

工業排氣粒狀污染物減量控制案例

司洪濤

台灣產業服務基金會專案副理

摘 要

本文彙集化工業、磚窯業、鋼鐵業、染整業及磁磚業等 5 個工業排氣污染改善輔導成功案例，案例內容涵蓋逸散性廢氣收集效率改善、粒狀污染物處理效率改善、氣狀污染物處理效率改善（含廢氣處理流程規劃改善）、白煙/不透光率處理效率改善、袋濾集塵機操作維護及節能改善等。希望透過各案例工廠廢氣污染防治缺失與改善經過實例經驗，提供給產業界於廢氣處理時之參考，促使產業有效降低操作成本；另希環境工程業者於設計時，參考了解已發生之設計缺失，以避免同樣缺失再發生。

關鍵字：化工業、磚窯業、鋼鐵業、染整業、磁磚業、袋濾集塵機、廢氣收集、粒狀污染物控制

一、前 言

近幾十年來於國內產業發展過程中，產業界配合環保法規的要求，在廢氣污染防治方面大多已設置相關處理設施，惟環保要求日趨嚴格，產業污染防治投資成本亦隨之提高，故有必要蒐集廢氣污染防治相關改善成功案例，提供產業界及環保工程業參考應用，使工廠不增加廢氣污染防治設施前提下，能據以提升現有廢氣污染防治設施之處理功能，達到環保設施最佳化，減少廠商操作及處理成本，以進一步降低產業廢氣污染防治投資成本，落實廠內污廢氣污染防治工作，達成經濟與環保雙贏及有效提昇產業競爭力之目的。

本文共彙整化工業、磚窯業、鋼鐵業、染整業及磁磚業等 5 個案例，每個案例以「案例背景」、「處理流程與設計條件」、「單元設計缺失」、「改善方案與效益」等 4 部份進行介紹；案例內容涵蓋逸散性廢氣收集效率改善、粒狀污染物處理效率改善、氣狀污染物處理效率改善（含廢氣處理流程規劃改善）、白煙/不透光率



處理效率改善、袋濾集塵機操作維護改善等，相關輔導改善成功之工程實務經驗，依序說明如下。

二、逸散性廢氣收集效率改善成功案例^(1,8,9)

(一) 案例背景

案例工廠係從事廢油之回收再利用，主要產品為燃料油添加劑，產能 1,000 公噸/月。廢油於加熱脫水槽去除油品中之水分，以離心過濾機去除大顆粒雜質，再經細過濾去除細粒徑之雜質，即為燃油添加劑成品，該產品摻配於重油中，可供工業鍋爐使用。燃料油添加劑生產流程如圖 1。廢氣主要來源為加熱脫水槽及離心過濾作業區排出含 VOC 臭味之廢氣，其中離心過濾作業區逸散 VOC 臭味，廠內作業員工抱怨不已。

