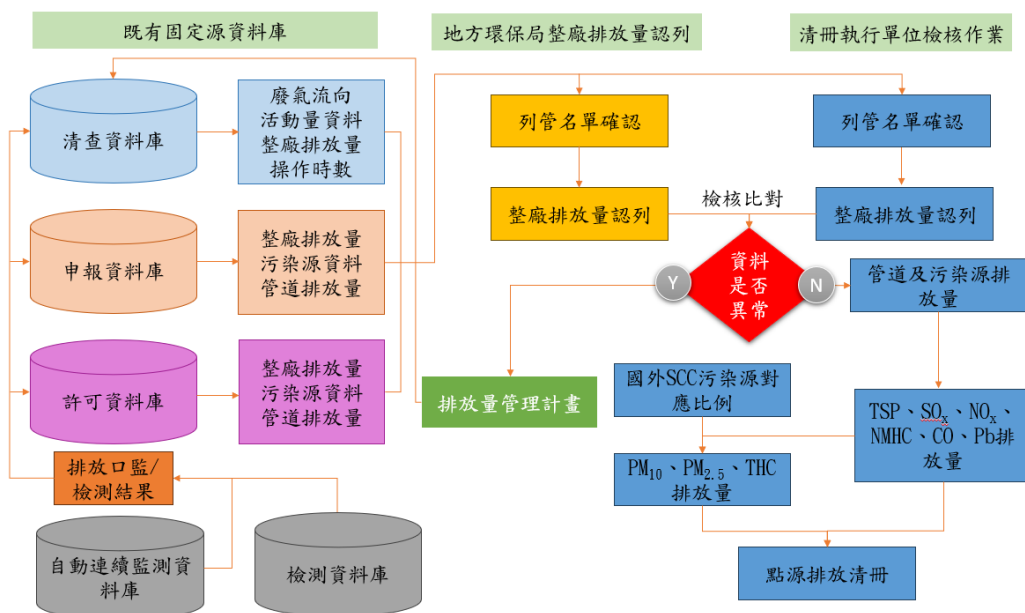


圖 2.9 TEDS 第 12 版點源排放量清冊建置工作流程圖

(環境部，2023)



1. 2021 年清查、申報/空污費排放量資料擷取

為降低空氣品質惡化並了解各公私場所排放空氣污染物的情形，已建立清查、申報/空污費等固定源法規資料庫，以作為空氣污染裁罰管制之依據。以下根據其 2021 年點源排放清冊推估使用的資料，說明清查、申報/空污費資料庫資料擷取作業(環境部，2023)。

(1) 清查資料庫

為提供完善的排放量資訊，TEDS 第 12 版點源排放清冊納入清查資料庫資料進行建置，由於更新清查資料庫的方式多為實地清查後輸入查核結果，這可能導致資料庫出現缺值或異常的情況。為確保資料的合理引用，需要縣市反覆確認與進行完整清冊檢核作業，因 2021 年完整年度資料於 2022 年進行清查作業，為配合點源清冊建置作業時程需要，故 2021 年份資料以 2022 年 8 月 31 日為截止擷取時間點(環境部，2023)。

(2) 申報/空污費資料庫

申報資料庫用於記錄列管場所每年一、四、七、十月前申報前一季度空氣污染物排放量的資料，這些資料需要經過至少兩季審查作業，而空污費的申報方式與之類似，故 2022 年的資料截止擷取時間點為 2021 年 8 月 31 日(環境部，2023)。

2. 2021 年清冊納管名單範疇建立

(1) 公私場所列管名單整併

一般以清查資料庫列管之公私場所範圍最廣，有效資料近 2 萬家，惟更新速度受人力資源限制。另因申報/空污費資料庫納管條件較高，約 1 萬至 1 萬 5,000 家列管數量，因部分公私場所重覆或共同存在於不同資料庫，故點源清冊的範疇乃在基礎年度有營運且有排放空氣污染物之公私場所，並列管於固定源資料庫，原則上採最大聯集方式整併，並確保資料一致性與正確性(環境部，2023)。

(2) 非工業製程特定行業別之納管公私場所移除

固定源資料庫列管公私場所亦包括加油站業與小型餐飲業，因實際場所數量



眾多，且排放量較小，大部分未納管於固定源資料庫，或於資料庫內難以維護更新，故將此兩行業別移出點源清冊涵蓋範圍，改以面污染源之形式推估(環境部，2023)。

(3) 極小型污染源剔除

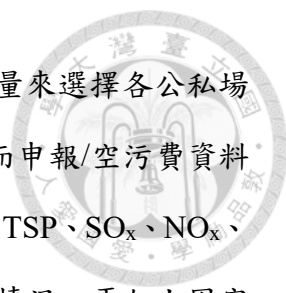
以往建置點源清冊時，若耗費許多人力物力資源檢核此類極小型污染源不符合邊際成本，故點源清冊移除全部污染物年排放量在 0.001 公噸以下（即年排放量未達 1kg）之公私場所(環境部，2023)。

3. 各公私場所整廠排放量認列

TEDS 第 12 版點源排放清冊涵蓋污染物包括 TSP、PM₁₀、PM_{2.5}、SO_x、NO_x、THC、NMHC、CO、Pb，在固定源資料庫（清查或申報/空污費資料庫）有登載者包括 TSP、SO_x、NO_x、NMHC、CO 及 Pb 等物種，其須由縣市提報認列整廠排放量，而在固定源資料庫無登載者包括 PM₁₀、PM_{2.5} 及 THC 等則開放縣市自行調查提報整廠排放量（若縣市無法自行調查提報則由清冊協助推估）。環境部綜整各污染物整廠排放量之資料來源如表 2.7 所示(環境部，2023)。

表 2.7 環境部之各污染物整廠排放量資料來源(環境部，2023)

污染物	清查	申報/空污費	縣市自行調查/清冊協助推估
TSP	◎	◎	-
SO _x	◎	◎	-
NO _x	◎	◎	-
NMHC	◎	◎	-
CO	◎	-	-
Pb	◎	◎	-
PM ₁₀ 、PM _{2.5}	-	-	◎
THC	-	-	◎



點源清冊以基礎年為依據，使用申報/空污費資料庫的排放量來選擇各公私場所的資料。因清查資料庫的固定源並非每年更新排放量數據，而申報/空污費資料庫能夠提供每季度的申報污染物排放量。所以在大部分情況下，TSP、SO_x、NO_x、NMHC 和 Pb 的資料以申報/空污費資料庫更接近基礎年的實際情況，再加上固定源系統亦包含許可排放量，因其無法代表當年度排放量及該廠管制排放量，故盡量不以許可量作為整廠排放量為認列資料來源(環境部，2023)。

由於各地方政府最能掌握點源各公私場所的實際排放情況和計算基礎，所以點源清冊的各廠排放量必須經由縣市提報認列。除此之外，為避免點源清冊數據與申報公開資料 (open data) 不一致，TEDS 第 12 版點源清冊要求優先認列申報/空污費排放量作為整廠排放量的來源，若無申報/空污費資料始可認列清查排放量或其他排放量數據。環境部綜整點源清冊整廠排放量認列之原則如表 2.8 所示(環境部，2023)。

表 2.8 環境部之各污染物整廠排放量資料來源認列優先順序
(環境部，2023)

污染物	排放量來源資料庫認列順序
TSP、SO _x 、NO _x 、NMHC、CO、Pb	1.有申報/空污費資料之公私場所即須指定認列申報/空污費資料庫整廠排放量 2.若無申報/空污費資料始可認列清查排放量或其他排放量數據 (若認列其他排放量數據，須註明資料來源)
PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、THC	1.縣市自行調查提報整廠排放量，清冊透過一定的作業決定是否採用 2.若縣市無法提供資料 (或清冊經一定的作業決定不予採用縣市提報資料者) 則由清冊單位協助推估



4. 地方環保局認列整廠排放量比對檢核

點源清冊除透過排放量管理計畫，請各地方環保局認列各公私場所之整廠排放量，清冊也透過申請並取得詳細的固定源法規資料庫（包括清查和申報/空污費資料庫）資料，以 2022 年下半年擷取的固定源法規資料庫資料作為比對依據。於清冊建置期間，對於發現異常的情況，即要求縣市進行確認、修正或說明(環境部，2023)。


同樣在排放量提報期間，也可能因申報/空污費排放量仍在補件或審查階段，或者清查排放量處於更新階段，導致藉由排放量管理計畫認列的排放量可能不是該年度的最終排放量。在這種情況下，仍需要請縣市再次確認最終排放量。TEDS 第 12 版點源清冊整廠排放量檢核重點如表 2.9 所示(環境部，2023)。

表 2.9 環境部之點源清冊整廠排放量檢核重點(環境部，2023)

項次	檢核清冊整廠排放量檢核重點
1	是否優先認列申報/空污費資料庫排放量
2	提報認列之排放量數據是否與來源資料庫（申報/空污費、清查等資料庫）數據相符，若提報排放量與固定源資料庫差異超過 15 公噸，請縣市重新確認、修正或說明
3	填報「無」資料者是否符合申報/空污費、清查資料庫皆無登載排放量之情況
4	疑為燃燒製程（SO _x 、NO _x 排放量皆大於零）但 CO 卻為零者，請縣市重新再確認 CO 排放量
5	提報資料發生 Pb>TSP 情況者請縣市再確認數據正確性
6	其他錯誤或誤植：如單位錯誤、欄位錯植、數據誤植、資料來源誤植等

5. 各公私場所整廠排放量拆分至管道、設備

點源清冊以 Top-Down 方式建置，當確定各公私場所的整廠排放量後，將依序拆分排放量至廠內所有管道和污染源設備上。凡申報/空污費資料有詳細資料者，則按資料排放量比例進行拆分，沒有詳細資料者則參採清查資料庫登載之相關細部資料拆分整廠排放量資料(環境部，2023)。



因固定源法規資料庫的管道排放量較準確，對於申報/空污費資料庫無詳細資料者，原則依據固定源法規資料庫各管道排放量之比例將整廠排放量分配至管道排放量，再依據清查資料庫所登載之廢氣流向資料（各設備對管道貢獻）與污染源設備排放量資料，將每一管道排放量拆分至其所對應之每一污染源設備排放量(環境部，2023)。

6. 特定空氣污染污染物成份比例推估

固定污染源資料庫中，尚未納入 PM₁₀、PM_{2.5} 與 THC 為污染物管制對象。TEDS 第 12 版開放縣市自行調查提報整廠排放量，清冊根據一定作業決定是否採用；如果縣市無法提出資料，或經過一定作業決定不予採用縣市提報的資料，則由清冊單位協助進行推估(環境部，2023)。

由於本土檢測資料尚不支持清冊推估 PM₁₀、PM_{2.5} 和 THC，TEDS 第 12 版蒐集國外最新的污染污染物比例資料庫，如美國環保署公告的 SPECIATE、PM Augmentation 和 FIRE 等，參考資料的來源如表 2.10 所示。根據這些資料，將污染源設備與美國類似製程、燃料和設備的 SCC 代碼與控制方法之污染物比例進行對應(環境部，2023)。

目前台灣的固定源法規資料庫只清查資料庫登載污染源設備的 SCC 資料，因資料錯誤率高，故不直接依清查資料庫中的 SCC 資料來對應相關比例，而是根據清查資料庫中的污染源設備代碼和設備名稱來對應相關比例。因採用本土污染源設備對應美國類似生產過程、使用的燃料和設備的方式，將整廠排放量拆分至污染源設備乃是必要的條件(環境部，2023)。

表 2.10 環境部之污染物成份比例參考資料來源(環境部，2023)

資料庫名稱	下載網址
Speciate	http://www.epa.gov/ttnchie1/software/speciate/
PM Augmentation	https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/pm-augmentation
FIRE	http://cfpub.epa.gov/webfire/
CARB	http://www.arb.ca.gov/ei/speciate/speciate.htm

PM₁₀和PM_{2.5}的排放量推估以TSP排放量為基礎，通過PM₁₀/TSP和PM_{2.5}/TSP的比例來進行計算。這些比例主要參考美國環保署公告的SPECIATE、PM Augmentation或FIRE等資料庫，這些資料多為管道檢測結果，根據污染源設備與美國類似製程/設備/燃料的SCC代碼，可獲得粒狀污染物在不同粒徑下控制後排放比例(環境部，2023)。

THC的推估則以NMHC排放量為基礎，通過計算THC/NMHC的比例推估。這些比例主要參考美國環保署公告的SPECIATE資料庫，比例的計算方式以污染源揮發有機物總和/(總揮發性有機物-甲烷占比)(環境部，2023)。

7. 點源清冊資料表製作

完成整廠排放量認列、排放量拆分與特定污染物成份(如PM₁₀、PM_{2.5}和THC)的排放量推估後，即整理污染物排放量和其他基本資料，製作以下點源基本資料表(環境部，2023)：

(1) 公私場所基本資料與整廠排放量資料表

以公私場所整廠為列，包括縣市、鄉鎮市區、大門口座標、所屬工業區、行業別分類等基本資料以及各污染物的整廠排放量(環境部，2023)。

(2) 污染源設備、製程相關資訊與排放量資料表

將整廠排放量拆分至管道和污染源設備上，製作以管道和污染源設備細目為列的資料表，包含製程原料/燃料和產品用量、污染源設備的操作時間、管道-污染源設備細目排放量等資訊(環境部，2023)。



(3) 管道資訊、管道排放量與防制設備資料表

以排放管道為列，包含管道排放參數資料（如流速、乾基流量、排氣溫度）、防制設備名稱與各污染物效率等資訊(環境部，2023)。

備妥上述點源基本資料表後，進一步依據公開版點源排放清冊格式與需要欄位，彙整最終公開版點源排放清冊(環境部，2023)。

點源清冊品質保證管檢核作業

透過排放管理計畫，點源清冊請各地方環保局認列各公私場所的整廠排放量。清冊同樣申請取得詳細的固定源法規資料庫資料，以 2022 年下半年的數據作為基礎進行比對。於建置清冊的過程中，對上述資料進行比對，如果發現異常情況，即回饋給相應的縣市進行反覆審查、確認和說明。因為點源資料量龐大，並非所有的異常情況都容易被察覺，例如某些個別公司場所的排放量可能在資料源頭（法規資料庫）上已經登錄錯誤（例如單位錯誤），或者在不同年度間排放量與其活動強度（例如原料/燃料使用量、產品產量）的比例關係不合理，或與其他資料（例如環評承諾量）進行比對有疑義。根據現有的品質保證和品質管原則，點源清冊排放量的主要檢核方法包括兩個基準年資料的比較（十二版和十一版清冊的比較）、清冊與法規資料庫的比對、清冊與環評承諾量的比對，以及其他檢核項目如極端異常值檢核（例如由於單位錯誤引起的異常值）。排放量檢核的流程如圖 2.10 所示，有關排放量檢核說明分述如下(環境部，2023)：

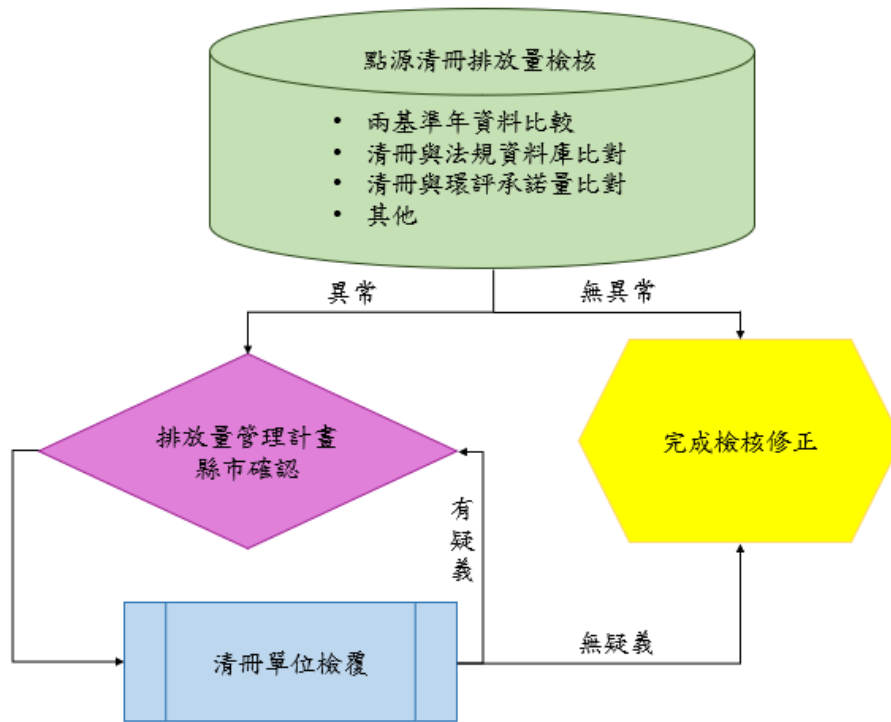


圖 2.10 環境部之點源清冊排放量檢核流程(環境部，2023)


1. 各污染物整廠排放量檢核比對

(1) 排放量與來源資料庫比對基本檢核

為使點源整廠排放量清冊資料與政府公開資料一致，清冊擷取固定源資料庫整廠排放量數據與縣市提報數據進行比對，如縣市未優先認列申報/空污費排放量之公私場所、整廠排放量差異超過 15 公噸或公私場所整廠排放量比對結果顯示固定源(申報/空污費或清查)資料庫有登載排放量資料而縣市卻提報「無」資料之情形，清冊皆提請縣市進行再確認、修正或說明(環境部，2023)。

(2) 排放量來源資料庫數據之合理性檢視

TEDS 的整廠排放量數據是引用自第一級排放量資料庫。一般來說，各資料庫



的年度整廠排放量應該趨於一致。但因清查和申報/空污費資料庫基於功能不同，所使用的排放量計算方式可能略有差異，或更新情況不一致，導致不同資料庫內的排放量不完全一致，但理論上在同一場所在相同年度的排放量差距理應不會太大。當清冊需要引用固定源資料時，對於排放量在不同資料庫間有過大差異的工廠，將會引發資料使用上的矛盾。下列條件可用於檢視和探討排放量資料間的差異是否過大(環境部，2023)：

任一資料庫(清查、申報/空污費)排放量落於平均值 $\pm 20\%$ 範圍以外

此檢視方法的設計精神是以各資料庫排放量的平均值為中心，如果各資料庫的排放量落在平均值正負 20%的範圍內，則認定該筆排放量資料在不同資料庫間無顯著異常。但是如果清查或申報/空污費資料中有排放量數據落在平均值正負 20%的範圍之外，則判定該排放量資料可能存在異常。這種異常可能是由於人為輸入錯誤或其他估算原則導致的不一致。對於這種情況，清冊將視需要提請負責維護資料庫的縣市進行說明，必要時要求縣市重新估算或親自造訪現場進行重新查核(環境部，2023)。

(3) 不同年度間排放量之連續性檢查

清冊執行單位同樣執行排放量的連續性確認，藉由檢視歷年排放量資料，以驗證固定源資料庫的排放量或縣市提報的排放量是否合理。對於申報/空污費的整廠排放量而言，排放量每年都有連續的紀錄，通常每年的排放量不應該有過大的跳動，否則可能存在不合理的情況。根據現行的空污許可管理辦法，年排放量的許可變動範圍為 20%。故檢查邏輯為檢視年排放量是否跳動超過 20%。如果年跳動量超出 20%，則要求地方重新確認或提供合理的說明(環境部，2023)。

(4) 排放量之許可檢查與環評檢查

根據國內空污法規定，許可證所登錄的排放量為容許的最大量，公私場所在許可證中記載的可能污染源排放量不應超過許可證所限制的量。除此之外，這個原則也適用於該開發案的環境影響評估說明書中核准的排放量(環評承諾量)。因此，



清冊排放量數據檢查的最後作業是將結果與許可證和環評承諾進行比對。如果縣市提報的清冊排放量超出上述兩個限制量，清冊的資料將經過彙整後，請地方環保局進行覆查、說明或更正(環境部，2023)。

2. 整廠排放量之學理邏輯檢查

由於點源清冊所引用的固定源法規資料庫的資料來源具有特殊考量和目的，未必能完全反映真實的排放量。故在製作點源清冊時，除前述的檢核項目外，點源清冊製作時亦透過下列排放型態的合理性條件來加強資料品管工作(環境部，2023)。

(1) 排放管道口合理性檢查

a. 袋式集塵器後端之管道出口溫度不應高於 200°C

袋式集塵器使用耐高溫纖維材質的濾袋，正常情況下，處理效率在 200°C 以上開始衰減，最高操作溫度約在 250°C 左右，但是過高的操作溫度可能引發火災，故檢查時如果袋式集塵器後端管道出口的溫度超過 200°C，則需要進行人工檢查並進一步確認(環境部，2023)。

b. SCR 脫硝裝置後端之管道出口溫度不應高於 400°C

SCR 觸媒的操作反應溫度範圍為 230°C 至 450°C，當溫度高於 450°C 時，觸媒將失去活性，無法將氮氧化物與氨或尿素進行反應，而使其直接通過 SCR 系統。故檢查時若脫硝裝置後端的管道出口溫度超過 400°C，則有必要進行進一步的人工檢查和確認(環境部，2023)。

c. 所有管道口出口溫度不應高於 1,000°C，或低於 25°C

在工業製程中，管道排放的溫度受到不同因素的影響，如火力發電廠鍋爐的燃燒溫度可能最高達到 1,000°C，但此僅為未控制狀態下的溫度。在經過防制設備和管道排放過程的冷卻作用後，管道出口的溫度應該遠低於 1,000°C。除此之外，排放口的溫度也不應低於室外的常溫(環境部，2023)。

d. 下列所有 SCC 代碼所屬之排放管道口不應低於 35°C

SCC 代碼 10* (外部燃燒鍋爐作業)、SCC 代碼 20* (內部燃燒引擎作業)，

SCC 代碼 501001*、501005*、502001*、502005*、503001*、503005* (焚化爐燃燒作業)，此代碼皆與燃燒作業有關，故其排放口溫度不應低於 35°C(環境部，2023)。

e. NO_x 或 SO_x 排放量達每年 5 公噸以上者，不應為地面逸散

在正常情況下，NO_x 或 SO_x 的排放源應該是燃燒過程中產生的空氣污染物。若年排放量達到 5 公噸以上，常理判斷應屬一定規模以上的污染源，並應有相對應的排放管道。而中小型內燃機具或柴油發電機等設備，很少能夠達到每年超過 5 公噸的 NO_x 或 SO_x 排放量，故當 NO_x 或 SO_x 的排放量達到每年 5 公噸以上時，清冊判斷不應該是地面逸散的情況(環境部，2023)。

f. 所有管道出口高度不應高於 250 公尺

管道出口的高度越高，相對建設成本也越多，煙囪的高度是根據環境影響評估要求設定，目前國內產業煙囪的最高高度為 250 公尺(如火力發電廠的煙囪高度)，故將排放管道出口的高度控制在不超過 250 公尺是合理的條件(環境部，2023)。

g. 所有管道排放之流速不應大於每秒 35 公尺

管道的流速越大，擴散速度相對也較好，但是當流速超過每秒 30 公尺時，可能會發生氣笛共鳴效應。所以一般在流速的設計上很少超過每秒 35 公尺，如果超過這個數值，則清冊應挑選出來進行人工判斷(環境部，2023)。

h. 所有管道之排放量與排氣量換算後之排放濃度，不應高於該行業之排放標準

根據現行的空污法規，不同行業設有各自的排放標準。對於管道排放，一般使用濃度計算。像是在一般燃燒污染源的管道排放中，SO_x 的標準排放濃度為 300ppm。故清冊資料中的排放濃度，通過換算排放量和排氣量後，不應超出此標準值。惟因在特定行業、區域或設施中可能有其他定義的排放標準，而且各種污染源的排放標準並不完全相同，所以操作作業上較為困難，無法簡單地使用門檻值來定義，必要時需要執行人工判斷(環境部，2023)。



(2) 不同空氣污染物間量級比較

a. 所有燃燒類排放管道，SO_x 或 NO_x 其一為 0 者屬不合理

在燃燒類的排放管道中，硫氧化物 (SO_x) 和氮氧化物 (NO_x) 的產生是必然的。故資料篩選中，如 SO_x 或 NO_x 排放量數據為 0，為不合理現象，應被篩選出來進行進一步的探討。除此之外，若燃燒過程中一氧化碳 (CO) 的排放量為零，也多半屬於不合理的現象，同樣有必要執行篩選並進一步確認(環境部，2023)。

b. 所有非內燃機類、非廢棄物燃燒類排放管道且為無控制設備 (措施) 者，

SO_x 之排放量不應超出 NO_x 排放量 (採人工合理性判斷)

一般工業製程中，SO_x 的排放來源主要是來自燃燒過程燃料中的硫含量，而 NO_x 的污染源幾乎涵蓋所有高溫段製程，不受限於燃燒過程。根據美國的 FIRE 係數表統計，由於近年來燃料中硫含量的管制標準逐漸加嚴，目前全國大部分地區或製程必須使用硫含量低於 0.5% 的低硫燃料油。而少數使用生煤燃料的污染源，其平均硫含量比例已降至 1.0% 以下。經過換算處理後，除了少數製程 (如石油煉製、硫磺工廠) 外，未控制燃燒的 NO_x 排放係數皆高於 SO_x 排放係數(環境部，2023)。

由此可見，SO_x 排放量高於 NO_x 排放量的污染源可能是異常之情形，惟此兩者排放量與後端的防制設備息息相關，目前對於管道排放設備的資訊尚不完備，所以進行這項檢查需要大量的人力作業作為輔助(環境部，2023)。

c. 所有管道 Pb 排放量大於 TSP 排放量者多屬不合理

一般情況下，因高溫或燃燒過程排放的重金屬物質 (除了少數低沸點物質如汞) 通常以懸浮微粒或附著於粒狀物的形式排放。因此，除非是特殊製程或行業，Pb 的排放量不應該大於 TSP 的排放量。故如整個工廠的鉛排放量大於整個工廠的 TSP 排放量，清冊原則上會要求縣市重新確認，並請縣市同步在固定源資料庫進行修正。如果經縣市確認後仍然保持 Pb>TSP 的情況，清冊將視為該工廠的特殊案例，不再另作更動(環境部，2023)。



2.4 污染防制成本

污染防制成本可以區分為直接成本 (direct cost) 和間接成本 (indirect cost)。直接成本指廠商在生產過程中為減少污染排放所投入的支出，包括購買防制污染設備的成本以及相關的操作費用，這些直接成本直接應用於空氣污染防制上；間接成本則考慮到污染防制工作對其他部門的影響，這兩種成本都是評估污染防制方法時需要考慮的重要因素，廠商在進行污染防制時可能採用以下三種方法(簡汝嫻，2017)：

1. 改採低污染原物料：降低使用原料中的污染成分，以減少污染物的產生。
2. 製程優化：優化生產過程，使用更潔淨的方式進行生產，以減少污染物的排放。這包括採用更高效、更清潔的技術和設備，以及改進操作方式，最大程度地降低污染物的生成。
3. 加裝防制設備：安裝特定的污染處理設備，如靜電集塵器、選擇性觸媒還原設施和排煙脫硫設施等，這些設備可以捕捉和去除排放中的污染物，從而減少對環境的影響。

通常廠商在選擇污染防制方法時會考慮成本最小化的原則，儘管使用低污染原料可能可以達到法規標準，但將增加製造成本，且製程的更改可能會對產物的品質產生影響，所以大部分業者優先選取安裝污染防制設備來進行改善，因為這種方法更符合成本效益考量。

李正揚(2008)整理環保署 2003 年度「固定污染源排放許可資料庫」，防制粒狀污染物、硫氧化物、氮氧化物與揮發性有機物排放量前 10 大行業，其餘行業併為「其他行業」，並使用均化成本計算法計算防制設備設置成本，設置成本加上操作維護成本即為總防制成本，總防制成本除以防制量即為平均防制成本，污染物前 10 大行業平均防制成本如表 2.11 至 2.14，由於近年文獻多為各空污防制設備之設置、維護成本資料，各行業別減量成本之研究甚少，故本研究將以李正揚(2008)整理之防制成本乘上躉售物價指數(由國產內銷、出口、進口品三項物價指數加權而得)

(行政院主計總處，2023)計算各行業 2021 年固定污染源減量成本。

表 2.11 排放粒狀污染物之主要行業平均防制成本(李正揚，2008)

行業別	平均防制成本 (元/公噸)	行業別	平均防制成本 (元/公噸)
非金屬礦物製品製造業	3,787,593	金屬基本工業	1,757,802
化學材料製造業	40,878	塑膠製品製造業	23,360
紙漿、紙與紙製品製造業	25,327	食品與飲料製造業	49,566
環境衛生與污染防治服務業	130,387	電力供應業	342,910
石油與煤製品製造業	17,509	金屬製品製造業	44,426
其他行業	61,430		

表 2.12 排放硫氧化物之主要行業平均防制成本(李正揚，2008)

行業別	平均防制成本 (元/公噸)	行業別	平均防制成本 (元/公噸)
紙漿、紙與紙製品製造業	11,875	食品與飲料製造業	1,089,229
非金屬礦物製品製造業	36,053	旅館業	28,511
化學材料製造業	53,952	塑膠製品製造業	99,414
紡織業	28,918	環境衛生與污染防治服務業	22,584
電力與電子機械器材製造修配業	61,967	金屬基本工業	86,403
其他行業	85,557		

表 2.13 排放氮氧化物之主要行業平均防制成本(李正揚，2008)

行業別	平均防制成本 (元/公噸)	行業別	平均防制成本 (元/公噸)
電力供應業	2,923	食品與飲料製造業	832,086
紙漿、紙與紙製品製造業	10,363	金屬基本工業	85,996
化學材料製造業	49,711	社會服務業	21,203
非金屬礦物製品製造業	30,361	電力與電子機械器材製造修配業	48,304
紡織業	29,135	化學製品製造業	210,375
其他行業	63,846		

表 2.14 排放揮發性有機物之主要行業平均防制成本(李正揚，2008)

行業別	平均防制成本 (元/公噸)	行業別	平均防制成本 (元/公噸)
電力與電子機械器材製造修 配業	61,173	金屬製品製造業	23,702
化學材料製造業	12,929	化學製品製造業	295,956
紙漿、紙與紙製品製造業	11,875	非金屬礦物製品製 造業	38,467
塑膠製品製造業	13,138	石油與煤製品製 造業	57,123
紡織業	27,576	電力供應業	2,923
其他行業	44,702		

第三章 研究方法



本研究彙整桃園市觀音工業區各工廠空氣污染物的排放量，以了解污染物排放趨勢，並使用主成分分析工業區污染來源和排放狀況，及針對不同減量情形進行分析。

3.1 研究架構

本研究分為三階段，第一階段整理 2019 年至 2022 年固定污染源資訊公開平台排放量資料，了解近年污染物排放趨勢，並與全國排放清冊第 12 版 (TEDS 12，基準年：2021 年) 中觀音工業區各行業總懸浮微粒 (TSP)、懸浮微粒 (PM₁₀)、細懸浮微粒 (PM_{2.5})、硫氧化物 (SO_x)、氮氧化物 (NO_x)、總碳氫化合物 (THC)、非甲烷碳氫化合物 (NMHC)、一氧化碳 (CO)、鉛 (Pb) 等空氣污染物排放量資料比較。由於 TEDS 第 12 版資料已經品保品管檢核作業 (如兩基準年資料比較、清冊與法規資料庫比對、清冊與環評承諾量比對等)，數據較準確，故第二階段以 TEDS 第 12 版排放量資料為基礎，利用主成分確認工業區空氣污染物排放主成分，根據轉軸負荷值圖找出相似排放群體，並為保留原始空氣污染物大部分信息，更客觀地確定污染物權重，將設定各污染物對空氣品質影響相同條件下進行分析，並參考文獻方法使用主成分綜合分數法對得到的 3 個主成分與其特徵值進行加權求和 (Yang et al., 2020; Zhang et al., 2022)，計算出綜合分數 (F)，並自 174 間公司中篩選綜合分數較高 10 間公司優先進行額外減量工作，提供該行業別削減污染之建議。另現今工廠雖已針對製程產生之空氣污染物使用空污處理設備 (如洗滌塔、袋式集塵器、廢氣燃燒爐等) 處理，惟仍有部分空氣污染物排放至大氣中，故為提升空氣品質，第三階段收集各行業防制成本資料，並使用 LINDO 系統軟體針對 TEDS 第 12 版觀音工業區排放量資料進行線性規劃，分析加嚴空氣污染排放量產生之額外減量成本及敏感度評估，亦提供該行業別削減污染之建議，擬定最佳化減量策略。本研

究架構圖如圖 3.1 所示。

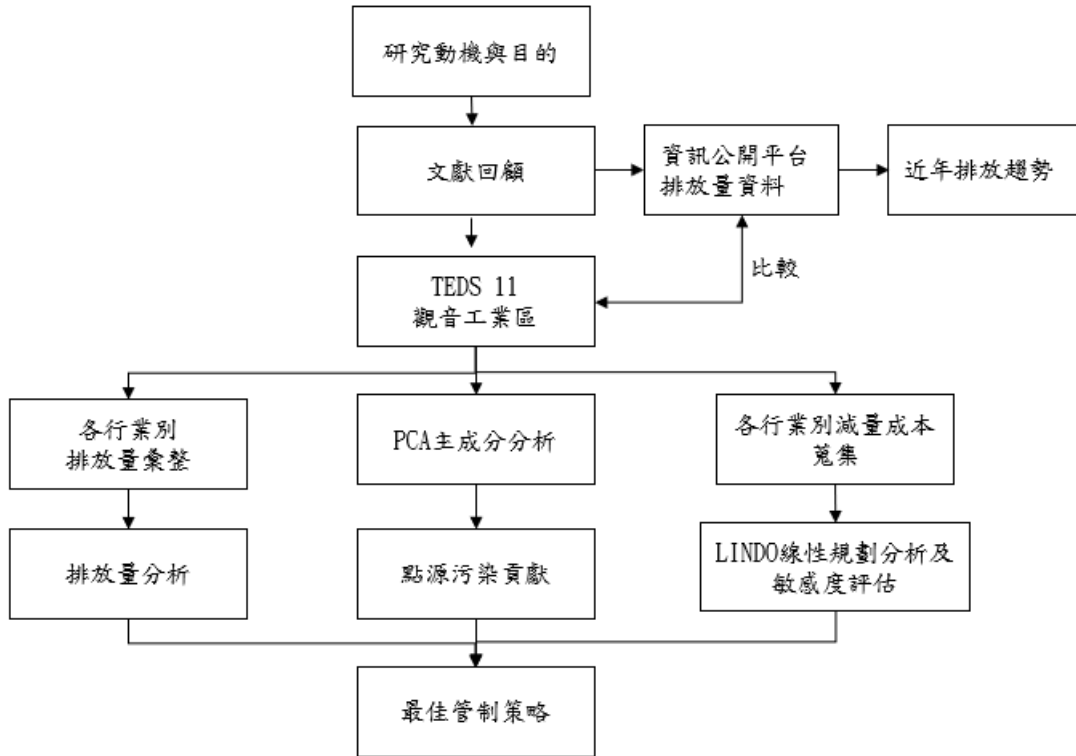


圖 3.1 研究架構圖



3.2 研究方法

3.2.1 主成分分析

主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 是一種統計方法，用於將多種指標簡少至幾個綜合指標，目的為降低分析數據中大量相關變量的數據集維度，同樣保留原有數據集中的變量，將一組無關聯的主要變量轉換為一組新的變量，並對其進行排序，以保留原始數據中大部分的變量。其原理是通過轉換原始變項，使其成為相互獨立的線性組合變化，此將保留原始變量最多信息的主成分(吳亞璇，2020)。主要作法係先將資料轉換到直角座標系統中，旋轉軸線並觀察數據在軸線上的變異數和殘差平方和，當找到資料中最主要的散佈方向，將其定義為第一主成分，並以相同的方法來定義第二、第三，以及 n 項主成分（如果資料包含 n 項變數）(蔡秉諺，2021)。因為主成分軸屬於直角座標系統，其為正交關係，在主成分總結各項變數間關係下，各主成分相互獨立。每個變數（成分）於旋轉前後具有共同性，但旋轉前後每個因子之解釋變異量（特徵值）略有不同，在解釋變數的變異量比例總和上保持不變，並且統計上所有的旋轉軸法均相等，所以轉軸不會改變各因子解釋的能力(吳亞璇，2020)。

在進行主成分因子分析前，需確定各變數間是否具有共同變異性。為判定是否適合進行因子分析，可選擇使用 KMO (Kaiser-Mayer-Olkin) 檢定和 Bartlett 球型檢定。KMO 檢定結果中，數值越大 (>0.5)，表示變數之間共同因素越多，而 Bartlett 檢定的顯著性則代表是否符合多變量常態分配，數值小於 0.05 說明數據適合主成分因子分析(Yang et al., 2020)。

主成分分析主要操作步驟(Yang et al., 2020)及選取標準(嚴先瑾，2022)如下：



1. 操作步驟

(1) 列出原始數據矩陣：

$$X=(x_{ij})_{n \times p}=\begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{pmatrix}$$

其中矩陣中 x_{ij} 為原始排放量數據， n 代表各點源（工廠）， p 代表每個污染物

(2) 用 Z-score 標準化公式對原始數據執行標準化，消除影響維度（等式(3-1)）

$$x_{ij}^*=(x_{ij}-\bar{x}_j)/s_j \quad (3-2)$$

x_{ij}^* 為標準變量， \bar{x}_j 為第 j 個指標的平均值， s_j 是第 j 個指標的標準差

(3) 使用標準化數據計算相關係數矩陣 R ，並確定指標間的相關性（等式(3-2)）

$$R=(r_{ij})_{p \times p}=\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n x_{ti}^* * x_{tj}^* \quad (i,j=1,2,\cdots,p) \quad (3-3)$$

(4) 計算相關係數矩陣 R 的特徵值（Eigenvalue）與特徵向量（Eigenvector），以確定主成分數量。

相關係數矩陣 R 的特徵值用 $\lambda_i(i=1,2,\dots,n)$ 表示，其特徵向量用 $u_i(u_i=u_{i1},u_{i2},\dots,u_{in})(i=1,2,\dots,n)$ 表示， λ 值對應主成分偏差值，其與主成分的貢獻率呈正相關，主成分由（等式(3-3)）表示。

$$F_i=u_{i1}x_1^*+u_{i2}x_2^*+\dots+u_{in}x_n^* \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3-4)$$

x_1^* 是標準化指標變量， $x_1^*=(x_i-\bar{x}_i)/s_i$

(5) 通過加權與求和得到綜合評價函數的主成分如等式(3-4)。

$$F=\frac{\lambda_1}{\lambda_1+\lambda_2+\dots+\lambda_n}F_1+\frac{\lambda_2}{\lambda_1+\lambda_2+\dots+\lambda_n}F_2+\dots+\frac{\lambda_n}{\lambda_1+\lambda_2+\dots+\lambda_n}F_n \quad (3-5)$$

2. 選取標準：

(1) 凱莎（Kaiser-Guttman）準則：保留特徵值（Eigenvalue）大於 1 的成分，除選取之因數解釋能力比原變數平均解釋多，否則不選取。

(2) 碎石圖（Scree plot）檢驗：將所求因素特徵值由大到小排列，並觀察曲線斜

率下降程度，選取曲線開始平緩前之因子，這些因子可以解釋大部分變異，同時避免複雜的模型(嚴先瑾，2022)。

- (3) 累積解釋能力：評估主成分可以解釋原始資料中多少變異量，愈趨近 1 愈佳(嚴先瑾，2022)。

考量我國空氣品質指標 (AQI) 係以 O₃、PM_{2.5}、PM₁₀、CO、SO₂ 及 NO₂ 等濃度權重計算，但未含 NMHC 等濃度權重，因此，在相同條件下計算 NMHC 等污染物權重實屬不易。且 Zhang et al. (2022) 文獻指出 AQI 評估方法對所有指標進行計算及評價時，由於指標間存在一定的相關性，其將影響評估結果並存在冗餘信息，並說明主成分綜合評分方法更具有效性，可應用至生態環境品質評估及空氣品質排名。故為保留原始空氣污染物大部分信息，更客觀地確定污染物權重，將設定各污染物對空氣品質影響相同條件下進行分析。

本研究使用 Statistical Product and Service Solutions (SPSS) 的統計軟體進行主成分分析，輸入數據為本研究欲探討各公司 TSP、PM₁₀、PM_{2.5}、SO_x、NO_x、THC、NMHC、CO、Pb 等空氣污染物排放量資料，並對原始數據進行標準化前處理 ($x_1^* = (x_i - \bar{x}_i)/s_i$)，再乘上使用 SPSS 軟體得出特徵值大於 1 的主成分旋轉成分矩陣，進而得出 PC1、PC2 及 PC3 數值並繪製於散佈圖(如 PC1-PC2 與 PC1-PC3 等)，即可從散佈圖辨別所有資料中是否有形成群聚現象，當樣本資料呈現群聚，則表示組成成分相似(吳亞璇，2020)，並參考文獻方法使用主成分綜合分數法對得到的 3 個主成分與其特征值進行加權求和(Yang et al., 2020; Zhang et al., 2022)，計算出綜合分數 (F)，並自 174 間公司中篩選綜合分數較高 10 間公司優先進行額外減量工作。



3.2.2 LINDO 系統

LINDO (Linear, Integer, and Nonlinear Discrete Optimizer) 係由 LINDO 系統公司開發之專用軟體 (<https://www.lindo.com/>)，用於線性規劃、整數規劃、二次規劃、非線性規劃等問題，軟體最大特色可允許決策變量是整數，且執行速度很快，能迅速找到最佳的決策方案，以最大化或最小化目標函數，同樣滿足一系列之約束條件。同時，此系統敏感度分析輸出結果亦可給出最優解不變條件下目標函數係數的允許變化量，也就是同樣條件下限制項沒有變化，允許目標函數中某個係數發生變化，並保持最優解不變(謝金星，2006)。以下是建模須具備三個要素(謝金星，2006)：

1. 決策變量 (decision variable)：該問題求解未知數，常以 x 為代表。
2. 目標函數 (objective function)：該問題最大或最小目標之數學表達式，為決策變量 x 的函數，可寫成 $f(x)$ 。
3. 約束條件 (constraints)：由該問題對決策變量提出之限制條件，可允許 x 值於某個範圍內，常用 x 等視為 $h_i(x)=0(i=1,2,\dots,m_e)$ 或不等式 $g_i \leq 0(j=m_e+1,m_e=2,\dots,m_e+m)$ 分別為等式限制 (equality constraint) 和不等式限制 (inequality constraint)。

在數學上可表達如等式 3-5 至 3-7，opt 為最佳化 (optimize)，可以是 min (求極小，即 minimize 縮寫) 或 max (求極大，即 maximize 縮寫) 兩者之一；s.t. 為限制於 (subject to) 的意思。

$$\text{opt } z=f(x) \quad (3-6)$$

$$\text{s.t. } h_i(x)=0(i=1,2,\dots,m_e) \quad (3-7)$$

$$\text{s.t. } g_i \leq 0(j=m_e+1,m_e=2,\dots,m_e+m) \quad (3-8)$$

本研究將以減量成本最小化為基礎，針對 TEDS 第 12 版觀音工業區排放量資料使用 LINDO 系統 6.1 版本分析其整體污染物 (TSP、SO_x、NO_x 與 NMHC 污染物排放量加總) 與各別污染物 (TSP、SO_x、NO_x 與 NMHC) 改善 5%、10%、15%、

20%與 25%五個情形下額外之減量成本，計算各情境下最低減量成本及各行業減量噸數，並列出以下限制式：

1. 各行業削減污染物加總量不超過整體或各別污染物改善總量之不等式
2. 各行業削減污染物量不超過其污染物排放量之不等式
3. 各行業削減污染物量至少大於 0 之不等式

此外，本研究亦針對整體污染物或各別污染物不同情境下之減量成本進行敏感度分析，在各行業減量噸數不變條件下，分析各行業污染物減量成本（目標函數中某個係數）允許變動範圍，以利未來面對各行業整體或各別污染物減量成本調整下，亦具備經濟效益。

第四章 結果與討論



4.1 歷年點源污染物排放量

為了解觀音工業區近年來的排放情況，本研究查詢固定污染源資訊公開平台(環境部，2023)，此平台為申報 TSP、SO_x、NO_x 以及 NMHC 排放量資料，並經由桃園市政府環境保護局審核通過，故擷取該工業區 2019 年至 2022 年污染物排放數據分析歷年排放情況，如圖 4.1 所示。2019 年 161 家工廠共申報排放 4,512.74 噸污染物，2020 年有 173 家工廠共申報排放 4,064.212 噸污染物，2021 年有 174 家工廠共申報排放 4,027.802 噸污染物，而 2022 年有 176 家工廠申報排放 3,547.312 噸污染物，整體排放量逐年呈下降趨勢，降低原因主要受自然經濟因素變動影響、管制策略影響及推估方法精進等(環境部，2023)。

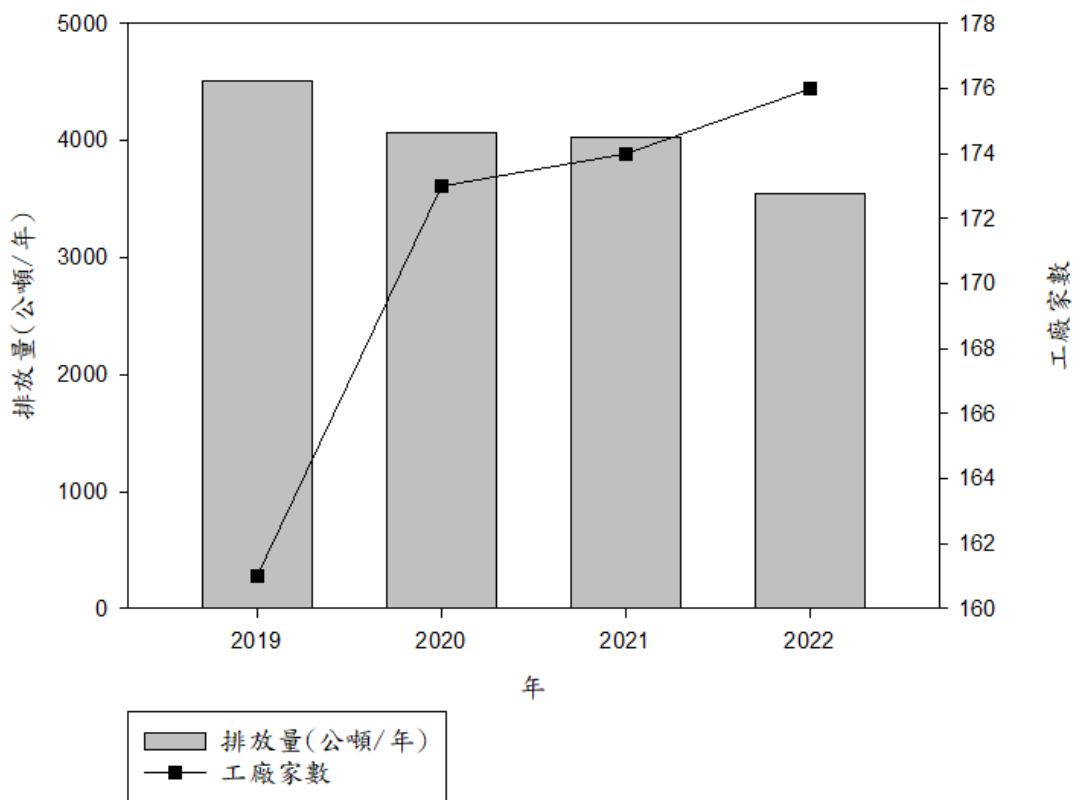


圖 4.1 污染物總排放量

近 4 年內各污染物排放量與比例如圖 4.2、4.3 所示，NMHC 排放量相較其他污染物皆為最多，4 年污染物排放量佔 56.54%，NMHC 自 2019 年至 2022 年排放量依序為 2,458.893 噸、2,259.992 噸、2282.372 噸與 2,131.809 噸，次高排放量為 NO_x，4 年污染物排放量佔 24.15%，2019 年至 2022 年排放量依序為 1,130.961 噸、1,031.213 噸、961.803 噸與 775.657 噸，顯示出逐年下降的趨勢，2022 年相較 2019 年共減少約 355.304 噸，為近 4 年內減少最多的污染物，另 SO_x 自 2019 年至 2022 年排放量依序為 675.227 噸、559.184 噸、570.771 噸與 449.516 噸。而 TSP 排放量則最少，4 年污染物排放量佔 5.35%，2019 年至 2022 年排放量依序為 247.659 噸、213.823 噸、212.856 噸與 190.33 噸，TSP 排放量亦呈現逐年下降趨勢。