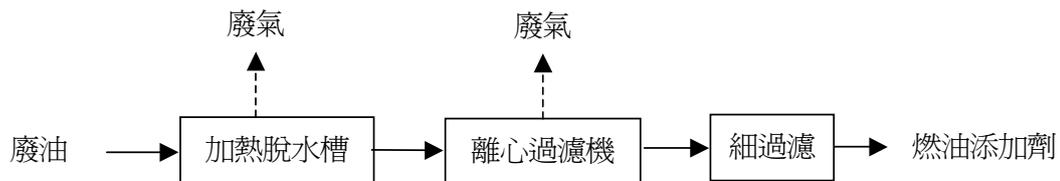


圖 1 燃料油添加劑生產流程

(二) 廢氣處理流程與設計條件

1. 廢氣處理流程

廢潤滑油離心過濾作業區逸散 VOC 廢氣之收集處理流程如圖 2。

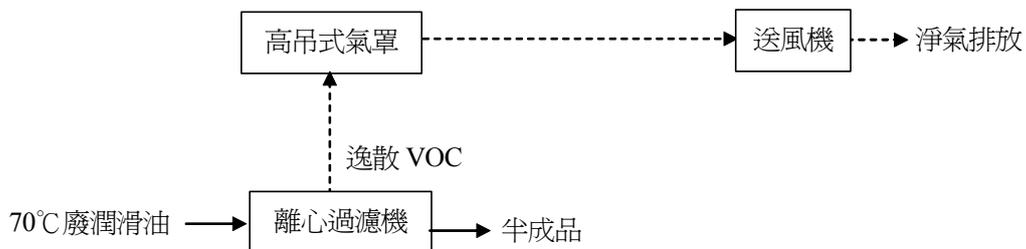


圖 2 離心過濾機逸散 VOC 廢氣之收集處理流程

2.設計條件

案例工廠在離心過濾機及過濾液貯存槽設置高吊式集氣罩，收集逸散之 VOC，最後利用送風機直接排放到廠房外。

(三) 單元設計缺失

1. 案例工廠經加熱脫水後之廢潤滑油，利用離心過濾機將廢油中之固形物或比重較高之油泥分離出來，因該油品尚有 70°C 之餘溫，故離心過濾機作業區，於此溫度下操作，開放的油槽表面逸散 VOC 臭味，但未設置集氣罩，廢潤滑油離心過濾作業區如圖 3。
2. 案例工廠為改善作業環境空氣品質，於離心過濾機及過濾液貯存槽上方設置高吊式集氣罩，但高吊式集氣罩離 VOC 逸散表面過高，使得集氣效果不彰；案例工廠遂於氣罩邊緣貼上透明塑膠片，將作業區圍封，但實際作業時，透明塑膠片影響員工之正常作業（如圖 4），而經常被打開，故作業現場仍有 VOC 油氣逸散。



圖 3 未設置集氣罩之離心過濾作業區

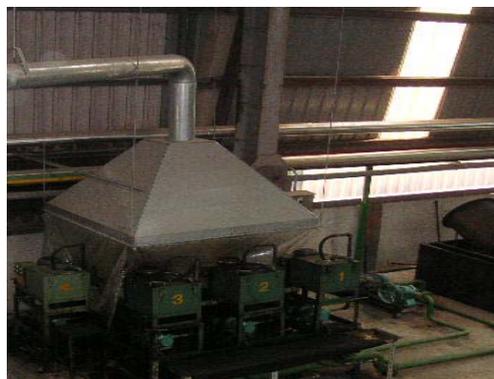


圖 4 已設置集氣罩之離心過濾作業區



(四) 改善方案及效益

1. 案例工廠為徹底杜絕廢油過濾作業區，由離心過濾機及濾液開放油槽表面逸散 VOC 臭味，影響廠內空氣品質，乃於該作業區上方設置高吊式局部排氣氣罩抽引逸散廢氣，並將整體作業區域予以圍封，使得臭味侷限在圍封區域之空間，如圖 5；並將該區域抽氣形成微負壓狀態，避免 VOC 臭味逸散至工廠其他區域，大幅改善作業環境空氣品質。



圖 5 離心過濾作業區整體圍封

2. 案例工廠為避免 VOC 排放至廠房外，乃投資增設一直燃式廢氣燃燒裝置處理廠內臭味廢氣。除將該圍封區域抽氣維持微負壓外，並將抽引氣體與高吊式氣罩的 VOC 臭味一併送至直燃式廢氣燃燒裝置處理。
3. 案例工廠完成改善後，工廠員工未再抱怨作業環境空氣品質不佳，且工廠周界之臭味濃度檢測結果為 12，遠低於周界臭味標準 50。改善後，離心過濾作業區 VOC 臭味逸散收集處理流程如圖 6。

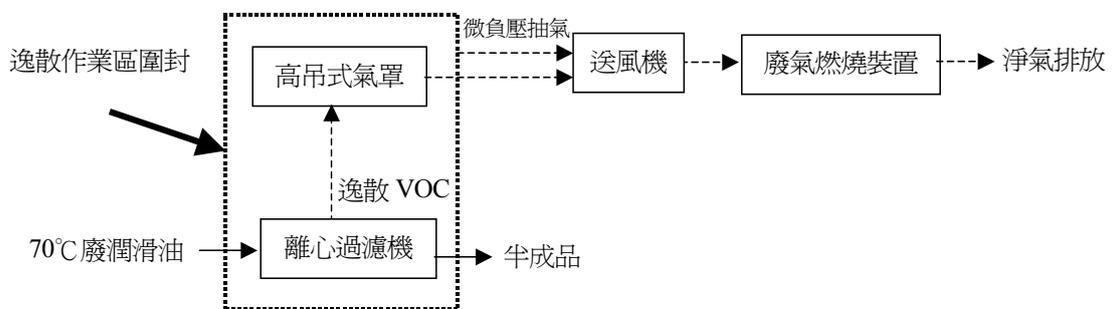


圖 6 改善後離心過濾機 VOC 臭味逸散收集處理流程

三、粒狀污染物處理效率改善成功案例^(3,4,5)