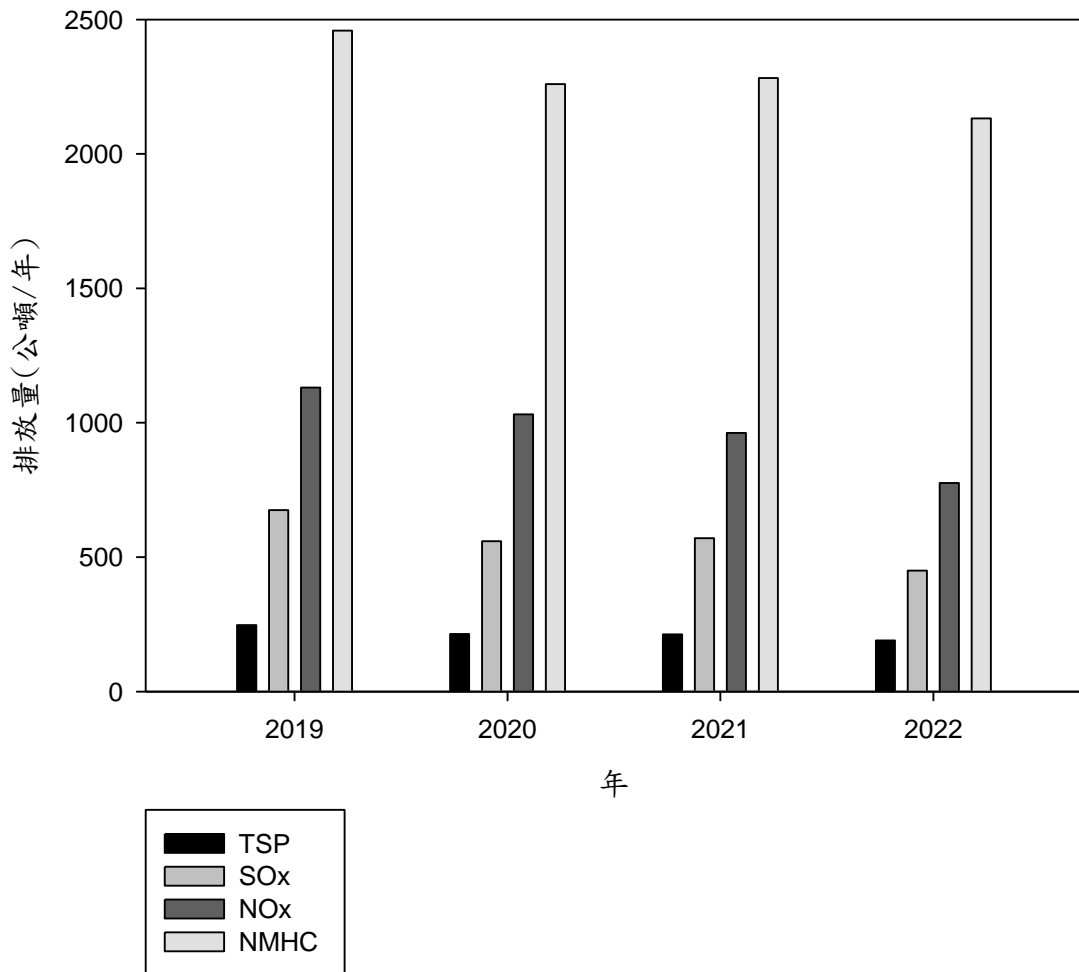


圖 4.2 各污染物排放量

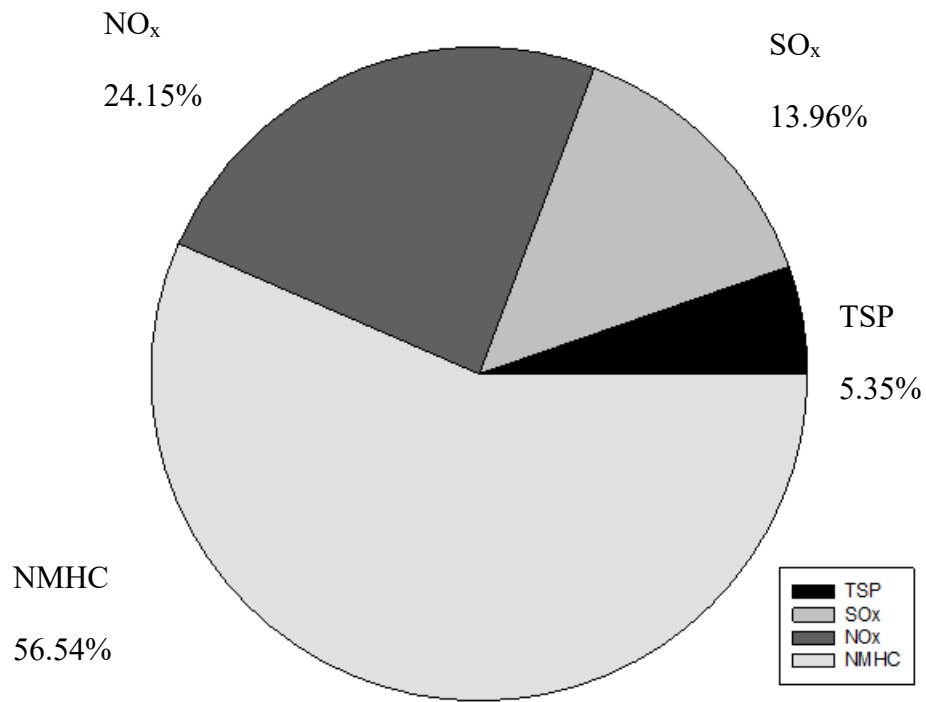


圖 4.3 各污染物排放比例



4.2 TEDS 第 12 版點源排放量分析

固定污染源資訊公開平台(環境部, 2023)為申報歷年 TSP、SO_x、NO_x 與 NMHC 排放量資料, 並經由環保局審查通過, 而最新 TEDS 第 12 版點源排放清冊已於 2023 年 9 月發布, 其以 2021 年為基礎的污染物調查結果, 涵蓋污染污染物包括 TSP、PM₁₀、PM_{2.5}、SO_x、NO_x、THC、NMHC、CO 及 Pb 等多種污染物, 並經過點源清冊品保品管檢核作業(如兩基準年資料比較、清冊與法規資料庫比對、清冊與環評承諾量比對等)(環境部, 2023)。

本研究分析 2021 年固定污染源資訊公開平台與 TEDS 第 12 版觀音工業區資料如表 4.1 所示, 各污染物差異排放量 0.35 至 18.712 噸, 整體排放量差異為 21.189 噸, 國內文獻多以 TEDS 資料作深度分析(林君柔, 2021; 簡汝憶, 2017), 故本研究考量數據嚴謹性, 將以 TEDS 第 12 版之 2021 年資料做後續分析作業。

表 4.1 2021 年固定污染源資訊公開平台與 TEDS 第 12 版資料比較表

資料來源	TSP (公噸/年)	SO _x (公噸/年)	NO _x (公噸/年)	NMHC (公噸/年)	總計
TEDS 第 12 版	216.093	569.661	962.153	2,301.084	4,048.991
固定污染源資訊公開 平台(2021 年資料)	212.856	570.771	961.803	2,282.372	4,027.802
差異	3.237	-1.11	0.35	18.712	21.189

4.2.1 各行業別污染排放量分析

TEDS 第 12 版統計觀音工業區 174 家行業別如表 4.2 所示, 其中以未分類其他化學製品製造業 24 家最多, 其次為染整業 16 家、化學原材料製造業與塗料、染料與顏料製造業各 15 家等。

表 4.2 TEDS 第 12 版各行業別統計表

行業	家數	比例	行業	家數	比例	行業	家數	比例
未分類其他化學製品製造業	24	13.79%	未分類其他運輸工具與其零件製造業	2	1.15%	玻璃纖維製造業	1	0.57%
染整業	16	9.20%	有害廢棄物清除業	2	1.15%	原料藥製造業	1	0.57%
化學原材料製造業	15	8.62%	有害廢棄物處理業	2	1.15%	粉末冶金業	1	0.57%
塗料、染料與顏料製造業	15	8.62%	其他未分類製造業	2	1.15%	紙板製造業	1	0.57%
金屬表面處理業	13	7.47%	其他橡膠製品製造業	2	1.15%	紙漿製造業	1	0.57%
其他塑膠製品製造業	12	6.90%	泵、壓縮機、活栓與活閥製造業	2	1.15%	動植物油脂製造業	1	0.57%
塑膠原料製造業	7	4.02%	清潔用品製造業	2	1.15%	發電、輸電與配電機械製造業	1	0.57%
未分類其他電子零組件製造業	6	3.45%	電線與電纜製造業	2	1.15%	電力供應業	1	0.57%
印刷電路板製造業	6	3.45%	鋁鑄造業	2	1.15%	預拌混凝土製造業	1	0.57%
其他金屬加工處理業	4	2.30%	人造纖維製造業	1	0.57%	膳食與菜餚製造業	1	0.57%
鋼鐵鑄造業	4	2.30%	化學原材料與其製品批發業	1	0.57%	醫用生物製品製造業	1	0.57%
未分類其他非金屬礦物製品製造業	3	1.72%	水泥與混凝土製品製造業	1	0.57%			
未分類其他基本金屬製造業	3	1.72%	其他紡織品製造業	1	0.57%			
汽車零件製造業	3	1.72%	其他陶瓷製品製造業	1	0.57%			
人造纖維加工絲業	2	1.15%	其他電力設備與配備製造業	1	0.57%			
未分類其他金屬製品製造業	2	1.15%	非有害廢棄物處理業	1	0.57%			
未分類其他食品製造業	2	1.15%	非酒精飲料製造業	1	0.57%			

各行業別 TSP、PM₁₀ 與 PM_{2.5} 排放統整表如表 4.3 所示，由表可知未分類其他非金屬礦物製品製造業 TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 排放量最大，分別占排放量 36.64%、34.18% 與 30.39%，其次為鋼鐵鑄造業，TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 分別占排放量 13.86%、15.63% 與 16.02%，化學原材料製造業則分別占排放量 12% 以上，故若進行 TSP、PM₁₀ 與 PM_{2.5} 減量工作，應優先著重於未分類其他非金屬礦物製品製造業、鋼鐵鑄造業、化學原材料製造業等行業進行。

表 4.3 TSP、PM₁₀ 與 PM_{2.5} 排放統整表

行業	TSP		PM ₁₀		PM _{2.5}	
	公噸/年	占比	公噸/年	占比	公噸/年	占比
未分類其他非金屬礦物製品製造業	79.18	36.64%	47.416	34.18%	32.008	30.39%
鋼鐵鑄造業	29.948	13.86%	21.679	15.63%	16.869	16.02%
化學原材料製造業	26.801	12.40%	18.152	13.09%	14.138	13.43%
塑膠原料製造業	16.153	7.48%	11.344	8.18%	9.525	9.04%
染整業	9.023	4.18%	6.264	4.51%	5.179	4.92%
未分類其他化學製品製造業	11.242	5.20%	4.797	3.46%	4.214	4.00%
電力供應業	7.951	3.68%	5.395	3.89%	4.453	4.23%
預拌混凝土製造業	9.248	4.28%	5.045	3.64%	3.32	3.15%
人造纖維加工絲業	4.448	2.06%	3.058	2.20%	2.528	2.40%
玻璃纖維製造業	3.936	1.82%	3.197	2.30%	2.707	2.57%
其他行業別	18.163	8.4%	12.368	8.92%	10.375	9.85%

各行業別 SO_x 排放統整表如表 4.4 所示，由表可知化學原材料製造業 SO_x 排放量 269.327 公噸/年，占排放量 47.28%，其次為塑膠原料製造業排放量 60.644 公噸/年，占排放量 10.65%，人造纖維加工絲業占排放量 10.47%，故若進行 SO_x 減量工作，應優先著重於化學原材料製造業、塑膠原料製造業、人造纖維加工絲業等行業進行。

表 4.4 SO_x 排放統整表

行業	SO _x (公噸/年)	占比
化學原材料製造業	269.327	47.28%
塑膠原料製造業	60.644	10.65%
人造纖維加工絲業	59.662	10.47%
染整業	46.33	8.13%
未分類其他非金屬礦物製品製造業	29.854	5.24%
電力供應業	19.67	3.45%
未分類其他電子零組件製造業	16.722	2.93%
未分類其他化學製品製造業	14.68	2.58%
其他塑膠製品製造業	7.725	1.36%
鋼鐵鑄造業	7.222	1.27%
其他行業別	37.825	6.64%

各行業別 NO_x 排放統整表如表 4.5 所示，由表可知塑膠原料製造業 NO_x 排放量 201.012 公噸/年，占排放量 20.89%，其次為化學原材料製造業排放量 178.825 公噸/年，占排放量 18.59%，染整業占排放量 13.46%，電力供應業占排放量 10.83%，故若進行 NO_x 減量工作，應優先著重於塑膠原料製造業、化學原材料製造業、染整業與電力供應業等行業進行。

表 4.5 NO_x 排放統整表

行業	NO _x (公噸/年)	占比
塑膠原料製造業	201.012	20.89%
化學原材料製造業	178.825	18.59%
染整業	129.466	13.46%
電力供應業	104.223	10.83%
玻璃纖維製造業	57.598	5.99%
人造纖維加工絲業	50.524	5.25%
有害廢棄物清除業	36.57	3.80%
其他塑膠製品製造業	22.835	2.37%
未分類其他非金屬礦物製品製造業	22.303	2.32%
未分類其他電子零組件製造業	20.539	2.13%
其他行業別	138.258	14.37%

各行業別 THC 與 NMHC 排放統整表如表 4.6 所示，由表可知未分類其他電子零組件製造業 THC 與 NMHC 排放量最大，分別占排放量 18.50% 與 19.79%，次高排放量為汽車零件製造業，THC 與 NMHC 分別占排放量 16.16% 與 14.21%，染整業分別占排放量 13.89% 與 15.41%，故若進行 THC 與 NMHC 減量工作，應優先著重於未分類其他電子零組件製造業、汽車零件製造業與染整業等行業進行。

表 4.6 THC 與 NMHC 排放統整表

行業	THC		NMHC	
	公噸/年	占比	公噸/年	占比
未分類其他電子零組件製造業	481.586	18.50%	455.466	19.79%
汽車零件製造業	420.786	16.16%	326.989	14.21%
染整業	361.511	13.89%	354.629	15.41%
化學原材料製造業	204.23	7.85%	176.333	7.66%
塗料、染料與顏料製造業	179.998	6.91%	159.676	6.94%
其他塑膠製品製造業	173.311	6.66%	137.77	5.99%
未分類其他化學製品製造業	160.235	6.16%	129.182	5.62%
人造纖維加工絲業	116.136	4.46%	109.591	4.76%
印刷電路板製造業	115.118	4.42%	109.329	4.75%
塑膠原料製造業	54.278	2.09%	44.604	1.94%
其他行業別	335.86	12.90%	297.515	12.93%

各行業別 CO 排放統整表如表 4.7 所示，由表可知有害廢棄物清除業 CO 排放量 4.581 公噸/年，占排放量 70.77%，其次為染整業排放量 0.456 公噸/年，占排放量 7.05%，故若進行 CO 減量工作，應優先著重於有害廢棄物清除業、染整業等行業進行。

表 4.7 CO 排放統整表

行業	CO(公噸/年)	占比
有害廢棄物清除業	4.581	70.77%
染整業	0.456	7.05%
化學原材料製造業	0.43	6.64%
未分類其他基本金屬製造業	0.374	5.78%
有害廢棄物處理業	0.269	4.16%
其他紡織品製造業	0.235	3.63%
未分類其他化學製品製造業	0.074	1.14%
未分類其他電子零組件製造業	0.03	0.46%
塗料、染料與顏料製造業	0.024	0.37%
其他行業別	0	0.00%

各行業別 Pb 排放統整表如表 4.8 所示，由表可知電力供應業 Pb 排放量 0.129 公噸/年，占排放量 41.48%，排放量最高，其次為染整業排放量 0.074 公噸/年，占排放量 23.79%，塑膠原料製造業占排放量 18.65%，故若進行 Pb 減量工作，應優先著重於電力供應業、染整業與塑膠原料製造業等行業進行。

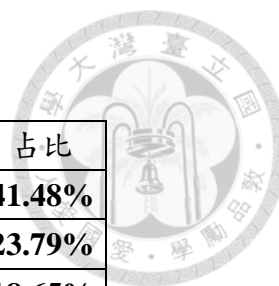


表 4.8 Pb 排放統整表

行業	Pb(公噸/年)	占比
電力供應業	0.129	41.48%
染整業	0.074	23.79%
塑膠原料製造業	0.058	18.65%
紙漿製造業	0.01	3.22%
鋁鑄造業	0.01	3.22%
紙板製造業	0.009	2.89%
未分類其他化學製品製造業	0.007	2.25%
其他紡織品製造業	0.004	1.29%
人造纖維加工絲業	0.003	0.96%
金屬表面處理業	0.003	0.96%
其他行業別	0.004	1.29%

4.2.2 主成分分析

本研究以 TEDS 第 12 版資料為基礎，選擇觀音工業區 174 間 9 種空氣污染物 (TSP、PM₁₀、PM_{2.5}、SO_x、NO_x、NMHC、THC、CO、Pb) 排放量進行主成分分析，為驗證主成分分析方法適用性，採用 Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) 測試和 Barlett 檢驗。KMO 測試用於評估樣本數據的適用性，而 Barlett 檢驗則用於確保每個空氣污染物參數間的獨立性。根據計算結果，KMO 值為 0.592 (>0.5)，與文獻有相近之 KMO 值(García-Santillán et al., 2013; Li et al., 2018)，其亦持續進行後續主成分分析，而 Barlett 檢驗的結果顯示檢驗值為 0 (<0.05) (如表 4.9)，表明本研究數據可進行後續分析。

表 4.9 TEDS 第 12 版工業區資料使用主成分分析之 KMO 與 Bartlett's Test

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0.592
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	2693.893
	df	36
	Sig.	0.000

另使用 SPSS 軟體得到 Correlation coefficient Matrix (相關係數矩陣)，詳見表 4.10，其中 TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 呈現顯著的正相關 ($r > 0.98$)，這些污染物的排放量主要代表漂浮空氣中的粒狀物(葉國樑，2017)；表 4.10 亦觀察到 NO_x 與 Pb 較為顯著的正相關 ($r > 0.67$)，反映固定污染源製程燃燒時排出污染物指標(國家環境保護局科技標準司，1997)，此外，THC 與 NMHC 顯示很強的正相關 ($r > 0.99$)，代表空氣中揮發性有機物含量(國家環境保護局科技標準司，1997; Zhang et al., 2019)，進一步顯示空氣污染物間關聯與主成分分析方法的適用性。

表 4.10 TEDS 第 12 版工業區資料使用主成分分析之相關係數矩陣

		TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO _x	NO _x	THC	NMHC	CO	Pb
Correlation	TSP	1.000								
	PM ₁₀	0.994	1.000							
	PM _{2.5}	0.984	0.996	1.000						
	SO _x	0.312	0.320	0.330	1.000					
	NO _x	0.329	0.360	0.405	0.512	1.000				
	THC	0.011	0.031	0.049	0.083	0.126	1.000			
	NMHC	0.009	0.030	0.048	0.084	0.119	0.995	1.000		
	CO	-0.019	-0.019	-0.018	0.001	0.124	-0.006	-0.008	1.000	
	Pb	0.190	0.206	0.241	0.172	0.676	-0.027	-0.028	-0.009	1.000



因子負荷

圖 4.4 顯示每個主成分特徵值，採用 Scree plot (碎石圖) 可協助選擇主成分並協助忽略解釋量較少之其餘主成分(蔡秉諺，2021)，選擇前三個特徵值大於 1 主成分(嚴先瑾，2022)，解釋數據 77.5%變異性。

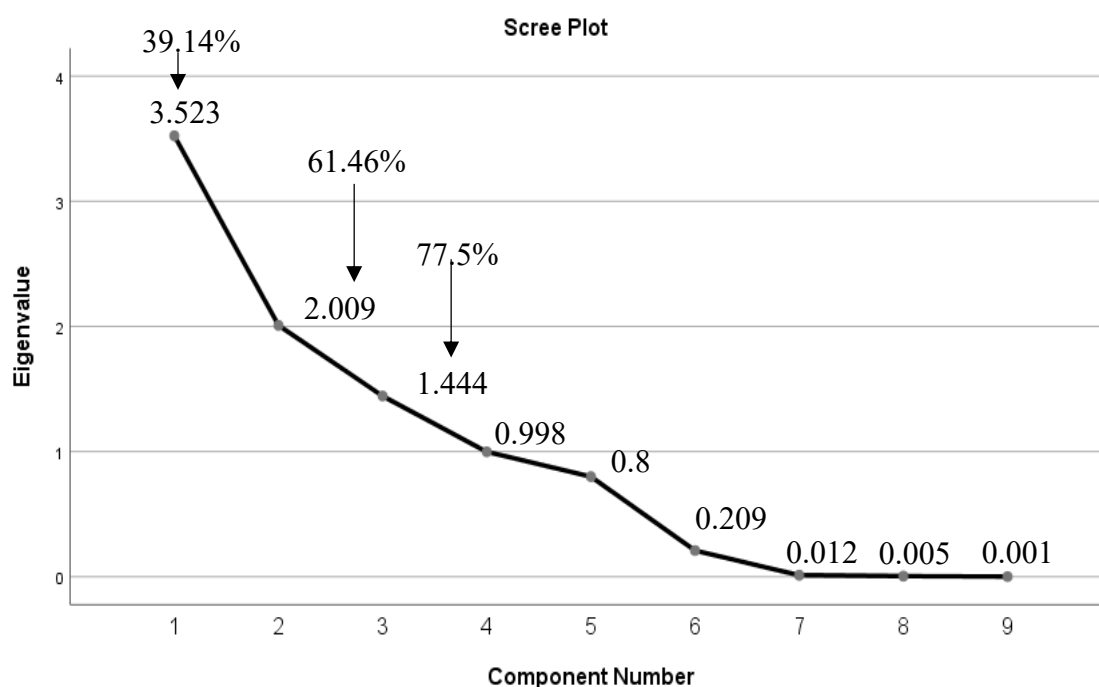


圖 4.4 TEDS 第 12 版工業區資料使用主成分分析之碎石圖

通過 SPSS 得到旋轉成分矩陣如表 4.11 所示，可得出主要成分與污染物間的相關性可達 0.8 以上 (粗體字為強相關性)，主成分分為 PC1 至 PC3，其污染物分別代表不同類型的污染。

第一個主成分 (PC1) 解釋 39.14% 變異性，TSP、PM₁₀ 與 PM_{2.5} 呈現顯著正相關，分別為 0.991、0.992 與 0.984，主要來自於工廠排放飛灰和煙塵等(國家環境保護局科技標準司，1997)，造成空氣污染物懸浮微粒排放量增加。

第二個主成分 (PC2) 解釋總變異性 22.32%，與 THC 與 NMHC 呈現顯著正相關，皆為 0.997，主要包含揮發性有機物，來自工廠使用油類燃燒排放尾氣、有機物質燃燒、有機溶劑蒸發、運輸損耗、石油等製品貯存及廢棄物提煉過程中產生(國家環境保護局科技標準司，1997)。

第三個主成分 (PC3) 解釋總變異性 16.04%，與 NO_x 與 Pb 呈現顯著相關，分別為 0.891 與 0.826，依固定污染源公開平台工廠固定污染源操作許可資料(環境部，2023)，發現主要工廠製程使用燃料含微量鉛成分，並於燃燒時產生 Pb 與 NO_x 等空氣污染物。

表 4.11 TEDS 第 12 版工業區資料使用主成分分析之旋轉成分矩陣

	Component		
	1	2	3
TSP	0.991	-0.009	0.070
PM ₁₀	0.992	0.012	0.094
PM _{2.5}	0.984	0.029	0.137
SO _x	0.324	0.112	0.521
NO _x	0.280	0.111	0.891
THC	0.014	0.997	0.019
NMHC	0.013	0.997	0.016
CO	-0.083	-0.016	0.202
Pb	0.109	-0.074	0.826



因子得分

根據 PC1 和 PC2 轉軸負荷值圖，固定污染源可分出 2 個相似污染物排放群體，如圖 4.5 所示，族群 1 中 F143 與 F144 為未分類其他非金屬礦物製品製造業（瀝青拌合業）、F15 為鋼鐵鑄造業、F03 為塑膠原料製造業、F141 為電力供應業與 F146、F152 為化學原材料製造業，主要排放物質為 TSP、PM₁₀ 與 PM_{2.5}，F143 與 F144 瀝青拌合業於砂石堆置、裝卸、輸送、加熱乾燥、拌合及運輸等過程中，產生逸散粒狀污染物(環境部，2023)，而 F15 鋼鐵鑄造業於溶解、造模、澆鑄、清砂、廢砂回收及鑄件後處理中產生粒狀物污染(劉文海，1990)，另 F03 塑膠原料製造業、F141 電力供應業與 F146、F152 化學原材料製造業主要於製程燃燒過程中產生較高粒狀物。族群 2 由 F38 未分類其他電子零組件製造業、F24 與 F128 汽車零件製造業及 F118 染整業組成，以 THC 與 NMHC 為主要污染物，因溶劑使用於塗裝、塑膠、橡膠製品、紡織品及合成纖維等之製造，並於布料除污乾洗、零件、材料設備之清洗等過程中產生揮發性有機物污染(司洪濤等，2007)。

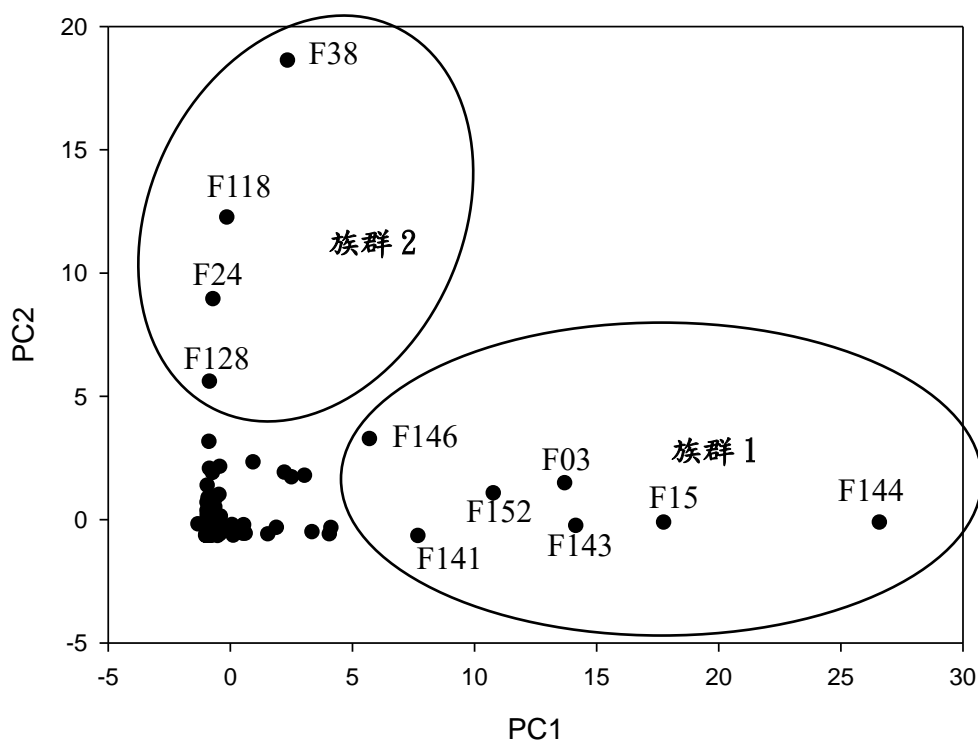


圖 4.5 TEDS 第 12 版工業區資料使用主成分分析之 PC1 和 PC2 轉軸負荷值圖

根據 PC1 和 PC3 轉軸負荷值圖 4.6，固定污染源可分出 2 個相似污染物排放源，族群 1 由 F03 塑膠原料製造業與 F141 電力供應業組成，主要排放污染物為 NO_x 與 Pb，依固定污染源公開平台工廠操作固定污染源操作許可資料(環境部，2023)得知其製程燃料含微量鉛成分，於高溫燃燒時產生 NO_x 與 Pb 等污染物，同時也產生較高粒狀物污染，族群 2 由 F146、F152 化學原材料製造業組成，亦可從固定污染源操作許可得知 F146 製程蒸氣鍋爐使用天然氣、沼氣燃燒，F152 乾燥過程使用天然氣燃料燃燒，皆產生次高 NO_x 與粒狀物。

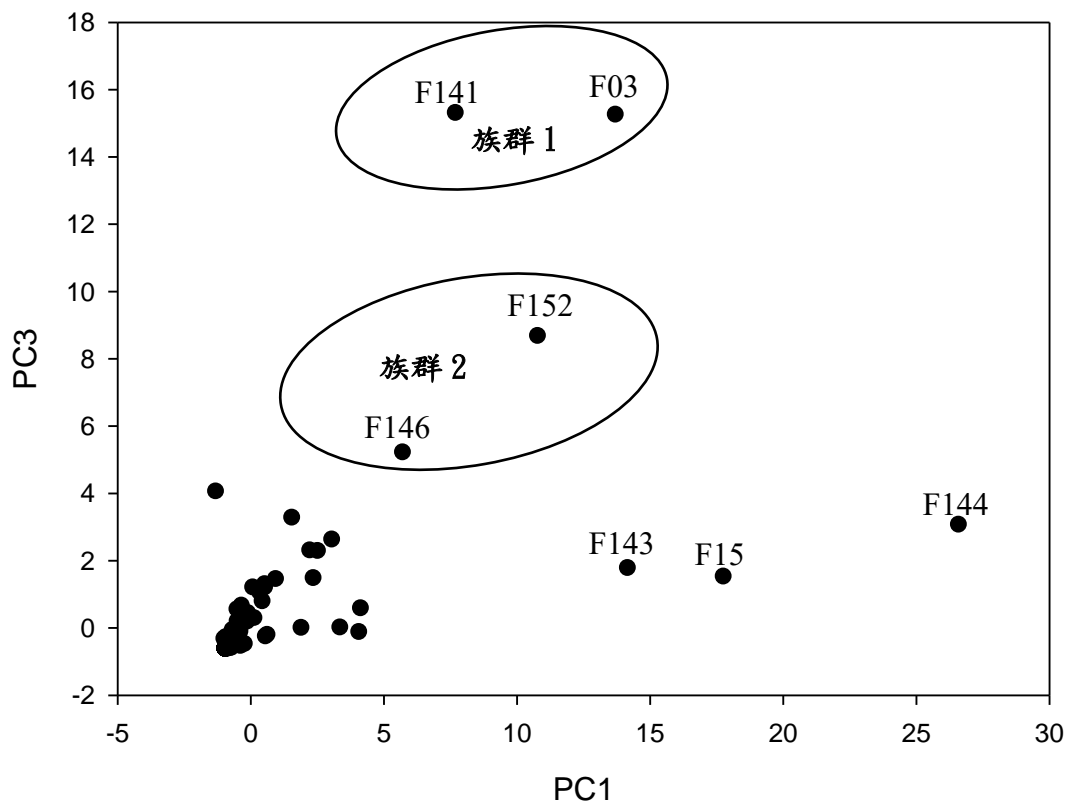


圖 4.6 TEDS 第 12 版工業區資料使用主成分分析之 PC1 和 PC3 轉軸負荷值圖



綜合分數


考量我國空氣品質指標 (AQI) 係以 O_3 、 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 CO 、 SO_2 及 NO_2 等濃度權重計算，但未含 NMHC 等濃度權重，因此，在相同條件下計算 NMHC 等污染物權重實屬不易。且 Zhang et al. (2022) 文獻指出 AQI 評估方法對所有指標進行計算及評價時，由於指標間存在一定的相關性，其將影響評估結果並存在冗餘信息，並說明主成分綜合評分方法更具有效性，可應用至生態環境品質評估及空氣品質排名。故為保留原始空氣污染物大部分信息，更客觀地確定污染物權重，將設定各污染物對空氣品質影響相同條件下進行分析。本研究參考文獻方法使用主成分綜合分數法對得到的 3 個主成分與其特徵值進行加權求和 (Yang et al., 2020; Zhang et al., 2022)，計算出綜合分數 (F)，並自 174 間公司中篩選綜合分數較高 10 間公司 (如表 4.12 所示)，其中主成分的正負分數不代表絕對污染量，而是相對污染量。綜合分數 (F) 與空氣品質良好呈現負相關，數值越大，代表其造成空氣污染程度越高，並可列為優先進行減量對象，由表得知未分類其他非金屬礦物製品製造業 (瀝青拌合業) 污染程度最高，其次為塑膠原料製造業、鋼鐵鑄造業、化學原材料製造業、電力供應業、未分類其他電子零組件製造業、染整業、玻璃纖維製造業等，若進行觀音工業區空氣污染物減量工作，優先減量建議排序為中○○業股份有限公司觀音廠>遠○○世紀股份有限公司觀音化學纖維廠>錦○○造工業股份有限公司觀音廠>台○○慕股份有限公司觀音廠>三○○青股份有限公司>華○○電股份有限公司觀音公用廠>台○○子材料股份有限公司>亞○○化股份有限公司觀音二廠>聚○○份有限公司觀音廠>台○○璃工業股份有限公司桃園廠等。

表 4.12 TEDS 第 12 版工業區資料使用主成分分析之綜合分數較高 10 間公司

編號	工廠名稱	行業別	PC1	PC2	PC3	F(綜合分數)	排序
F03	遠○○世紀股份有限公司 觀音化學纖維廠	塑膠原料製造業	13.707	1.476	15.252	10.505	2
F09	台○○璃工業股份有限公司 桃園廠	玻璃纖維製造業	3.056	1.776	2.627	2.599	10
F15	錦○○造工業股份有限公司 觀音廠	鋼鐵鑄造業	17.766	-0.124	1.526	9.253	3
F38	台○○子材料股份有限公司	未分類其他電子零 組件製造業	2.361	18.613	1.481	6.859	7
F118	聚○○份有限公司 觀音廠	染整業	-0.126	12.248	0.182	3.501	9
F141	華○○電股份有限公司 觀音公用廠	電力供應業	7.701	-0.665	15.302	6.865	6
F143	三○○青股份有限公司	未分類其他非金屬 礦物製品製造業 (瀝青拌合業)	14.166	-0.253	1.780	7.450	5
F144	中○○業股份有限公司 觀音廠	未分類其他非金屬 礦物製品製造業 (瀝青拌合業)	26.596	-0.119	3.068	14.033	1
F146	亞○○化股份有限公司 觀音二廠	化學原材料製造業	5.715	3.265	5.217	4.906	8
F152	台○○慕股份有限公司 觀音廠	化學原材料製造業	10.788	1.065	8.675	7.551	4

針對綜合分數較高之 10 間公司提供減量建議

F03 (塑膠原料製造業)、F09 (玻璃纖維製造業)、F141 (電力供應業)、F152 (化學原材料製造業) 之 PC1 及 PC3 數值較高，代表其粒狀物、NO_x 等污染量高，經處理仍有較高粒狀物及氮氧化物等污染物排放，建議粒狀物可加裝袋式集塵器、靜電集塵器等空污處理設備處理，NO_x 可加裝選擇觸媒還原 (SCR) 等設備處理，製程燃料可改使用低污染氣體燃料 (如天然氣、液化石油氣及購置蒸汽等) 降低污染物產生(潘一誠等，2022)。



F15 (鋼鐵鑄造業) 之 PC1 較高，代表其粒狀物污染量高，建議作業期間定時灑水，並將砂石堆置於建築物內或鋪設防塵網，同時於裝卸、破碎、篩選、輸送及鑄造等作業中加強集氣系統(環境部，2023)，末端處理亦加裝袋式集塵器等空污處理設備加強處理。

F38 (未分類其他電子零組件製造業) 及 F118 (染整業) 之 PC2 數值較高，代表 THC 與 NMHC 排放量高，染整業所含粒徑大多小於 1 微米且具有黏稠性，可行處理方式包含焚化、靜電集塵及高能量濕式處理等控制技術，製程改善可從精煉技術、使用對熱穩定或低濃度藥劑、改變熱源方式或烘乾溫度等場內措施著手(林文川,1995)。未分類其他電子零組件製造業建議使用溶劑時加蓋或於密閉空間操作並加強集氣系統，同時加裝廢氣燃燒塔、廢氣焚化爐等空污設備處理(郭子豪,2013)。

F143 及 F144 (未分類其他非金屬礦物製品製造業 (瀝青拌合業)) 之 PC1 及 PC3 數值較高，代表其粒狀物、NO_x 等污染量高，建議作業期間定時灑水，並將砂石堆置於建築物內或鋪設防塵網，同時於裝卸、破碎、篩選及輸送等作業加強集氣系統(環境部，2023)及加裝袋式集塵器等空污處理設備處理減少粒狀物污染，另 NO_x 可加裝選擇觸媒還原(SCR)等設備處理，製程燃料可改為低污染氣體燃料(如天然氣、液化石油氣及購置蒸汽等)降低污染物產生(潘一誠等，2022)。

F146 (化學原材料製造業) 之 PC1、PC2 及 PC3 數值較高，代表其粒狀物、THC、NMHC、NO_x 等污染量高，經處理仍有較高粒狀物及氮氧化物等污染物排放，建議粒狀物可加裝袋式集塵器、靜電集塵器等空污處理設備處理，NO_x 可加裝選擇觸媒還原(SCR)等設備處理，製程燃料可改使用低污染氣體燃料(如天然氣、液化石油氣及購置蒸汽等)降低污染物產生(潘一誠等，2022)，另外降低 THC 與 NMHC 方法建議可搭配使用不同型式的設備，其中具回收價值的溶劑，可透過冷凝或蒸餾方式回收；並藉由焚化、活性碳吸附去除揮發性有機物(經濟部工業局，2014)。



4.3 各行業空污減量成本

現今工廠雖已針對製程產生之空氣污染物使用空污處理設備(如洗滌塔、袋式集塵器、廢氣燃燒爐等)處理,惟仍有部分空氣污染物排放至大氣中,故為提升空氣品質,以減量成本最小化為基礎,使用 LINDO 系統解析加嚴空氣污染排放下不同空品改善情形之額外減量成本,本研究篩選觀音工業區 2021 年排放量較大之 10 個行業別如表 4.13 所示,因污染物類眾多,考量 TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 與鉛為粒狀物,故粒狀物減量以 TSP 排放量作為主要削減對象,而現行多以 VOCs 進行管制(劉國棟, 1993)且 NMHC 亦可代表 VOCs (司洪濤等, 2007),故本研究以 NMHC 排放量探討 VOCs 減量成本,另 NO_x 與 CO 通常來自燃燒過程排放(國家環境保護局科技標準司, 1997),存在程度上的關聯,故僅探究 NO_x 減量,不另探討 CO 減量,綜上所述,本研究將探討 TSP、SO_x、NO_x 與 NMHC 為主要削減污染物。

表 4.13 觀音工業區 2021 年排放量較大之 10 個行業別

編號	行業別	TSP (公噸/年)	SO _x (公噸/年)	NO _x (公噸/年)	NMHC (公噸/年)
1	化學原材料製造業	26.801	269.327	178.825	176.333
2	染整業	9.023	46.33	129.466	354.629
3	未分類其他電子零組件製造業	2.825	16.722	20.539	455.466
4	汽車零件製造業	0.137	0.409	2.69	326.989
5	塑膠原料製造業	16.153	60.644	201.012	44.604
6	人造纖維加工絲業	4.448	59.662	50.524	109.591
7	塗料、染料與顏料製造業	1.542	2.781	20.046	159.676
8	未分類其他化學製品製造業	11.242	14.68	19.127	129.182
9	其他塑膠製品製造業	0.768	7.725	22.835	137.77
10	未分類其他非金屬礦物製品製造業	79.18	29.854	22.303	5.803
11	其他行業別	63.974	61.527	294.786	401.041
	加總	216.093	569.661	962.153	2301.08
	前 10 大排放量行業別佔該污染物比例(%)	70.40%	89.20%	69.36%	82.57%

由於近年多針對國內防制設備設置、維護費用進行分析(曠永銓等, 2012), 本研究以李正揚 (2008)整理 2003 年 TSP、SO_x、NO_x 與 NMHC 防制平均成本, 以其計算成本為基礎並以躉售物價指數進行估算, 整理 2021 年觀音工業區排放量前 10 大行業別與削減這四種污染量成本如表 4.14, 以便進一步針對減量成本進行規劃分析。

表 4.14 工業區排放量前 10 大行業別與削減污染量成本

行業別	TSP 平均防制成本 (元/公噸)	SO _x 平均防制成本 (元/公噸)	NO _x 平均防制成本 (元/公噸)	NMHC 平均防制成本 (元/公噸)
化學原材料製造業	45,358	59,865	55,159	14,346
染整業	68,163	32,087	32,328	30,598
未分類其他電子零 組件製造業	68,163	68,759	53,598	67,878
汽車零件製造業	68,163	94,934	70,844	49,601
塑膠原料製造業	25,920	110,310	70,844	14,578
人造纖維加工絲業	68,163	32,087	32,328	30,598
塗料、染料與顏料 製造業	68,163	94,934	70,844	49,601
未分類其他化學製 品製造業	68,163	94,934	233,432	328,393
其他塑膠製品製 造業	25,920	110,310	70,844	14,578
未分類其他非金屬 礦物製品製造業	4,202,713	40,004	33,689	42,683

因需要分析在相同的空氣污染排放情況下，不同行業對於 TSP、SO_x、NO_x 和 NMHC 等污染物的排放比例如表 4.15，故計算各行業釋放的特定污染量佔該整體污染物總排放量的比例如表 4.16 所示，本研究將以 TSP、SO_x、NO_x 和 NMHC 排放量加總稱「整體污染物」。

表 4.15 不同行業 PM_{2.5}、SO_x、NO_x 和 NMHC 等污染物的排放比例

編號	行業別	TSP(%)	SO _x (%)	NO _x (%)	NMHC(%)
1	化學原材料製造業	12.40%	47.28%	18.59%	7.66%
2	染整業	4.18%	8.13%	13.46%	15.41%
3	未分類其他電子零組件製造業	1.31%	2.94%	2.13%	19.79%
4	汽車零件製造業	0.06%	0.07%	0.28%	14.21%
5	塑膠原料製造業	7.48%	10.65%	20.89%	1.94%
6	人造纖維加工絲業	2.06%	10.47%	5.25%	4.76%
7	塗料、染料與顏料製造業	0.71%	0.49%	2.08%	6.94%
8	未分類其他化學製品製造業	5.20%	2.58%	1.99%	5.61%
9	其他塑膠製品製造業	0.36%	1.36%	2.37%	5.99%
10	未分類其他非金屬礦物製品製造業	36.64%	5.24%	2.32%	0.25%
11	其他行業別	29.60%	10.80%	30.64%	17.43%

表 4.16 各行業釋放的特定污染量佔該整體污染物總排放量

編號	行業別	TSP(%)	SO _x (%)	NO _x (%)	NMHC(%)
1	化學原材料製造業	0.66%	6.65%	4.42%	4.35%
2	染整業	0.22%	1.14%	3.20%	8.76%
3	未分類其他電子零組件製造業	0.07%	0.41%	0.51%	11.25%
4	汽車零件製造業	0.00%	0.01%	0.07%	8.08%
5	塑膠原料製造業	0.40%	1.50%	4.96%	1.10%
6	人造纖維加工絲業	0.11%	1.47%	1.25%	2.71%
7	塗料、染料與顏料製造業	0.04%	0.07%	0.50%	3.94%
8	未分類其他化學製品製造業	0.28%	0.36%	0.47%	3.19%
9	其他塑膠製品製造業	0.02%	0.19%	0.56%	3.40%
10	未分類其他非金屬礦物製品製造業	1.96%	0.74%	0.55%	0.14%
11	其他行業別	1.58%	1.52%	7.28%	9.90%



4.4 LINDO 系統分析結果

為提升空氣品質，以減量成本最小化為基礎，針對 TEDS 第 12 版觀音工業區整體污染物排放量 (TSP、SO_x、NO_x 與 NMHC 污染物排放量加總) 與各別污染物 (TSP、SO_x、NO_x 與 NMHC) 排放量分析其污染物額外改善 5%、10%、15%、20% 與 25% 五個情形進行線性規劃 (附錄)，表 4.17 至表 4.21 分別為整體污染物於額外空品改善情形下之行業別分析結果，另表 4.22 至表 4.26 分別為各別污染物於額外空品改善情形下之行業別分析結果，並進行減量成本敏感度分析，分析結果如下：

4.4.1 整體污染物於額外空品改善情形下之行業別分析結果

1. 整體污染物額外改善 5% 情形下行業別分析結果

由表 4.17 可得知 NMHC 為主要去除對象，因為化學原材料製造業、塑膠原料製造業及其他塑膠製品製造業之 NMHC 減量成本相較其他行業別及污染物較低 (李正揚，2008)，故整體污染物額外改善 5% 情形時，點源管制為化學原材料製造業 176.333 噸排放，另塑膠原料製造業與其他塑膠製品製造業至少共需減量 26.117 噸，另 TSP、SO_x 與 NO_x 分析結果皆無減量，減量成本約 291 萬元。

表 4.17 整體污染物額外改善 5%情形下各污染物減量結果

編號	行業別	TSP (公噸/年)	SO _x (公噸/年)	NO _x (公噸/年)	NMHC (公噸/年)
1	化學原材料製造業	0	0	0	176.333
2	染整業	0	0	0	0
3	未分類其他電子零組件製造業	0	0	0	0
4	汽車零件製造業	0	0	0	0
5	塑膠原料製造業	0	0	0	0~26.117
6	人造纖維加工絲業	0	0	0	0
7	塗料、染料與顏料製造業	0	0	0	0
8	未分類其他化學製品製造業	0	0	0	0
9	其他塑膠製品製造業	0	0	0	0~26.117
10	未分類其他非金屬礦物製品製造業	0	0	0	0

2. 整體污染物額外改善 10%情形下行業別分析結果

因化學原材料製造業、塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業、染整業與人造纖維加工絲業之 NMHC 減量成本及塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業之 TSP 減量成本相較其他行業別及污染物低(李正揚, 2008), 故整體污染物額外改善 10% 情形時, NMHC 點源管制為化學原材料製造業 176.333 噸排放、塑膠原料製造業 44.604 噸排放與其他塑膠製品製造業 137.77 噸排放, 另染整業與人造纖維加工絲業至少共需減量 29.272 噸, 另新增 TSP 點源塑膠原料製造業 16.153 噸與其他塑膠製品製造業 0.768 噸排放管制, SO_x 與 NO_x 分析結果皆無減量 (表 4.18), 減量成本約 652 萬元。

表 4.18 整體污染物額外改善 10%情形下各污染物減量結果

編號	行業別	TSP (公噸/年)	SO _x (公噸/年)	NO _x (公噸/年)	NMHC (公噸/年)
1	化學原材料製造業	0	0	0	176.333
2	染整業	0	0	0	0~29.272
3	未分類其他電子零組件 製造業	0	0	0	0
4	汽車零件製造業	0	0	0	0
5	塑膠原料製造業	16.153	0	0	44.604
6	人造纖維加工絲業	0	0	0	0~29.272
7	塗料、染料與顏料製造 業	0	0	0	0
8	未分類其他化學製品製 造業	0	0	0	0
9	其他塑膠製品製造業	0.768	0	0	137.77
10	未分類其他非金屬礦物 製品製造業	0	0	0	0

3. 整體污染物額外改善 15%情形下行業別分析結果

因化學原材料製造業、塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業、染整業及人造纖維加工絲業之 NMHC 減量成本及塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業之 TSP 減量成本相較其他行業別及污染物低(李正揚, 2008), 故整體污染物額外改善 15% 情形時, NMHC 點源管制為化學原材料製造業 176.333 噸排放、塑膠原料製造業 44.604 噸排放與其他塑膠製品製造業 137.77 噸排放, 另染整業與人造纖維加工絲業至少共需減量 231.721 噸, 另 TSP 點源管制塑膠原料製造業 16.153 噸及其他塑膠製品製造業 0.768 噸排放, SO_x 與 NO_x 分析結果皆無減量 (表 4.19), 減量成本約 1,272 萬元。

表 4.19 整體污染物額外改善 15%情形下各污染物減量結果

編號	行業別	TSP (公噸/年)	SO _x (公噸/年)	NO _x (公噸/年)	NMHC (公噸/年)
1	化學原材料製造業	0	0	0	176.333
2	染整業	0	0	0	0~231.721
3	未分類其他電子零組件 製造業	0	0	0	0
4	汽車零件製造業	0	0	0	0
5	塑膠原料製造業	16.153	0	0	44.604
6	人造纖維加工絲業	0	0	0	0~109.591
7	塗料、染料與顏料製造 業	0	0	0	0
8	未分類其他化學製品製 造業	0	0	0	0
9	其他塑膠製品製造業	0.768	0	0	137.77
10	未分類其他非金屬礦物 製品製造業	0	0	0	0

4. 整體污染物額外改善 20%情形下行業別分析結果

因化學原材料製造業、塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業、染整業及人造纖維加工絲業之 NMHC 減量成本及塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業之 TSP 減量成本相較其他行業別及污染物低(李正揚, 2008), 故整體污染物額外改善 20% 情形時, NMHC 點源管制為化學原材料製造業 176.333 噸排放、塑膠原料製造業 44.604 噸排放與其他塑膠製品製造業 137.77 噸排放, 另染整業與人造纖維加工絲業至少共需減量 434.17 噸, 另 TSP 點源管制塑膠原料製造業 16.153 噸及其他塑膠製品製造業 0.768 噸排放, SO_x 與 NO_x 分析結果皆無減量 (表 4.20), 減量成本約 1,891 萬元。

表 4.20 整體污染物額外改善 20%情形下各污染物減量結果

編號	行業別	TSP (公噸/年)	SO _x (公噸/年)	NO _x (公噸/年)	NMHC (公噸/年)
1	化學原材料製造業	0	0	0	176.333
2	染整業	0	0	0	0~354.629
3	未分類其他電子零組件 製造業	0	0	0	0
4	汽車零件製造業	0	0	0	0
5	塑膠原料製造業	16.153	0	0	44.604
6	人造纖維加工絲業	0	0	0	0~109.591
7	塗料、染料與顏料製造 業	0	0	0	0
8	未分類其他化學製品製 造業	0	0	0	0
9	其他塑膠製品製造業	0.768	0	0	137.77
10	未分類其他非金屬礦物 製品製造業	0	0	0	0

5. 整體污染物額外改善 25%情形下行業別分析結果

因化學原材料製造業、塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業、染整業及人造纖維加工絲業之 NMHC 減量成本、塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業之 TSP 減量成本及染整業與人造纖維加工絲業之 SO_x 及 NO_x 減量成本相較其他行業別及污染物低(李正揚, 2008), 故整體污染物額外改善 25%情形時, NMHC 點源管制為化學原材料製造業 176.333 噸排放、染整業 354.629 噸排放、塑膠原料製造業 44.604 噸排放、人造纖維加工絲業 109.591 噸排放及其他塑膠製品製造業 137.77 噸排放, TSP 點源管制塑膠原料製造業 16.153 噸排放及其他塑膠製品製造業 0.768 噸排放, SO_x 點源管制染整業 46.33 噸排放與人造纖維加工絲業 59.662 噸排放, 另 NO_x 點源管制染整業與人造纖維加工絲業至少共需減量 66.408 噸(表 4.21), 減量成本約 2,538 萬元。

表 4.21 整體污染物額外改善 25%情形下各污染物減量結果

編號	行業別	TSP (公噸/年)	SO _x (公噸/年)	NO _x (公噸/年)	NMHC (公噸/年)
1	化學原材料製造業	0	0	0	176.333
2	染整業	0	46.33	0~66.408	354.629
3	未分類其他電子零組件 製造業	0	0	0	0
4	汽車零件製造業	0	0	0	0
5	塑膠原料製造業	16.153	0	0	44.604
6	人造纖維加工絲業	0	59.662	0~50.524	109.591
7	塗料、染料與顏料製造 業	0	0	0	0
8	未分類其他化學製品製 造業	0	0	0	0
9	其他塑膠製品製造業	0.768	0	0	137.77
10	未分類其他非金屬礦物 製品製造業	0	0	0	0

另繪製 TSP、SO_x、NO_x 與 NMHC 等四類污染物在額外五種空品削減情形下，各污染物削減噸數與去除比例之折線圖，分別顯示於圖 4.7 與圖 4.8，可得出在減量成本最小下，NMHC 減量噸數與去除比例最高，可列為優先去除污染物種，再去除 TSP，最後再去除 SO_x、NO_x。

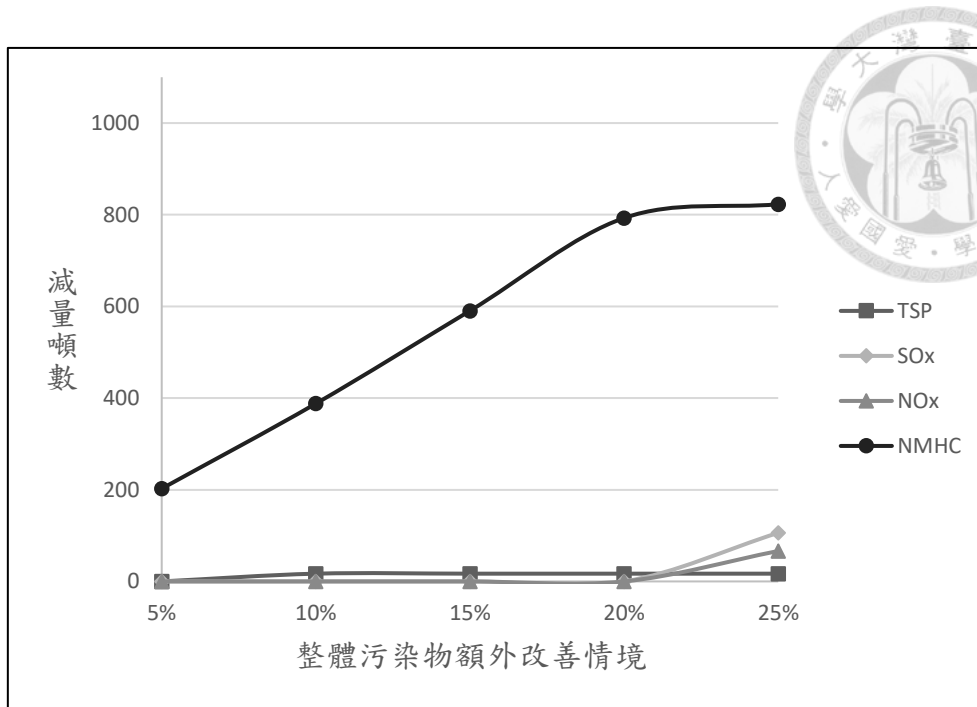


圖 4.7 整體污染物額外削減噸數

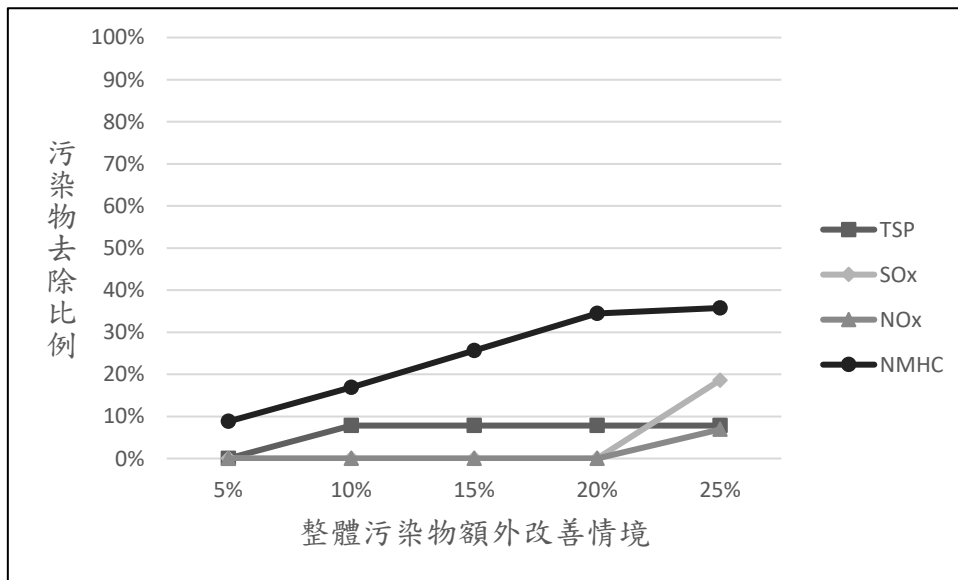


圖 4.8 整體污染物額外去除比例

圖 4.9 為整體污染物額外改善與減量成本之關係圖，在整體污染物額外改善 15% 之情形下，減量成本約 1,272 萬元，額外改善情形提升至 20% 時，減量成本開始趨於平緩，當額外改善情形提升至 25%，減量成本超過 2,500 萬元，原因主要為 SO_x 與 NO_x 最低減量成本較 NMHC 與 TSP 高。

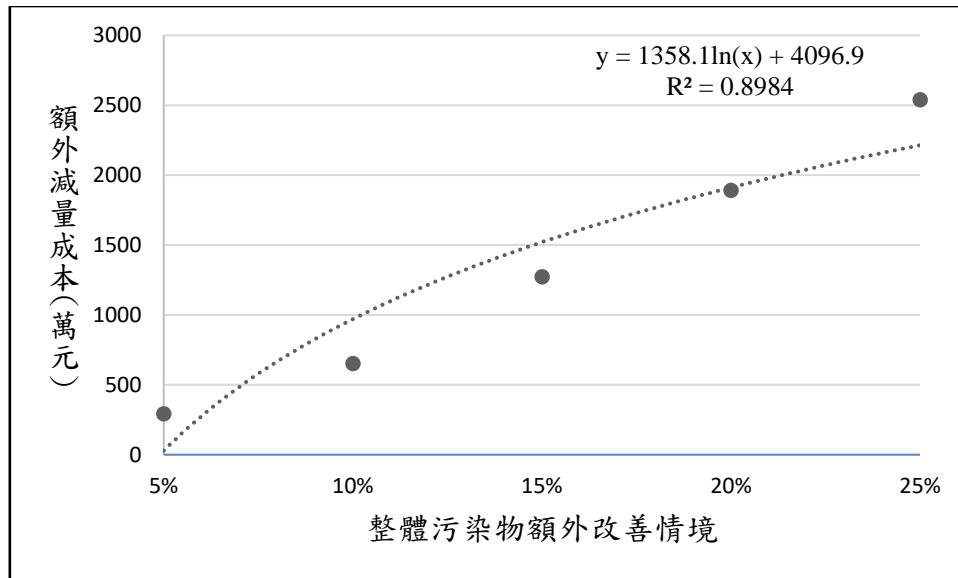


圖 4.9 整體污染物額外改善與減量成本關係圖

4.4.2 各別污染物於額外空品改善情形下之分析結果

1. 各別污染物額外改善 5% 情形下行業別分析結果

因塑膠原料製造業與其他塑膠製品製造業之 TSP 減量成本、染整業及人造纖維加工絲業之 SO_x 及 NO_x 減量成本及化學原材料製造業之 NMHC 減量成本皆相較其他行業別低(李正揚, 2008)，故各別污染物額外改善 5% 情形時，TSP 點源管制塑膠原料製造業與其他塑膠製品製造業，兩個行業別至少共需減量 10.805 噸；SO_x 與 NO_x 點源管制染整業及人造纖維加工絲業，兩個行業別至少需減量 28.484 噸 SO_x 及 48.108 噸 NO_x，NMHC 點源管制化學原材料製造業 115.055 噸排放 (表 4.22)，減量成本約 440 萬元。

表 4.22 各別污染物額外改善 5%情形下各污染物減量結果

編號	行業別	TSP (公噸/年)	SO _x (公噸/年)	NO _x (公噸/年)	NMHC (公噸/年)
1	化學原材料製造業	0	0	0	115.055
2	染整業	0	0~28.484	0~48.108	0
3	未分類其他電子零組件 製造業	0	0	0	0
4	汽車零件製造業	0	0	0	0
5	塑膠原料製造業	0~10.805	0	0	0
6	人造纖維加工絲業	0	0~28.484	0~48.108	0
7	塗料、染料與顏料製造 業	0	0	0	0
8	未分類其他化學製品製 造業	0	0	0	0
9	其他塑膠製品製造業	0~0.768	0	0	0
10	未分類其他非金屬礦物 製品製造業	0	0	0	0

2. 各別污染物額外改善 10%情形下行業別分析結果

因化學原材料製造業、塑膠原料製造業與其他塑膠製品製造業之 TSP 減量成本、染整業及人造纖維加工絲業之 SO_x 及 NO_x 減量成本及化學原材料製造業、塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業之 NMHC 減量成本皆相較其他行業別低(李正揚, 2008), 故各別污染物額外改善 10%情形時, TSP 點源管制化學原材料製造業 4.689 噸排放、塑膠原料製造業 16.153 噸排放及其他塑膠製品製造業 0.768 噸排放, SO_x 與 NO_x 點源管制染整業及人造纖維加工絲業, 兩個行業別至少需減量 56.967 噸 SO_x 及 96.216 噸 NO_x; NMHC 點源管制化學原材料製造業 176.333 噸排放, 塑膠原料製造業與其他塑膠製品製造業至少共需減量 53.776 噸排放(表 4.23), 減量成本約 890 萬元。

表 4.23 各別污染物額外改善 10%情形下各污染物減量結果

編號	行業別	TSP (公噸/年)	SO _x (公噸/年)	NO _x (公噸/年)	NMHC (公噸/年)
1	化學原材料製造業	4.689	0	0	176.333
2	染整業	0	0~46.33	0~96.216	0
3	未分類其他電子零組件 製造業	0	0	0	0
4	汽車零件製造業	0	0	0	0
5	塑膠原料製造業	16.153	0	0	0~44.604
6	人造纖維加工絲業	0	0~56.967	0~50.524	0
7	塗料、染料與顏料製造 業	0	0	0	0
8	未分類其他化學製品製 造業	0	0	0	0
9	其他塑膠製品製造業	0.768	0	0	0~53.776
10	未分類其他非金屬礦物 製品製造業	0	0	0	0

3. 各別污染物額外改善 15%情形下行業別分析結果

因化學原材料製造業、塑膠原料製造業與其他塑膠製品製造業之 TSP 減量成本、染整業及人造纖維加工絲業之 SO_x 及 NO_x 減量成本及化學原材料製造業、塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業之 NMHC 減量成本皆相較其他行業別低(李正揚, 2008), 故各別污染物額外改善 15%情形時, TSP 點源管制化學原材料製造業 15.493 噸排放、塑膠原料製造業 16.153 噸排放與其他塑膠製品製造業 0.768 噸排放, SO_x 與 NO_x 點源管制染整業與人造纖維加工絲業, 兩個行業別至少需減量 85.45 噸 SO_x 及 144.323 噸 NO_x; NMHC 點源管制化學原材料製造業 176.333 噸排放, 塑膠原料製造業與其他塑膠製品製造業至少共需減量 168.83 噸排放(表 4.24), 減量成本約 1,354 萬元。

表 4.24 各別污染物額外改善 15%情形下各污染物減量結果

編號	行業別	TSP (公噸/年)	SO _x (公噸/年)	NO _x (公噸/年)	NMHC (公噸/年)
1	化學原材料製造業	15.493	0	0	176.333
2	染整業	0	0~46.33	0~129.466	0
3	未分類其他電子零組件 製造業	0	0	0	0
4	汽車零件製造業	0	0	0	0
5	塑膠原料製造業	16.153	0	0	0~44.604
6	人造纖維加工絲業	0	0~59.662	0~50.524	0
7	塗料、染料與顏料製造 業	0	0	0	0
8	未分類其他化學製品製 造業	0	0	0	0
9	其他塑膠製品製造業	0.768	0	0	0~137.77
10	未分類其他非金屬礦物 製品製造業	0	0	0	0

4. 各別污染物額外改善 20%情形下行業別減量結果

因化學原材料製造業、塑膠原料製造業與其他塑膠製品製造業之 TSP 減量成本、染整業及人造纖維加工絲業、未分類其他非金屬礦物製品製造業之 SO_x 及 NO_x 減量成本及化學原材料製造業、塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業、染整業、人造纖維加工絲業之 NMHC 減量成本皆相較其他行業別低(李正揚, 2008), 故各別污染物額外改善 20%情形時, TSP 點源管制化學原材料製造業 26.298 噸排放、塑膠原料製造業 16.153 噸排放與其他塑膠製品製造業 0.768 噸排放; SO_x 點源管制染整業 46.33 噸排放、人造纖維加工絲業 59.662 噸排放與未分類其他非金屬礦物製品製造業 7.941 噸排放; NO_x 點源管制染整業 129.466 噸排放、人造纖維加工絲業 50.524 噸排放與未分類其他非金屬礦物製品製造業 12.441 噸排放; NMHC 點源管制化學原材料製造業 176.333 噸排放, 塑膠原料製造業 44.604 噸排放、其他塑膠製品製造業 137.77 噸排放、染整業與人造纖維加工絲業至少共需減量 101.51 噸排放(表 4.25), 減量成本約 1,988 萬元。

表 4.25 各別污染物額外改善 20%情形下各污染物減量結果

編號	行業別	TSP (公噸/年)	SO _x (公噸/年)	NO _x (公噸/年)	NMHC (公噸/年)
1	化學原材料製造業	26.298	0	0	176.333
2	染整業	0	46.33	129.466	0~101.51
3	未分類其他電子零組件 製造業	0	0	0	0
4	汽車零件製造業	0	0	0	0
5	塑膠原料製造業	16.153	0	0	44.604
6	人造纖維加工絲業	0	59.662	50.524	0~101.51
7	塗料、染料與顏料製造 業	0	0	0	0
8	未分類其他化學製品製 造業	0	0	0	0
9	其他塑膠製品製造業	0.768	0	0	137.77
10	未分類其他非金屬礦物 製品製造業	0	7.941	12.441	0

5. 各別污染物額外改善 25%情形下行業別分析結果

因化學原材料製造業、塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業、染整業、未分類其他電子零組件製造業、汽車零件製造業、人造纖維加工絲業、塗料、染料與顏料製造業與未分類其他化學製品製造業之 TSP 減量成本、染整業及人造纖維加工絲業、未分類其他非金屬礦物製品製造業、化學原材料製造業之 SO_x 減量成本、染整業及人造纖維加工絲業、未分類其他非金屬礦物製品製造業、化學原材料製造業、未分類其他電子零組件製造業之 NO_x 減量成本及化學原材料製造業、塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業、染整業、人造纖維加工絲業之 NMHC 減量成本皆相較其他行業別低(李正揚, 2008), 故各別污染物額外改善 25%情形時, TSP 點源管制化學原材料製造業 26.801 噸排放、塑膠原料製造業 16.153 噸排放與其他塑膠製品製造業 0.768 噸排放, 染整業、未分類其他電子零組件製造業、汽車零件製造業、人造纖維加工絲業、塗料、染料與顏料製造業與未分類其他化學製品製造業共需減

量 10.302 噸排放；SO_x 點源管制化學原材料製造業 6.57 噸排放、染整業 46.33 噸排放、人造纖維加工絲業 59.662 噸排放及未分類其他非金屬礦物製品製造業 29.854 噸排放；NO_x 點源管制化學原材料製造業 17.707 噸排放、染整業 129.466 噸排放、未分類其他電子零組件製造業 20.539 噸排放、人造纖維加工絲業 50.524 噸排放與未分類其他非金屬礦物製品製造業 22.303 噸排放；NMHC 點源管制化學原材料製造業 176.333 噸排放、染整業 106.973 噸排放、塑膠原料製造業 44.604 噸排放、人造纖維加工絲業 109.591 噸排放與其他塑膠製品製造業 137.77 噸排放（表 4.26），減量成本約 2,781 萬元。

表 4.26 各別污染物額外改善 25%情形下各污染物減量結果

編號	行業別	TSP (公噸/年)	SO _x (公噸/年)	NO _x (公噸/年)	NMHC (公噸/年)
1	化學原材料製造業	26.801	6.57	17.707	176.333
2	染整業	0~9.023	46.33	129.466	106.973
3	未分類其他電子零組件 製造業	0~2.825	0	20.539	0
4	汽車零件製造業	0~0.137	0	0	0
5	塑膠原料製造業	16.153	0	0	44.604
6	人造纖維加工絲業	0~4.448	59.662	50.524	109.591
7	塗料、染料與顏料製造 業	0~1.542	0	0	0
8	未分類其他化學製品製 造業	0~10.302	0	0	0
9	其他塑膠製品製造業	0.768	0	0	137.77
10	未分類其他非金屬礦物 製品製造業	0	29.854	22.303	0

圖 4.10 為各別污染物額外改善與減量成本之關係圖，在各別污染物額外改善 15%之情形下，減量成本約 1,354 萬元，額外改善情形提升至 20%時，減量成本開始趨於平緩，當額外改善情形提升至 25%，減量成本約 2,781 萬元，相較於整體污染物額外改善情形 25%，增加 243 萬元，主要為整體污染物改善可優先擇成本較低污染物進行，使減量成本降低。

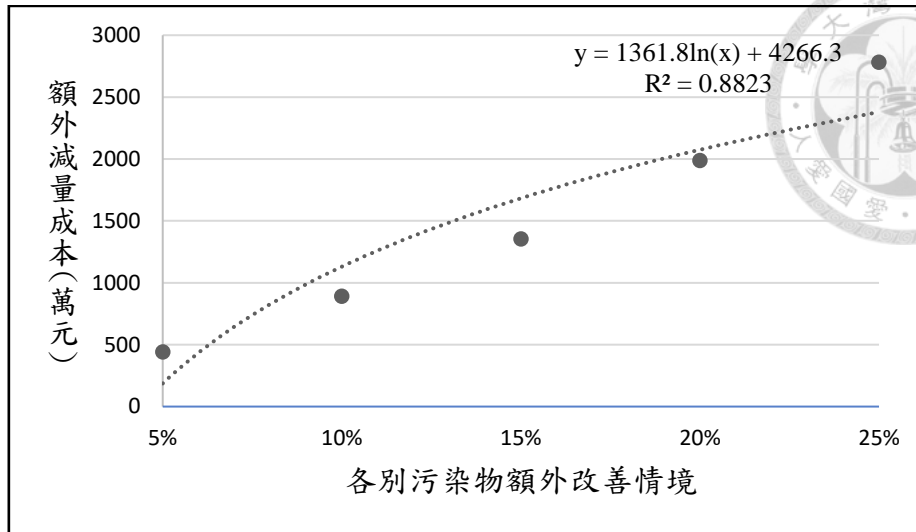


圖 4.10 各別污染物額外改善與減量成本關係圖

4.4.3 減量成本之敏感度分析

LINDO 系統敏感度分析輸出結果給出最優解不變條件下目標函數係數的允許變化量，也就是同樣條件下限制項沒有變化，只是目標函數中某個係數發生變化，最優解仍保持不變(謝金星，2006)。故本研究使用 LINDO 系統針對整體污染物或各別污染物不同情境下之減量成本進行敏感度分析，在各行業減量噸數不變條件下，各行業污染物減量成本（目標函數中某個係數）允許變動範圍，如表 4.27 及 4.28 所示。結果顯示如未來面對各行業整體或各別污染物減量成本調整下，仍具備經濟效益。

表 4.27 整體污染物敏感度分析允許減量成本範圍

敏感度參數		減量成本允許範圍(元)
額外改善 5%情境	化學原材料業 NMHC 平均防制成本	0~14,578
	塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業 NMHC 平均防制成本	14,346~14,578
額外改善 10%情境	塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業 TSP 平均防制成本；化學原材料業、塑 膠原料製造業、其他塑膠製品製造業 NMHC 平均防制成本	0~30,598
	染整業及人造纖維加工絲業 NMHC 平 均防制成本	25,920~30,598
額外改善 15%、20% 情境	塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業 TSP 平均防制成本；化學原材料業、塑 膠原料製造業、其他塑膠製品製造業 NMHC 平均防制成本	0~30,598
	染整業及人造纖維加工絲業 NMHC 平 均防制成本	30,598~32,087
額外改善 25%情境	塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業 TSP 平均防制成本；染整業及人造纖維 加工絲業 SO _x 平均防制成本；化學原材 料業、染整業、人造纖維加工絲業、塑 膠原料製造業、其他塑膠製品製造業 NMHC 平均防制成本	0~32,328
	染整業及人造纖維加工絲業 NO _x 平均防 制成本	32,328~33,689

表 4.28 各別污染物敏感度分析允許減量成本範圍

敏感度參數		減量成本允許範圍(元)
額外改善 5%情境	塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業 TSP 平均防制成本	25,920~45,358
	染整業及人造纖維加工絲業 SO _x 平均防制成本	0~32,087
	染整業及人造纖維加工絲業 NO _x 平均防制成本	0~32,328
	化學原材料業 NMHC 平均防制成本	0~14,578
額外改善 10%情境	化學原材料業 TSP 平均防制成本	25,920~68,163
	塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業 TSP 平均防制成本	0~45,358
	染整業及人造纖維加工絲業 SO _x 平均防制成本	32,087~40,004
	染整業及人造纖維加工絲業 NO _x 平均防制成本	32,328~33,689
	化學原材料業 NMHC 平均防制成本	0~14,578
	塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業 NMHC 平均防制成本	14,346~14,578
額外改善 15%	化學原材料業 TSP 平均防制成本	25,920~68,163
	塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業 TSP 平均防制成本	0~45,358
	染整業及人造纖維加工絲業 SO _x 平均防制成本	32,087~40,004
	染整業及人造纖維加工絲業 NO _x 平均防制成本	32,328~33,689
	化學原材料業 NMHC 平均防制成本	0~14,578
	塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業 NMHC 平均防制成本	14,578~30,598
額外改善 20%	化學原材料業 TSP 平均防制成本	25,920~68,163
	塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業 TSP 平均防制成本	0~45,358
	染整業及人造纖維加工絲業 SO _x 平均防制成本	0~40,004
	未分類其他非金屬礦物製品製造業 SO _x 平均防制成本	32,087~59,865

	染整業及人造纖維加工絲業 NO _x 平均防制成本	0~32,328
	未分類其他非金屬礦物製品製造業 NO _x 平均防制成本	32,328~53,598
	化學原材料業、塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業 NMHC 平均防制成本	0~30,598
	染整業及人造纖維加工絲業 NMHC 平均防制成本	14,578~30,598
額外改善 25%	化學原材料業、染整業、未分類其他電子零組件製造業、汽車零件製造業、塑膠原料製造業、人造纖維加工絲業、塗料、染料與顏料製造業、未分類其他化學製品製造業、其他塑膠製品製造業 TSP 平均防制成本	0~68,163
	化學原材料業 SO _x 平均防制成本	40,004~68,759
	染整業及人造纖維加工絲業、未分類其他非金屬礦物製品製造業 SO _x 平均防制成本	0~59,865
	化學原材料業 NO _x 平均防制成本	53,598~70,844
	染整業、人造纖維加工絲業、未分類其他電子零組件製造業、未分類其他非金屬礦物製品製造業 NO _x 平均防制成本	0~55,159
	化學原材料業、塑膠原料製造業、其他塑膠製品製造業 NMHC 平均防制成本	0~30,598
	染整業及人造纖維加工絲業 NMHC 平均防制成本	30,598~42,683



4.5 減量建議

化學原材料製造業因範疇較廣泛，有關各項製程產生之空氣污染物，其控制方法包含加強設備操作維護、製程改善及增設收集處理設備，對照表 4.12，F146、F152 皆為化學原材料製造業，並從固定污染源操作許得知 F146 製程蒸氣鍋爐使用天然氣、沼氣燃燒，F152 乾燥過程使用天然氣燃料燃燒，皆產生較高 NO_x 與粒狀物，建議粒狀物可加裝袋式集塵器、靜電集塵器等空污處理設備處理， NO_x 可加裝選擇觸媒還原 (SCR) 等設備處理，製程燃料可改為低污染氣體燃料 (如天然氣、液化石油氣及購置蒸汽等) 降低污染物產生 (潘一誠等, 2022)，另化材業處理 THC、NMHC 及 SO_x 相較其他行業處理成本較低，THC 與 NMHC 可搭配使用不同型式的設備，其中具回收價值的溶劑，可透過冷凝或蒸餾方式回收；並藉由焚化、活性炭吸附去除 THC、NMHC 及濕式排煙脫硫處理 SO_x (經濟部工業局, 2014；曠永銓, 2012)。

染整業中主要空氣污染源為烘乾及定型所排放廢氣，對照表 4.12，F118 (染整業) 之 PC2 數值較高，代表 THC 與 NMHC 排放量高，粒徑大多小於 1 微米且具有黏稠性，可行處理方式包含焚化、靜電集塵及高能量濕式處理等控制技術，製程改善可從精煉技術、使用對熱穩定或低濃度藥劑、改變熱源方式或烘乾溫度等場內措施著手 (林文川, 1995)，另染整業處理粒狀物、 NO_x 及 SO_x 相較其他行業處理成本較低，其中染整業使用之鍋爐可透過變更燃燒器、煙氣內循環及煙氣再循環與分級燃燒等方式進行粒狀物、 NO_x 及 SO_x 等污染物減排 (簡聰文 et al., 2022)。


未分類其他電子零組件製造業對照表 4.12，可得知 F38 之 PC2 數值較高，代表 THC 與 NMHC 排放量高，建議使用溶劑時加蓋或於密閉空間操作並加強集氣系統，處理設備加裝廢氣燃燒塔、廢氣焚化爐等空污設備處理 (郭子豪, 2013)，惟 THC 與 NMHC 減量成本較高，LINDO 系統分析結果該行業非優先減量此污染物。另依固定污染源公開平台工廠固定污染源操作許可資料 (環境部, 2023) 可發現該行業別製程產出之 THC 與 NMHC 多經廢氣焚化爐處理進而產生粒狀物及 NO_x 等污

染物排放，由於未分類其他電子零組件製造業處理粒狀物及 NO_x 等污染物成本相較其他行業處理成本低，故建議此行業可透過變更燃燒器、煙氣內循環及煙氣再循環與分級燃燒等方式減少粒狀物及 NO_x 污染物排放(簡聰文 et al., 2022)。

汽車零件製造業對照圖 4.5，F24 及 F128 以 THC 與 NMHC 為主要污染物，惟因減量成本較高，LINDO 系統分析結果汽車零件製造業非優先減量此污染物。另依固定污染源公開平台工廠固定污染源操作許可資料(環境部，2023)可發現粒狀物為製程產出之 THC 與 NMHC 經廢氣焚化爐處理產生，由於處理粒狀物成本相較其他行業處理成本低，建議可於末端設備加裝袋式集塵器或靜電集塵器減少粒狀物排放。

塑膠原料製造業對照表 4.12，F03 之 PC1 及 PC3 數值較高，主要排放物質為粒狀物及於高溫燃燒時產生 NO_x 與 Pb 等污染物，因 NO_x 減量成本較高，LINDO 系統分析結果 NO_x 非優先減量污染物。另塑膠原料製造業處理粒狀物、THC 與 NMHC 等污染物成本相較其他行業處理成本低，再查固定污染源公開平台工廠固定污染源操作許可資料(環境部，2023)可發現粒狀物主要來自製程使用燃油發電引擎發電及燃煤鍋爐等提供製程熱能，建議針對粒狀物處理可加裝袋式集塵器、靜電集塵器等空污處理設備處理，THC 與 NMHC 因在製造過程中產生，建議使用溶劑時加蓋或於密閉空間操作並加強集氣系統，處理設備加裝廢氣燃燒塔、廢氣焚化爐等空污設備處理(郭子豪，2013)。

另依固定污染源公開平台工廠固定污染源操作許可資料(環境部，2023)可發現人造纖維加工絲業於製造尼龍粒過程中添加溶劑產生 THC 與 NMHC，可行處理方式包含焚化、靜電集塵及高能量濕式處理等控制技術，製程改善可從精煉技術、使用對熱穩定或低濃度藥劑、改變熱源方式或烘乾溫度等場內措施著手(林文川，1995)，另人造纖維加工絲業處理粒狀物、NO_x 及 SO_x 相較其他行業處理成本較低，所使用之鍋爐可透過變更燃燒器、煙氣內循環及煙氣再循環與分級燃燒等方式進行粒狀物、NO_x 及 SO_x 等污染物減排(簡聰文 et al., 2022)。



查塗料、染料與顏料製造業在噴塗過程中由塗裝系統噴出漆粒，若沒有與被噴塗的工件接觸及在過量的噴塗情形下，所產生逸散的塗料粒子將形成粒狀污染物(經濟部工業局，2014)，產生之粒狀物可以用各種集塵例如靜電集塵器或袋式集塵器設備加以控制(曠永銓等，2012)。

未分類其他化學製品製造業依固定污染源公開平台工廠固定污染源操作許可資料(環境部，2023)可發現粒狀物主要由氧化爐產生，其可以用各種集塵例如靜電集塵器或袋式集塵器設備加以控制(曠永銓等，2012)。

塑膠製品製造業可分為押出加工、模塑加工、塗佈加工、發泡加工、熱成型、壓延加工及強化塑膠等。而塑膠成型加工技術(混煉、塗佈、乾燥等)為 VOCs 逸散之主要來源，其所發生的 VOCs 以原料樹脂中所含有的未反應單體副原料可塑劑(如酞酸二丁酯)、脫模劑(如硬酯酸鋅)、反應性稀釋劑(如苯乙烯)、去垢劑(如丙酮)、或作為稀釋劑的丙酮、甲苯、二甲苯等之有機溶劑為主，可透過原料替代(如使用無溶劑型或水性接著劑等)、製程改善(如利用在滾筒上裝置一防濺罩減少小液滴造成的煙霧或使用改良噴槍等)及管末處理技術。低濃度 VOCs 排氣($<10\sim 20\text{ mg/m}^3$)適合以活性炭吸附處理，中高濃度廢氣($500\sim 5,000\text{ mg/m}^3$)則以觸媒焚化或蓄熱焚化較經濟，高濃度廢氣($>5,000\sim 10,000\text{ mg/m}^3$)則可以火焰焚化、冷凝或活性炭吸附回收處理(孫國書，2008)，粒狀物主要由廢氣焚化爐產生，其可以用各種集塵例如靜電集塵器或袋式集塵器設備加以控制(曠永銓等，2012)。

未分類其他非金屬礦物製品製造業(瀝青拌合業)，對照表 4.12，F143 及 F144 之 PC1 及 PC3 數值較高，代表其粒狀物、 NO_x 等污染量高，惟因粒狀物減量成本較高，LINDO 系統分析結果未分類其他非金屬礦物製品製造業(瀝青拌合業)非優先減量粒狀物。另未分類其他非金屬礦物製品製造業(瀝青拌合業)處理 SO_x 及 NO_x 等污染物成本相較其他行業處理成本低， NO_x 可加裝選擇觸媒還原(SCR)等設備處理，製程燃料可改為低污染氣體燃料(如天然氣、液化石油氣及購置蒸汽等)

降低污染物產生(潘一誠等, 2022), 另未分類其他非金屬礦物製品製造業(瀝青拌合業)硫氧化物主要由乾燥爐生成, 可使用如排煙脫硫或洗滌塔處理設備加以控制(曠永銓等, 2012)。

本研究觀察到行業別排放量較高之化學原材料製造業、染整業、未分類其他電子零組件製造業、汽車零件製造業、塑膠原料製造業及未分類其他非金屬礦物製品製造業(瀝青拌合業)可與主成分分析 PC1-PC2、PC1-PC3 負荷值圖或是分數較高 10 間公司對照其相關性, 惟因各污染物減量成本不同使主成分分析及 LINDO 系統所提之減量策略有所差異, 而其餘排放量較大之行業別中(如人造纖維加工絲業、塗料、染料與顏料製造業、未分類其他化學製品製造業及其他塑膠製品製造業)所列之各別公司未明顯列於 PC1-PC2、PC1-PC3 負荷值圖或是分數較高 10 間公司內, 可能是因這些行業之各別公司污染物排放量較其他公司少, 且使用 PCA 分析會有 22.5% 信息遺失關係。另主成分分析出 F09 (玻璃纖維製造業)、F15 (鋼鐵鑄造業) 及 F141 (電力供應業) 之公司雖然污染程度較高, 但這些公司的行業別總排放量較其他行業別低, 使其未列於排放量較大之行業別中。

第五章 結論與建議



本研究整理 2019 年至 2022 年固定污染源資訊公開平台排放量資料與全國排放清冊第 12 版 (TEDS 12, 基準年: 2021 年) 中觀音工業區各行業空氣污染物排放量資料, 由於 TEDS 第 12 版資料已經品保品管檢核作業(如兩基準年資料比較、清冊與法規資料庫比對、清冊與環評承諾量比對等), 數據較為準確, 故以 TEDS 第 12 版排放量資料為基礎, 利用主成分確認 2021 年主要污染源與評估污染物排放關聯, 且依各行業別減量成本, 在原工廠已進行空氣污染處理(如洗滌塔、袋式集塵器、廢氣燃燒爐等)下, 額外針對主要削減污染物進行分析, 擬定加嚴後優先減量行業別、公司與污染物, 以下分別論述結果與建議。

5.1 結論

1. 歷年 TSP、SO_x、NO_x 以及 NMHC 等污染物整體排放量逐年呈下降趨勢, 其中 NMHC 排放量相較其他污染物皆為最高, 4 年污染物排放量佔 56.54%, NO_x 排放量 2022 年相較 2019 年共減少約 355.304 噸, 為近 4 年內減少最多的污染物, TSP 為歷年排放量佔比最少之污染物。
2. 2021 年固定污染源資訊公開平台與 TEDS 第 12 版點源排放清冊比對, 各污染物差異排放量 0.35 至 18.712 噸, 整體排放量差異為 21.189 噸, 所以固定污染源資訊公開平台與 TEDS 第 12 版點源排放清冊資料仍具有差異性。
3. 依據 TEDS 第 12 版各行業別排放量分析, 若進行 TSP、PM₁₀ 與 PM_{2.5} 減量工作, 應優先著重於未分類其他非金屬礦物製品製造業、鋼鐵鑄造業、化學原材料製造業等行業進行; 若進行 SO_x 減量工作, 應優先著重於化學原材料製造業、塑膠原料製造業、人造纖維加工絲業等行業進行; 若進行 NO_x 減量工作, 應優先著重於塑膠原料製造業、化學原材料製造業、染整業與電力供應業等行業進行; 若進行 THC 與 NMHC 減量工作, 應優先著重於未分類其他電子零



組件製造業、汽車零件製造業與染整業等行業進行；若進行 CO 減量工作，應優先著重於有害廢棄物清除業、染整業等行業進行；若進行 Pb 減量工作，應優先著重於電力供應業、染整業與塑膠原料製造業等行業進行。

4. TEDS 第 12 版排放量主成分分析結果為：

- (1) 選擇觀音工業區 174 間 9 種空氣污染物 (TSP、PM₁₀、PM_{2.5}、SO_x、NO_x、NMHC、THC、CO、Pb) 排放量進行主成分分析，選擇三個主成分，解釋數據 77.5% 變異性，PC1 主要排放物質為 TSP、PM₁₀ 與 PM_{2.5}；PC2 主要排放污染物為 THC 與 NMHC；PC3 主要排放污染物為 NO_x 與 Pb。
- (2) 根據 PC1 和 PC2 轉軸負荷值固定污染源可分出 2 個相似污染物排放群體，族群 1 中 F143 與 F144 為未分類其他非金屬礦物製品製造業 (瀝青拌合業)、F15 為鋼鐵鑄造業、F03 為塑膠原料製造業、F141 為電力供應業及 F146、F152 為化學原材料製造業，主要排放物種為 TSP、PM₁₀ 與 PM_{2.5}；族群 2 由 F38 未分類其他電子零組件製造業、F24 與 F128 汽車零件製造業及 F118 染整業組成，主要排放物種為 THC 與 NMHC。
- (3) 根據 PC1 和 PC3 轉軸負荷值可分出 2 個相似污染物排放群體，F03 為塑膠原料製造業與 F141 為電力供應業組成，主要排放物種為 NO_x 與 Pb，另一族群由 F146、F152 化學原材料製造業組成，皆產生次高 NO_x 與粒狀物。
- (4) 自 174 間公司中篩選綜合分數較高 10 間公司，綜合分數 (F) 與空氣品質呈現負相關，數值越大，代表其造成空氣污染程度越高，經分析得知未分類其他非金屬礦物製品製造業 (瀝青拌合業) 污染程度最高，其次為塑膠原料製造業、鋼鐵鑄造業、化學原材料製造業、電力供應業、未分類其他電子零組件製造業、染整業、玻璃纖維製造業等，若進行觀音工業區空氣污染物減量工作，優先減量建議排序為中○○業股份有限公司觀音廠>遠○○世紀股份有限公司觀音化學纖維廠>錦○○造工業股份有限公司觀音廠>台○○慕股份有限公司觀音廠>三○○青股份有限公司>華○○電股份有限公司觀音公用廠>台○○子材料

股份有限公司>亞○○化股份有限公司觀音二廠>聚○○份有限公司觀音廠>台○○
璃工業股份有限公司桃園廠等，並提供相關減量建議。

5. 觀音工業區 2021 年整體污染物 (TSP、SO_x、NO_x 與 NMHC 污染物排放量加總) 在最小減量成本下額外改善 5%、10%、15%、20%與 25%五種情形進行分析，於空品額外改善 5%情形中，可發現 NMHC 為主要去除污染物；而在額外 10%改善情形下則新增 TSP 排放量管制，SO_x 與 NO_x 分析結果皆無減量；當整體污染額外改善 25%情形下，新增 SO_x 與 NO_x 排放量管制，減量成本約 2,538 萬元，且在成本最小下，NMHC 減量噸數與去除比例最高，可列為優先去除污染物，再去 TSP，最後再去 SO_x、NO_x；另各別污染物額外改善 15%之情形下，減量成本約 1,354 萬元，當額外改善情形提升至 25%，減量成本約 2,781 萬元，相較於整體污染額外改善情形 25%，增加 243 萬元，主要為整體污染額外改善可優先擇成本較低污染進行，使減量成本降低，另針對整體污染或各別污染不同情境下之減量成本進行敏感度分析，評估各行業於變動範圍內之減量成本，仍具備經濟效益。另本研究亦結合主成分分析及減量成本分析結果分別提供減量建議。



5.2 建議

1. 國內近年各行業別減量成本之研究甚少，大部分僅針對防制設備效率進行討論，成本資料亦較為缺乏，建議可探討近年各行業別不同污染物減量成本，以利後續進行減量策略評估。
2. 因本研究僅探討空氣污染物經處理後排放量加嚴情境之額外減量成本，建議可再探討各公司本身處理成本及加嚴空氣污染物排放量整體處理成本，使減量評估更為完整。
3. 建議未來可將空氣污染物排放量與國內空氣品質標準進行連結，並進行「主成分分析」及「主成分分析與空氣品質加權」之比較。
4. 因本研究已針對不同情境下之減量成本敏感度分析，評估在各行業減量噸數不變條件下其允許範圍內之減量成本，建議未來亦可分析各行業超過允許變動範圍之減量成本，評估對經濟效益之影響。
5. 除分析各行業污染防制成本外，另可探討低污染原物料之使用、改進生產方式與實施有效管理方法等減少污染物策略。

第六章 參考文獻



- Castañeda-Miranda, A. G., Böhnelt, H. N., Molina-Garza, R. S., & Chaparro, M. A. E. (2014). Magnetic evaluation of TSP-filters for air quality monitoring. *Atmospheric Environment*, 96, 163-174.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.07.015>
- Chen, G.-F., Lai, C.-H., & Chen, W.-H. (2020). Principal component analysis and mapping to characterize the emission of volatile organic compounds in a typical petrochemical industrial park. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(3), 465-476.
- García-Santillán, A., Venegas-Martínez, F., Escalera Chávez, M. E. & Córdova-Rangel, A. (2013). Attitude toward Statistic in College Students (An Empirical Study in Public University). *Journal of Statistical and Econometric Methods*, 2(1), 43-60.
- Jabłońska, M., & Janeczek, J. (2019). Identification of industrial point sources of airborne dust particles in an urban environment by a combined mineralogical and meteorological analyses: A case study from the Upper Silesian conurbation, Poland. *Atmospheric Pollution Research*, 10(3), 980-988.
<https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.01.006>
- Kim, K. H., Kabir, E., & Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environ Int*, 74, 136-143.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>
- Lanzaco, B. L., Olcese, L. E., Querol, X., & Toselli, B. M. (2017). Analysis of PM_{2.5} in Córdoba, Argentina under the effects of the El Niño Southern Oscillation. *Atmospheric Environment*, 171, 49-58.
- Li, D., Tang, J., & Gan, X. (2018). Reliability and validity of the Munro Scale on the assessment of pressure ulcer risks in adult perioperative patients: a cross-sectional study. *Int J Clin Exp Med*, 11(9), 9811-9818.
- MacNee, W., & Donaldson, K. (2003). Mechanism of lung injury caused by PM₁₀ and ultrafine particles with special reference to COPD. *Eur Respir J Suppl*, 40, 47s-51s. <https://doi.org/10.1183/09031936.03.00403203>

Qi, J., Zheng, B., Li, M., Yu, F., Chen, C., Liu, F., Zhou, X., Yuan, J., Zhang, Q., & He, K. (2017). A high-resolution air pollutants emission inventory in 2013 for the Beijing-Tianjin-Hebei region, China. *Atmospheric Environment*, 170, 156-168.

Pöschl, U. (2005). Atmospheric aerosols: composition, transformation, climate and health effects. *Angew Chem Int Ed Engl*, 44(46), 7520-7540.
<https://doi.org/10.1002/anie.200501122>

Santos, F. S., Miranda, G. A., Carvalho, A. N., Carvalho, V. S. B., & Albuquerque, T. T. d. A. (2019). Regulated air pollutant emissions from higher emitters stationary sources in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 36, 775-784.

Schultz, A. A., Schauer, J. J., & Malecki, K. MC. (2017). Allergic disease associations with regional and localized estimates of air pollution. *Environ Res*, 155, 77-85.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.01.039>

Yang, W., Zhao, Y., Wang, D., Wu, H., Lin, A., & He, L. (2020). Using Principal Components Analysis and IDW Interpolation to Determine Spatial and Temporal Changes of Surface Water Quality of Xin'anjiang River in Huangshan, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8).
<https://doi.org/10.3390/ijerph17082942>

Zhang, H.-W., Kok, V. C., Chuang, S.-C., Tseng, C.-H., Lin, C.-T., Li, T.-C., Sung, F.-C., Wen, C. P., Hsiung, C. A., & Hsu, C. Y. (2019). Long-term ambient hydrocarbons exposure and incidence of ischemic stroke. *PloS one*, 14(12), e0225363.

Zhang, Z., Qi, J., Ma, J., Wang, X., Zhang, F., & Li, Y. (2022). Evaluation of Ambient Air Quality Ranking in Harbin Based on Principal Component Analysis and Comprehensive Score Method. *2022 International Conference on Environmental Science and Green Energy (ICESGE)*.

Cooper, C. D., & Alley, F. C. (2009)。空氣污染防制。中央圖書出版社。

行政院 (2023)。空氣污染防制大作戰—保護國人健康，讓臺灣環境永續。
<https://www.ey.gov.tw/Page/5A8A0CB5B41DA11E/e8819567-8f04-42e1-84ef-cbbe48b5cce2>。



行政院主計總處 (2023)。行政院主計總處。

<https://nstatdb.dgbas.gov.tw/dgbasall/webMain.aspx?sys=210&funid=A030202010>

司洪濤、郭志軍、陳見財、陳靖玟、楊政育、礦永詮(2007)。揮發性有機物廢氣減量及處理技術手冊。經濟部工業局。

李正揚 (2008)。台灣地區廠商空氣污染防治成本函數實證研究。國立臺北大學自然資源與環境管理研究所碩士論文。

吳亞璇 (2020)。臺灣本土燃煤電廠與汽柴油車排放尾氣中細懸浮微粒組成特徵與吸入風險評估。國立陽明大學環境與職業衛生研究所碩士論文。

林君柔 (2021)。工業區空氣污染排放對周邊地區健康損失之評估。國立臺北科技大學環境工程與管理研究所碩士論文。

林文川、莊錦烽(1995)。染整業定型機廢氣特性及控制策略。工業污染防治 (pp. 22)。

孫國書 (2008)。行業製程異味污染防治—塑膠製品業。
<https://proj.ftis.org.tw/eta/epaper/PDF/ti061-1.pdf>

國家環境保護局科技標準司 (1997)。大氣污染物綜合排放標準詳解。中國環境科學出版社。

黃玉潔 (2013)。細懸浮微粒濃度資料之可靠度與趨勢分析。國立中山大學應用數學系碩士論文。

葉國樑 (2017)。細懸浮微粒 PM_{2.5} 之健康風險與預防。臺灣鑛業，69(2)，3-10。

經濟部工業局觀音工業區服務中心 (2023)。園區簡介。
<https://www.moeaidb.gov.tw/iphw/kuangin/index.do?id=10#pc3>

經濟部工業局 (2014)。化學材料製造業污染防治法規與處理技術手冊。(pp. 255)。

潘一誠、林穎俊、陳筱薇、林志純、謝仁碩、劉智祥、賴俊甫、王義基 (2022)。工商業鍋爐汰換污染改善分析。工業污染防治(pp. 18)。



- 蔡秉諺 (2021)。應用多變量統計技術歸納蘭陽平原地下水中砷釋出機制。國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文。
- 劉文海 (1990)。台灣區熔鐵爐污染防治技術現況。工業污染防治 (pp. 19)。
- 劉國棟 (1993)。VOC 管制趨勢展望。工業污染防治(pp. 17)。
- 謝金星、薛毅 (2006) 優化建模與 LINDO/LINGO 軟件。清華大學出版社。
- 環境部 (2023)。固定污染源管理資訊公開平台。
https://air.epa.gov.tw/EnvTopics/AirQuality_6.aspx
- 環境部 (2023)。空氣污染物排放量清冊。
<https://aodmis.moenv.gov.tw/opendata/#/emq>
- 環境部 (2023)。瀝青拌合業逸散性粒狀污染物防制技術手冊。
<https://reurl.cc/Wv9v6O>
- 環境部 (2023)。鋼鐵冶鍊逸散性粒狀污染物防制技術手冊。
https://air.moenv.gov.tw/EnvTopics/StationarySource_11.aspx
- 簡汝嬋 (2017)。高雄市細懸浮微粒之減量成本與防制策略。國立成功大學環境工程學系碩士論文。
- 簡聰文、曾庭科、黃秋俊 (2022)。國內外中小型鍋爐空氣污染管制淺析 [The Emission Monitoring of Fossil Fuel-fired Units by using Artificial Intelligence Technologies]。燃燒季刊(118)，4-33。
[https://doi.org/10.30041/cq.202208_\(118\).0001](https://doi.org/10.30041/cq.202208_(118).0001)
- 曠永銓、羅鈞、郭子豪、陳金瀛、王嘉弘、周松霖、黃永昌、黃鍾偉、郭泰均、底宗鴻、蕭雅晶 (2012)。提升中部及雲嘉南空品區空氣品質改善計畫。行政院環境保護署。
- 嚴先瑾 (2022)。運用主成分分析地下水水質劣化之成因。朝陽科技大學環境工程與管理系碩士論文。

附錄 LINDO 系統分析



假設整體污染物排放量 (TSP、SO_x、NO_x 與 NMHC 污染物排放量加總) 在五種空品改善情形下，各行業別污染物減量噸數如下

編號	行業別	TSP	SO _x	NO _x	NMHC
1	化學原材料製造業	x1	x11	x21	x31
2	染整業	x2	x12	x22	x32
3	未分類其他電子零組件製造業	x3	x13	x23	x33
4	汽車零件製造業	x4	x14	x24	x34
5	塑膠原料製造業	x5	x15	x25	x35
6	人造纖維加工絲業	x6	x16	x26	x36
7	塗料、染料與顏料製造業	x7	x17	x27	x37
8	未分類其他化學製品製造業	x8	x18	x28	x38
9	其他塑膠製品製造業	x9	x19	x29	x39
10	未分類其他非金屬礦物製品製造業	x10	x20	x30	x40

污染物改善 5%情形

目標函數

Min

$$45358.2288x_1 + 68162.728x_2 + 68162.728x_3 + 68162.728x_4 + 25920.256x_5 + 68162.728x_6 + 68162.728x_7 + 68162.728x_8 + 25920.256x_9 + 4202713.1928x_{10} + 59865.1392x_{11} + 32087.4128x_{12} + 68758.5832x_{13} + 94934.0472x_{14} + 110309.7744x_{15} + 32087.4128x_{16} + 94934.0472x_{17} + 94934.0472x_{18} + 110309.7744x_{19} + 40004.4088x_{20} + 55159.3256x_{21} + 32328.1959999999x_{22} + 53598.1184x_{23} + 70843.5216x_{24} + 70843.5216x_{25} + 32328.1959999999x_{26} + 70843.5216x_{27} + 233432.1x_{28} + 70843.5216x_{29} + 33688.5656x_{30} + 14346.0184x_{31} + 30598.3296x_{32} + 67877.5608x_{33} + 49601.3392x_{34} + 14577.9248x_{35} + 30598.3296x_{36} + 49601.3392x_{37} + 328392.7776x_{38} + 14577.9248x_{39} + 42682.9832x_{40}$$

限制式

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{30} + x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} + x_{39} + x_{40} \geq 4048.991 * 0.05$$

$$x_1 \leq 26.801; x_2 \leq 9.023; x_3 \leq 2.825; x_4 \leq 0.137; x_5 \leq 16.153; x_6 \leq 4.448; x_7 \leq 1.542; x_8 \leq 11.242; x_9 \leq 0.768; x_{10} \leq 79.18; x_{11} \leq 269.327; x_{12} \leq 46.33; x_{13} \leq 16.722; x_{14} \leq 0.409; x_{15} \leq 60.644; x_{16} \leq 59.662; x_{17} \leq 2.781; x_{18} \leq 14.68; x_{19} \leq 7.725; x_{20} \leq 29.854; x_{21} \leq 178.825; x_{22} \leq 129.466; x_{23} \leq 20.539; x_{24} \leq 2.69;$$



$x_{25} \leq 201.012$; $x_{26} \leq 50.524$; $x_{27} \leq 20.046$; $x_{28} \leq 19.127$; $x_{29} \leq 22.835$;
 $x_{30} \leq 22.303$; $x_{31} \leq 176.333$; $x_{32} \leq 354.629$; $x_{33} \leq 455.466$; $x_{34} \leq 326.989$;
 $x_{35} \leq 44.604$; $x_{36} \leq 109.591$; $x_{37} \leq 159.676$; $x_{38} \leq 129.182$; $x_{39} \leq 137.77$;
 $x_{40} \leq 5.803$

$x_1 \geq 0$; $x_2 \geq 0$; $x_3 \geq 0$; $x_4 \geq 0$; $x_5 \geq 0$; $x_6 \geq 0$; $x_7 \geq 0$; $x_8 \geq 0$; $x_9 \geq 0$; $x_{10} \geq 0$;
 $x_{11} \geq 0$; $x_{12} \geq 0$; $x_{13} \geq 0$; $x_{14} \geq 0$; $x_{15} \geq 0$; $x_{16} \geq 0$; $x_{17} \geq 0$; $x_{18} \geq 0$; $x_{19} \geq 0$;
 $x_{20} \geq 0$; $x_{21} \geq 0$; $x_{22} \geq 0$; $x_{23} \geq 0$; $x_{24} \geq 0$; $x_{25} \geq 0$; $x_{26} \geq 0$; $x_{27} \geq 0$; $x_{28} \geq 0$;
 $x_{29} \geq 0$; $x_{30} \geq 0$; $x_{31} \geq 0$; $x_{32} \geq 0$; $x_{33} \geq 0$; $x_{34} \geq 0$; $x_{35} \geq 0$; $x_{36} \geq 0$; $x_{37} \geq 0$;
 $x_{38} \geq 0$; $x_{39} \geq 0$; $x_{40} \geq 0$

污染物改善 10%情形

目標函數

Min

$45358.2288x_1 + 68162.728x_2 + 68162.728x_3 + 68162.728x_4 + 25920.256x_5 + 68162.728x_6 +$
 $68162.728x_7 + 68162.728x_8 + 25920.256x_9 + 4202713.1928x_{10} + 59865.1392x_{11} + 32087.4$
 $128x_{12} + 68758.5832x_{13} + 94934.0472x_{14} + 110309.7744x_{15} + 32087.4128x_{16} + 94934.04$
 $72x_{17} + 94934.0472x_{18} + 110309.7744x_{19} + 40004.4088x_{20} + 55159.3256x_{21} + 32328.195$
 $9999999x_{22} + 53598.1184x_{23} + 70843.5216x_{24} + 70843.5216x_{25} + 32328.1959999999x_{26}$
 $+ 70843.5216x_{27} + 233432.1x_{28} + 70843.5216x_{29} + 33688.5656x_{30} + 14346.0184x_{31} + 305$
 $98.3296x_{32} + 67877.5608x_{33} + 49601.3392x_{34} + 14577.9248x_{35} + 30598.3296x_{36} + 49601.$
 $3392x_{37} + 328392.7776x_{38} + 14577.9248x_{39} + 42682.9832x_{40}$

限制式

$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} +$
 $x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{30} + x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} +$
 $x_{36} + x_{37} + x_{38} + x_{39} + x_{40} \geq 4048.991 * 0.1$

$x_1 \leq 26.801$; $x_2 \leq 9.023$; $x_3 \leq 2.825$; $x_4 \leq 0.137$; $x_5 \leq 16.153$; $x_6 \leq 4.448$; $x_7 \leq 1.542$;
 $x_8 \leq 11.242$; $x_9 \leq 0.768$; $x_{10} \leq 79.18$; $x_{11} \leq 269.327$; $x_{12} \leq 46.33$; $x_{13} \leq 16.722$;
 $x_{14} \leq 0.409$; $x_{15} \leq 60.644$; $x_{16} \leq 59.662$; $x_{17} \leq 2.781$; $x_{18} \leq 14.68$; $x_{19} \leq 7.725$;
 $x_{20} \leq 29.854$; $x_{21} \leq 178.825$; $x_{22} \leq 129.466$; $x_{23} \leq 20.539$; $x_{24} \leq 2.69$;
 $x_{25} \leq 201.012$; $x_{26} \leq 50.524$; $x_{27} \leq 20.046$; $x_{28} \leq 19.127$; $x_{29} \leq 22.835$;
 $x_{30} \leq 22.303$; $x_{31} \leq 176.333$; $x_{32} \leq 354.629$; $x_{33} \leq 455.466$; $x_{34} \leq 326.989$;
 $x_{35} \leq 44.604$; $x_{36} \leq 109.591$; $x_{37} \leq 159.676$; $x_{38} \leq 129.182$; $x_{39} \leq 137.77$;
 $x_{40} \leq 5.803$

$x_1 \geq 0$; $x_2 \geq 0$; $x_3 \geq 0$; $x_4 \geq 0$; $x_5 \geq 0$; $x_6 \geq 0$; $x_7 \geq 0$; $x_8 \geq 0$; $x_9 \geq 0$; $x_{10} \geq 0$;
 $x_{11} \geq 0$; $x_{12} \geq 0$; $x_{13} \geq 0$; $x_{14} \geq 0$; $x_{15} \geq 0$; $x_{16} \geq 0$; $x_{17} \geq 0$; $x_{18} \geq 0$; $x_{19} \geq 0$;
 $x_{20} \geq 0$; $x_{21} \geq 0$; $x_{22} \geq 0$; $x_{23} \geq 0$; $x_{24} \geq 0$; $x_{25} \geq 0$; $x_{26} \geq 0$; $x_{27} \geq 0$; $x_{28} \geq 0$;
 $x_{29} \geq 0$; $x_{30} \geq 0$; $x_{31} \geq 0$; $x_{32} \geq 0$; $x_{33} \geq 0$; $x_{34} \geq 0$; $x_{35} \geq 0$; $x_{36} \geq 0$; $x_{37} \geq 0$;
 $x_{38} \geq 0$; $x_{39} \geq 0$; $x_{40} \geq 0$



污染物改善 15%情形

目標函數

Min

$$45358.2288x_1+68162.728x_2+68162.728x_3+68162.728x_4+25920.256x_5+68162.728x_6+68162.728x_7+68162.728x_8+25920.256x_9+4202713.1928x_{10}+59865.1392x_{11}+32087.4128x_{12}+68758.5832x_{13}+94934.0472x_{14}+110309.7744x_{15}+32087.4128x_{16}+94934.0472x_{17}+94934.0472x_{18}+110309.7744x_{19}+40004.4088x_{20}+55159.3256x_{21}+32328.1959999999x_{22}+53598.1184x_{23}+70843.5216x_{24}+70843.5216x_{25}+32328.1959999999x_{26}+70843.5216x_{27}+233432.1x_{28}+70843.5216x_{29}+33688.5656x_{30}+14346.0184x_{31}+30598.3296x_{32}+67877.5608x_{33}+49601.3392x_{34}+14577.9248x_{35}+30598.3296x_{36}+49601.3392x_{37}+328392.7776x_{38}+14577.9248x_{39}+42682.9832x_{40}$$

限制式

$$x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_7+x_8+x_9+x_{10}+x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{20}+x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{26}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{30}+x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{35}+x_{36}+x_{37}+x_{38}+x_{39}+x_{40} \geq 4048.991 * 0.15$$

$$x_1 \leq 26.801; x_2 \leq 9.023; x_3 \leq 2.825; x_4 \leq 0.137; x_5 \leq 16.153; x_6 \leq 4.448; x_7 \leq 1.542;$$

$$x_8 \leq 11.242; x_9 \leq 0.768; x_{10} \leq 79.18; x_{11} \leq 269.327; x_{12} \leq 46.33; x_{13} \leq 16.722;$$

$$x_{14} \leq 0.409; x_{15} \leq 60.644; x_{16} \leq 59.662; x_{17} \leq 2.781; x_{18} \leq 14.68; x_{19} \leq 7.725;$$

$$x_{20} \leq 29.854; x_{21} \leq 178.825; x_{22} \leq 129.466; x_{23} \leq 20.539; x_{24} \leq 2.69;$$

$$x_{25} \leq 201.012; x_{26} \leq 50.524; x_{27} \leq 20.046; x_{28} \leq 19.127; x_{29} \leq 22.835;$$

$$x_{30} \leq 22.303; x_{31} \leq 176.333; x_{32} \leq 354.629; x_{33} \leq 455.466; x_{34} \leq 326.989;$$

$$x_{35} \leq 44.604; x_{36} \leq 109.591; x_{37} \leq 159.676; x_{38} \leq 129.182; x_{39} \leq 137.77;$$

$$x_{40} \leq 5.803$$

$$x_1 \geq 0; x_2 \geq 0; x_3 \geq 0; x_4 \geq 0; x_5 \geq 0; x_6 \geq 0; x_7 \geq 0; x_8 \geq 0; x_9 \geq 0; x_{10} \geq 0;$$

$$x_{11} \geq 0; x_{12} \geq 0; x_{13} \geq 0; x_{14} \geq 0; x_{15} \geq 0; x_{16} \geq 0; x_{17} \geq 0; x_{18} \geq 0; x_{19} \geq 0;$$

$$x_{20} \geq 0; x_{21} \geq 0; x_{22} \geq 0; x_{23} \geq 0; x_{24} \geq 0; x_{25} \geq 0; x_{26} \geq 0; x_{27} \geq 0; x_{28} \geq 0;$$

$$x_{29} \geq 0; x_{30} \geq 0; x_{31} \geq 0; x_{32} \geq 0; x_{33} \geq 0; x_{34} \geq 0; x_{35} \geq 0; x_{36} \geq 0; x_{37} \geq 0;$$

$$x_{38} \geq 0; x_{39} \geq 0; x_{40} \geq 0$$



污染物改善 20%情形

目標函數

Min

$$45358.2288x_1+68162.728x_2+68162.728x_3+68162.728x_4+25920.256x_5+68162.728x_6+68162.728x_7+68162.728x_8+25920.256x_9+4202713.1928x_{10}+59865.1392x_{11}+32087.4128x_{12}+68758.5832x_{13}+94934.0472x_{14}+110309.7744x_{15}+32087.4128x_{16}+94934.0472x_{17}+94934.0472x_{18}+110309.7744x_{19}+40004.4088x_{20}+55159.3256x_{21}+32328.1959999999x_{22}+53598.1184x_{23}+70843.5216x_{24}+70843.5216x_{25}+32328.1959999999x_{26}+70843.5216x_{27}+233432.1x_{28}+70843.5216x_{29}+33688.5656x_{30}+14346.0184x_{31}+30598.3296x_{32}+67877.5608x_{33}+49601.3392x_{34}+14577.9248x_{35}+30598.3296x_{36}+49601.3392x_{37}+328392.7776x_{38}+14577.9248x_{39}+42682.9832x_{40}$$

限制式

$$x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_7+x_8+x_9+x_{10}+x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{20}+x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{26}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{30}+x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{35}+x_{36}+x_{37}+x_{38}+x_{39}+x_{40} \geq 4048.991 * 0.2$$

$$x_1 \leq 26.801; x_2 \leq 9.023; x_3 \leq 2.825; x_4 \leq 0.137; x_5 \leq 16.153; x_6 \leq 4.448; x_7 \leq 1.542;$$

$$x_8 \leq 11.242; x_9 \leq 0.768; x_{10} \leq 79.18; x_{11} \leq 269.327; x_{12} \leq 46.33; x_{13} \leq 16.722;$$

$$x_{14} \leq 0.409; x_{15} \leq 60.644; x_{16} \leq 59.662; x_{17} \leq 2.781; x_{18} \leq 14.68; x_{19} \leq 7.725;$$

$$x_{20} \leq 29.854; x_{21} \leq 178.825; x_{22} \leq 129.466; x_{23} \leq 20.539; x_{24} \leq 2.69;$$

$$x_{25} \leq 201.012; x_{26} \leq 50.524; x_{27} \leq 20.046; x_{28} \leq 19.127; x_{29} \leq 22.835;$$

$$x_{30} \leq 22.303; x_{31} \leq 176.333; x_{32} \leq 354.629; x_{33} \leq 455.466; x_{34} \leq 326.989;$$

$$x_{35} \leq 44.604; x_{36} \leq 109.591; x_{37} \leq 159.676; x_{38} \leq 129.182; x_{39} \leq 137.77;$$

$$x_{40} \leq 5.803$$

$$x_1 \geq 0; x_2 \geq 0; x_3 \geq 0; x_4 \geq 0; x_5 \geq 0; x_6 \geq 0; x_7 \geq 0; x_8 \geq 0; x_9 \geq 0; x_{10} \geq 0;$$

$$x_{11} \geq 0; x_{12} \geq 0; x_{13} \geq 0; x_{14} \geq 0; x_{15} \geq 0; x_{16} \geq 0; x_{17} \geq 0; x_{18} \geq 0; x_{19} \geq 0;$$

$$x_{20} \geq 0; x_{21} \geq 0; x_{22} \geq 0; x_{23} \geq 0; x_{24} \geq 0; x_{25} \geq 0; x_{26} \geq 0; x_{27} \geq 0; x_{28} \geq 0;$$

$$x_{29} \geq 0; x_{30} \geq 0; x_{31} \geq 0; x_{32} \geq 0; x_{33} \geq 0; x_{34} \geq 0; x_{35} \geq 0; x_{36} \geq 0; x_{37} \geq 0;$$

$$x_{38} \geq 0; x_{39} \geq 0; x_{40} \geq 0$$



污染物改善 25%情形

目標函數

Min

$$45358.2288x_1+68162.728x_2+68162.728x_3+68162.728x_4+25920.256x_5+68162.728x_6+68162.728x_7+68162.728x_8+25920.256x_9+4202713.1928x_{10}+59865.1392x_{11}+32087.4128x_{12}+68758.5832x_{13}+94934.0472x_{14}+110309.7744x_{15}+32087.4128x_{16}+94934.0472x_{17}+94934.0472x_{18}+110309.7744x_{19}+40004.4088x_{20}+55159.3256x_{21}+32328.1959999999x_{22}+53598.1184x_{23}+70843.5216x_{24}+70843.5216x_{25}+32328.1959999999x_{26}+70843.5216x_{27}+233432.1x_{28}+70843.5216x_{29}+33688.5656x_{30}+14346.0184x_{31}+30598.3296x_{32}+67877.5608x_{33}+49601.3392x_{34}+14577.9248x_{35}+30598.3296x_{36}+49601.3392x_{37}+328392.7776x_{38}+14577.9248x_{39}+42682.9832x_{40}$$

限制式

$$x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_7+x_8+x_9+x_{10}+x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{20}+x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{26}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{30}+x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{35}+x_{36}+x_{37}+x_{38}+x_{39}+x_{40} \geq 4048.991 * 0.25$$

$$x_1 \leq 26.801; x_2 \leq 9.023; x_3 \leq 2.825; x_4 \leq 0.137; x_5 \leq 16.153; x_6 \leq 4.448; x_7 \leq 1.542;$$

$$x_8 \leq 11.242; x_9 \leq 0.768; x_{10} \leq 79.18; x_{11} \leq 269.327; x_{12} \leq 46.33; x_{13} \leq 16.722;$$

$$x_{14} \leq 0.409; x_{15} \leq 60.644; x_{16} \leq 59.662; x_{17} \leq 2.781; x_{18} \leq 14.68; x_{19} \leq 7.725;$$

$$x_{20} \leq 29.854; x_{21} \leq 178.825; x_{22} \leq 129.466; x_{23} \leq 20.539; x_{24} \leq 2.69;$$

$$x_{25} \leq 201.012; x_{26} \leq 50.524; x_{27} \leq 20.046; x_{28} \leq 19.127; x_{29} \leq 22.835;$$

$$x_{30} \leq 22.303; x_{31} \leq 176.333; x_{32} \leq 354.629; x_{33} \leq 455.466; x_{34} \leq 326.989;$$

$$x_{35} \leq 44.604; x_{36} \leq 109.591; x_{37} \leq 159.676; x_{38} \leq 129.182; x_{39} \leq 137.77;$$

$$x_{40} \leq 5.803$$

$$x_1 \geq 0; x_2 \geq 0; x_3 \geq 0; x_4 \geq 0; x_5 \geq 0; x_6 \geq 0; x_7 \geq 0; x_8 \geq 0; x_9 \geq 0; x_{10} \geq 0;$$

$$x_{11} \geq 0; x_{12} \geq 0; x_{13} \geq 0; x_{14} \geq 0; x_{15} \geq 0; x_{16} \geq 0; x_{17} \geq 0; x_{18} \geq 0; x_{19} \geq 0;$$

$$x_{20} \geq 0; x_{21} \geq 0; x_{22} \geq 0; x_{23} \geq 0; x_{24} \geq 0; x_{25} \geq 0; x_{26} \geq 0; x_{27} \geq 0; x_{28} \geq 0;$$

$$x_{29} \geq 0; x_{30} \geq 0; x_{31} \geq 0; x_{32} \geq 0; x_{33} \geq 0; x_{34} \geq 0; x_{35} \geq 0; x_{36} \geq 0; x_{37} \geq 0;$$

$$x_{38} \geq 0; x_{39} \geq 0; x_{40} \geq 0$$

假設各別污染物物 (TSP、SO_x、NO_x與NMHC) 在五種空品改善情形下，各行業別污染量減量噸數如下

編號	行業別	TSP	SO _x	NO _x	NMHC
1	化學原材料製造業	x1	x11	x21	x31
2	染整業	x2	x12	x22	x32
3	未分類其他電子零組件製造業	x3	x13	x23	x33
4	汽車零件製造業	x4	x14	x24	x34
5	塑膠原料製造業	x5	x15	x25	x35
6	人造纖維加工絲業	x6	x16	x26	x36
7	塗料、染料與顏料製造業	x7	x17	x27	x37
8	未分類其他化學製品製造業	x8	x18	x28	x38
9	其他塑膠製品製造業	x9	x19	x29	x39
10	未分類其他非金屬礦物製品製造業	x10	x20	x30	x40

污染量改善 5%情形

目標函數

Min

$$45358.2288x_1+68162.728x_2+68162.728x_3+68162.728x_4+25920.256x_5+68162.728x_6+68162.728x_7+68162.728x_8+25920.256x_9+4202713.1928x_{10}+59865.1392x_{11}+32087.4128x_{12}+68758.5832x_{13}+94934.0472x_{14}+110309.7744x_{15}+32087.4128x_{16}+94934.0472x_{17}+94934.0472x_{18}+110309.7744x_{19}+40004.4088x_{20}+55159.3256x_{21}+32328.1959999999x_{22}+53598.1184x_{23}+70843.5216x_{24}+70843.5216x_{25}+32328.1959999999x_{26}+70843.5216x_{27}+233432.1x_{28}+70843.5216x_{29}+33688.5656x_{30}+14346.0184x_{31}+30598.3296x_{32}+67877.5608x_{33}+49601.3392x_{34}+14577.9248x_{35}+30598.3296x_{36}+49601.3392x_{37}+328392.7776x_{38}+14577.9248x_{39}+42682.9832x_{40}$$

限制式

$$x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_7+x_8+x_9+x_{10} \geq 216.093 * 0.05$$

$$x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{20} \geq 569.661 * 0.05$$

$$x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{26}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{30} \geq 962.153 * 0.05$$

$$x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{35}+x_{36}+x_{37}+x_{38}+x_{39}+x_{40} \geq 2301.084 * 0.05$$

$$x_1 \leq 26.801; x_2 \leq 9.023; x_3 \leq 2.825; x_4 \leq 0.137; x_5 \leq 16.153; x_6 \leq 4.448; x_7 \leq 1.542;$$

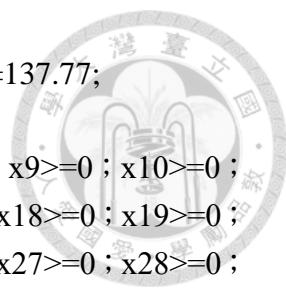
$$x_8 \leq 11.242; x_9 \leq 0.768; x_{10} \leq 79.18; x_{11} \leq 269.327; x_{12} \leq 46.33; x_{13} \leq 16.722;$$

$$x_{14} \leq 0.409; x_{15} \leq 60.644; x_{16} \leq 59.662; x_{17} \leq 2.781; x_{18} \leq 14.68; x_{19} \leq 7.725;$$

$$x_{20} \leq 29.854; x_{21} \leq 178.825; x_{22} \leq 129.466; x_{23} \leq 20.539; x_{24} \leq 2.69;$$

$$x_{25} \leq 201.012; x_{26} \leq 50.524; x_{27} \leq 20.046; x_{28} \leq 19.127; x_{29} \leq 22.835;$$

$$x_{30} \leq 22.303; x_{31} \leq 176.333; x_{32} \leq 354.629; x_{33} \leq 455.466; x_{34} \leq 326.989;$$



$x_{35} \leq 44.604$; $x_{36} \leq 109.591$; $x_{37} \leq 159.676$; $x_{38} \leq 129.182$; $x_{39} \leq 137.77$;
 $x_{40} \leq 5.803$
 $x_1 \geq 0$; $x_2 \geq 0$; $x_3 \geq 0$; $x_4 \geq 0$; $x_5 \geq 0$; $x_6 \geq 0$; $x_7 \geq 0$; $x_8 \geq 0$; $x_9 \geq 0$; $x_{10} \geq 0$;
 $x_{11} \geq 0$; $x_{12} \geq 0$; $x_{13} \geq 0$; $x_{14} \geq 0$; $x_{15} \geq 0$; $x_{16} \geq 0$; $x_{17} \geq 0$; $x_{18} \geq 0$; $x_{19} \geq 0$;
 $x_{20} \geq 0$; $x_{21} \geq 0$; $x_{22} \geq 0$; $x_{23} \geq 0$; $x_{24} \geq 0$; $x_{25} \geq 0$; $x_{26} \geq 0$; $x_{27} \geq 0$; $x_{28} \geq 0$;
 $x_{29} \geq 0$; $x_{30} \geq 0$; $x_{31} \geq 0$; $x_{32} \geq 0$; $x_{33} \geq 0$; $x_{34} \geq 0$; $x_{35} \geq 0$; $x_{36} \geq 0$; $x_{37} \geq 0$;
 $x_{38} \geq 0$; $x_{39} \geq 0$; $x_{40} \geq 0$

污染物改善 10%情形

目標函數

Min

$45358.2288x_1 + 68162.728x_2 + 68162.728x_3 + 68162.728x_4 + 25920.256x_5 + 68162.728x_6 +$
 $68162.728x_7 + 68162.728x_8 + 25920.256x_9 + 4202713.1928x_{10} + 59865.1392x_{11} + 32087.4$
 $128x_{12} + 68758.5832x_{13} + 94934.0472x_{14} + 110309.7744x_{15} + 32087.4128x_{16} + 94934.04$
 $72x_{17} + 94934.0472x_{18} + 110309.7744x_{19} + 40004.4088x_{20} + 55159.3256x_{21} + 32328.195$
 $9999999x_{22} + 53598.1184x_{23} + 70843.5216x_{24} + 70843.5216x_{25} + 32328.1959999999x_{26}$
 $+ 70843.5216x_{27} + 233432.1x_{28} + 70843.5216x_{29} + 33688.5656x_{30} + 14346.0184x_{31} + 305$
 $98.3296x_{32} + 67877.5608x_{33} + 49601.3392x_{34} + 14577.9248x_{35} + 30598.3296x_{36} + 49601.$
 $3392x_{37} + 328392.7776x_{38} + 14577.9248x_{39} + 42682.9832x_{40}$

限制式

$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} \geq 216.093 * 0.1$
 $x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} \geq 569.661 * 0.1$
 $x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{30} \geq 962.153 * 0.1$
 $x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} + x_{39} + x_{40} \geq 2301.084 * 0.1$
 $x_1 \leq 26.801$; $x_2 \leq 9.023$; $x_3 \leq 2.825$; $x_4 \leq 0.137$; $x_5 \leq 16.153$; $x_6 \leq 4.448$; $x_7 \leq 1.542$;
 $x_8 \leq 11.242$; $x_9 \leq 0.768$; $x_{10} \leq 79.18$; $x_{11} \leq 269.327$; $x_{12} \leq 46.33$; $x_{13} \leq 16.722$;
 $x_{14} \leq 0.409$; $x_{15} \leq 60.644$; $x_{16} \leq 59.662$; $x_{17} \leq 2.781$; $x_{18} \leq 14.68$; $x_{19} \leq 7.725$;
 $x_{20} \leq 29.854$; $x_{21} \leq 178.825$; $x_{22} \leq 129.466$; $x_{23} \leq 20.539$; $x_{24} \leq 2.69$;
 $x_{25} \leq 201.012$; $x_{26} \leq 50.524$; $x_{27} \leq 20.046$; $x_{28} \leq 19.127$; $x_{29} \leq 22.835$;
 $x_{30} \leq 22.303$; $x_{31} \leq 176.333$; $x_{32} \leq 354.629$; $x_{33} \leq 455.466$; $x_{34} \leq 326.989$;
 $x_{35} \leq 44.604$; $x_{36} \leq 109.591$; $x_{37} \leq 159.676$; $x_{38} \leq 129.182$; $x_{39} \leq 137.77$;
 $x_{40} \leq 5.803$
 $x_1 \geq 0$; $x_2 \geq 0$; $x_3 \geq 0$; $x_4 \geq 0$; $x_5 \geq 0$; $x_6 \geq 0$; $x_7 \geq 0$; $x_8 \geq 0$; $x_9 \geq 0$; $x_{10} \geq 0$;
 $x_{11} \geq 0$; $x_{12} \geq 0$; $x_{13} \geq 0$; $x_{14} \geq 0$; $x_{15} \geq 0$; $x_{16} \geq 0$; $x_{17} \geq 0$; $x_{18} \geq 0$; $x_{19} \geq 0$;
 $x_{20} \geq 0$; $x_{21} \geq 0$; $x_{22} \geq 0$; $x_{23} \geq 0$; $x_{24} \geq 0$; $x_{25} \geq 0$; $x_{26} \geq 0$; $x_{27} \geq 0$; $x_{28} \geq 0$;
 $x_{29} \geq 0$; $x_{30} \geq 0$; $x_{31} \geq 0$; $x_{32} \geq 0$; $x_{33} \geq 0$; $x_{34} \geq 0$; $x_{35} \geq 0$; $x_{36} \geq 0$; $x_{37} \geq 0$;
 $x_{38} \geq 0$; $x_{39} \geq 0$; $x_{40} \geq 0$



污染物改善 15%情形

目標函數

Min

$$45358.2288x_1+68162.728x_2+68162.728x_3+68162.728x_4+25920.256x_5+68162.728x_6+68162.728x_7+68162.728x_8+25920.256x_9+4202713.1928x_{10}+59865.1392x_{11}+32087.4128x_{12}+68758.5832x_{13}+94934.0472x_{14}+110309.7744x_{15}+32087.4128x_{16}+94934.0472x_{17}+94934.0472x_{18}+110309.7744x_{19}+40004.4088x_{20}+55159.3256x_{21}+32328.1959999999x_{22}+53598.1184x_{23}+70843.5216x_{24}+70843.5216x_{25}+32328.1959999999x_{26}+70843.5216x_{27}+233432.1x_{28}+70843.5216x_{29}+33688.5656x_{30}+14346.0184x_{31}+30598.3296x_{32}+67877.5608x_{33}+49601.3392x_{34}+14577.9248x_{35}+30598.3296x_{36}+49601.3392x_{37}+328392.7776x_{38}+14577.9248x_{39}+42682.9832x_{40}$$

限制式

$$\begin{aligned}x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_7+x_8+x_9+x_{10} &\geq 216.093*0.15 \\x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{20} &\geq 569.661*0.15 \\x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{26}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{30} &\geq 962.153*0.15 \\x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{35}+x_{36}+x_{37}+x_{38}+x_{39}+x_{40} &\geq 2301.084*0.15 \\x_1 &\leq 26.801; x_2 \leq 9.023; x_3 \leq 2.825; x_4 \leq 0.137; x_5 \leq 16.153; x_6 \leq 4.448; x_7 \leq 1.542; \\x_8 &\leq 11.242; x_9 \leq 0.768; x_{10} \leq 79.18; x_{11} \leq 269.327; x_{12} \leq 46.33; x_{13} \leq 16.722; \\x_{14} &\leq 0.409; x_{15} \leq 60.644; x_{16} \leq 59.662; x_{17} \leq 2.781; x_{18} \leq 14.68; x_{19} \leq 7.725; \\x_{20} &\leq 29.854; x_{21} \leq 178.825; x_{22} \leq 129.466; x_{23} \leq 20.539; x_{24} \leq 2.69; \\x_{25} &\leq 201.012; x_{26} \leq 50.524; x_{27} \leq 20.046; x_{28} \leq 19.127; x_{29} \leq 22.835; \\x_{30} &\leq 22.303; x_{31} \leq 176.333; x_{32} \leq 354.629; x_{33} \leq 455.466; x_{34} \leq 326.989; \\x_{35} &\leq 44.604; x_{36} \leq 109.591; x_{37} \leq 159.676; x_{38} \leq 129.182; x_{39} \leq 137.77; \\x_{40} &\leq 5.803 \\x_1 &\geq 0; x_2 \geq 0; x_3 \geq 0; x_4 \geq 0; x_5 \geq 0; x_6 \geq 0; x_7 \geq 0; x_8 \geq 0; x_9 \geq 0; x_{10} \geq 0; \\x_{11} &\geq 0; x_{12} \geq 0; x_{13} \geq 0; x_{14} \geq 0; x_{15} \geq 0; x_{16} \geq 0; x_{17} \geq 0; x_{18} \geq 0; x_{19} \geq 0; \\x_{20} &\geq 0; x_{21} \geq 0; x_{22} \geq 0; x_{23} \geq 0; x_{24} \geq 0; x_{25} \geq 0; x_{26} \geq 0; x_{27} \geq 0; x_{28} \geq 0; \\x_{29} &\geq 0; x_{30} \geq 0; x_{31} \geq 0; x_{32} \geq 0; x_{33} \geq 0; x_{34} \geq 0; x_{35} \geq 0; x_{36} \geq 0; x_{37} \geq 0; \\x_{38} &\geq 0; x_{39} \geq 0; x_{40} \geq 0\end{aligned}$$



污染物改善 20%情形

目標函數

Min

$$45358.2288x_1+68162.728x_2+68162.728x_3+68162.728x_4+25920.256x_5+68162.728x_6+68162.728x_7+68162.728x_8+25920.256x_9+4202713.1928x_{10}+59865.1392x_{11}+32087.4128x_{12}+68758.5832x_{13}+94934.0472x_{14}+110309.7744x_{15}+32087.4128x_{16}+94934.0472x_{17}+94934.0472x_{18}+110309.7744x_{19}+40004.4088x_{20}+55159.3256x_{21}+32328.1959999999x_{22}+53598.1184x_{23}+70843.5216x_{24}+70843.5216x_{25}+32328.1959999999x_{26}+70843.5216x_{27}+233432.1x_{28}+70843.5216x_{29}+33688.5656x_{30}+14346.0184x_{31}+30598.3296x_{32}+67877.5608x_{33}+49601.3392x_{34}+14577.9248x_{35}+30598.3296x_{36}+49601.3392x_{37}+328392.7776x_{38}+14577.9248x_{39}+42682.9832x_{40}$$

限制式

$$x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_7+x_8+x_9+x_{10} \geq 216.093 * 0.2$$

$$x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{20} \geq 569.661 * 0.2$$

$$x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{26}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{30} \geq 962.153 * 0.2$$

$$x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{35}+x_{36}+x_{37}+x_{38}+x_{39}+x_{40} \geq 2301.084 * 0.2$$

$$x_1 \leq 26.801; x_2 \leq 9.023; x_3 \leq 2.825; x_4 \leq 0.137; x_5 \leq 16.153; x_6 \leq 4.448; x_7 \leq 1.542;$$

$$x_8 \leq 11.242; x_9 \leq 0.768; x_{10} \leq 79.18; x_{11} \leq 269.327; x_{12} \leq 46.33; x_{13} \leq 16.722;$$

$$x_{14} \leq 0.409; x_{15} \leq 60.644; x_{16} \leq 59.662; x_{17} \leq 2.781; x_{18} \leq 14.68; x_{19} \leq 7.725;$$

$$x_{20} \leq 29.854; x_{21} \leq 178.825; x_{22} \leq 129.466; x_{23} \leq 20.539; x_{24} \leq 2.69;$$

$$x_{25} \leq 201.012; x_{26} \leq 50.524; x_{27} \leq 20.046; x_{28} \leq 19.127; x_{29} \leq 22.835;$$

$$x_{30} \leq 22.303; x_{31} \leq 176.333; x_{32} \leq 354.629; x_{33} \leq 455.466; x_{34} \leq 326.989;$$

$$x_{35} \leq 44.604; x_{36} \leq 109.591; x_{37} \leq 159.676; x_{38} \leq 129.182; x_{39} \leq 137.77;$$

$$x_{40} \leq 5.803$$

$$x_1 \geq 0; x_2 \geq 0; x_3 \geq 0; x_4 \geq 0; x_5 \geq 0; x_6 \geq 0; x_7 \geq 0; x_8 \geq 0; x_9 \geq 0; x_{10} \geq 0;$$

$$x_{11} \geq 0; x_{12} \geq 0; x_{13} \geq 0; x_{14} \geq 0; x_{15} \geq 0; x_{16} \geq 0; x_{17} \geq 0; x_{18} \geq 0; x_{19} \geq 0;$$

$$x_{20} \geq 0; x_{21} \geq 0; x_{22} \geq 0; x_{23} \geq 0; x_{24} \geq 0; x_{25} \geq 0; x_{26} \geq 0; x_{27} \geq 0; x_{28} \geq 0;$$

$$x_{29} \geq 0; x_{30} \geq 0; x_{31} \geq 0; x_{32} \geq 0; x_{33} \geq 0; x_{34} \geq 0; x_{35} \geq 0; x_{36} \geq 0; x_{37} \geq 0;$$

$$x_{38} \geq 0; x_{39} \geq 0; x_{40} \geq 0$$



污染物改善 25%情形

目標函數

Min

$$45358.2288x_1+68162.728x_2+68162.728x_3+68162.728x_4+25920.256x_5+68162.728x_6+68162.728x_7+68162.728x_8+25920.256x_9+4202713.1928x_{10}+59865.1392x_{11}+32087.4128x_{12}+68758.5832x_{13}+94934.0472x_{14}+110309.7744x_{15}+32087.4128x_{16}+94934.0472x_{17}+94934.0472x_{18}+110309.7744x_{19}+40004.4088x_{20}+55159.3256x_{21}+32328.1959999999x_{22}+53598.1184x_{23}+70843.5216x_{24}+70843.5216x_{25}+32328.1959999999x_{26}+70843.5216x_{27}+233432.1x_{28}+70843.5216x_{29}+33688.5656x_{30}+14346.0184x_{31}+30598.3296x_{32}+67877.5608x_{33}+49601.3392x_{34}+14577.9248x_{35}+30598.3296x_{36}+49601.3392x_{37}+328392.7776x_{38}+14577.9248x_{39}+42682.9832x_{40}$$

限制式

$$x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_7+x_8+x_9+x_{10} \geq 216.093 * 0.25$$

$$x_{11}+x_{12}+x_{13}+x_{14}+x_{15}+x_{16}+x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{20} \geq 569.661 * 0.25$$

$$x_{21}+x_{22}+x_{23}+x_{24}+x_{25}+x_{26}+x_{27}+x_{28}+x_{29}+x_{30} \geq 962.153 * 0.25$$

$$x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{35}+x_{36}+x_{37}+x_{38}+x_{39}+x_{40} \geq 2301.084 * 0.25$$

$$x_1 \leq 26.801; x_2 \leq 9.023; x_3 \leq 2.825; x_4 \leq 0.137; x_5 \leq 16.153; x_6 \leq 4.448; x_7 \leq 1.542;$$

$$x_8 \leq 11.242; x_9 \leq 0.768; x_{10} \leq 79.18; x_{11} \leq 269.327; x_{12} \leq 46.33; x_{13} \leq 16.722;$$

$$x_{14} \leq 0.409; x_{15} \leq 60.644; x_{16} \leq 59.662; x_{17} \leq 2.781; x_{18} \leq 14.68; x_{19} \leq 7.725;$$

$$x_{20} \leq 29.854; x_{21} \leq 178.825; x_{22} \leq 129.466; x_{23} \leq 20.539; x_{24} \leq 2.69;$$

$$x_{25} \leq 201.012; x_{26} \leq 50.524; x_{27} \leq 20.046; x_{28} \leq 19.127; x_{29} \leq 22.835;$$

$$x_{30} \leq 22.303; x_{31} \leq 176.333; x_{32} \leq 354.629; x_{33} \leq 455.466; x_{34} \leq 326.989;$$

$$x_{35} \leq 44.604; x_{36} \leq 109.591; x_{37} \leq 159.676; x_{38} \leq 129.182; x_{39} \leq 137.77;$$

$$x_{40} \leq 5.803$$

$$x_1 \geq 0; x_2 \geq 0; x_3 \geq 0; x_4 \geq 0; x_5 \geq 0; x_6 \geq 0; x_7 \geq 0; x_8 \geq 0; x_9 \geq 0; x_{10} \geq 0;$$

$$x_{11} \geq 0; x_{12} \geq 0; x_{13} \geq 0; x_{14} \geq 0; x_{15} \geq 0; x_{16} \geq 0; x_{17} \geq 0; x_{18} \geq 0; x_{19} \geq 0;$$

$$x_{20} \geq 0; x_{21} \geq 0; x_{22} \geq 0; x_{23} \geq 0; x_{24} \geq 0; x_{25} \geq 0; x_{26} \geq 0; x_{27} \geq 0; x_{28} \geq 0;$$

$$x_{29} \geq 0; x_{30} \geq 0; x_{31} \geq 0; x_{32} \geq 0; x_{33} \geq 0; x_{34} \geq 0; x_{35} \geq 0; x_{36} \geq 0; x_{37} \geq 0;$$

$$x_{38} \geq 0; x_{39} \geq 0; x_{40} \geq 0$$