(一) 案例背景

案例工廠為一磚窯業，主要產品為紅磚，產量為 240 萬塊/月。紅磚製造流程包含製土、成形、乾燥及燒成程序，如圖 7。燒成程序是在長 120m 的隧道窯內完成，此窯分為預熱帶、燒成帶及冷卻帶 3 段；磚坯置放在窯車上，從預熱帶入口一輛緊接一輛地推進窯內，經預熱帶漸次加熱，達到中央燒成帶以 950~980°C 高溫燒成後，再經冷卻帶漸次冷卻後出窯；窯車行進速度平均每 40 分鐘前進一個窯車的距離。隧道窯因使用生煤及重油為燃料，而排放廢氣主要空氣污染物為粒狀物、硫氧化物、氮氧化物及氟化物；隧道窯廢氣經處理後，煙囪不透光率及粒狀物濃度均超過固定污染源空氣污染物排放標準。

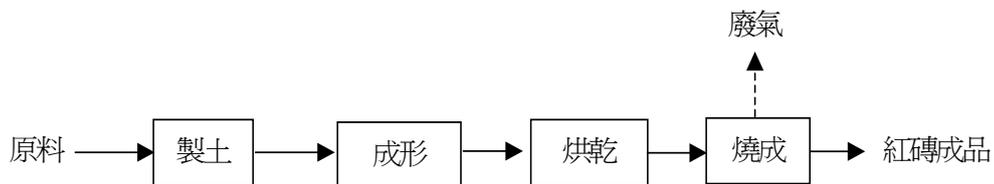


圖 7 紅磚製造流程



圖 8 置放於窯車上之紅磚

(二) 處理流程與設計條件

1. 處理流程

隧道窯廢氣處理流程如圖 9 所示。

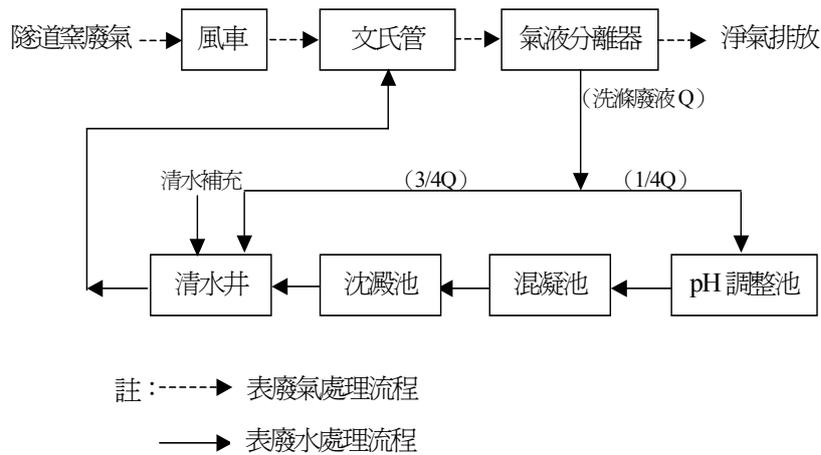


圖 9 隧道窯廢氣處理流程

2.設計條件

工廠設置 1 套文氏洗滌塔處理隧道窯排出之廢氣。文氏洗滌塔係由 1 支矩形文氏管及旋風集塵機所組合而成。廢氣設計處理量為 $350\text{Nm}^3/\text{min}$ ，文氏管喉部設計為 300mm 寬 \times $1,080\text{mm}$ 長的矩形斷面，氣液比為 $1\text{L}/\text{m}^3$ ，操作壓降為 350mmAq ，擴張段出口角度為 60 度，氣液分離器則採用旋風集塵機。洗滌廢液有 $1/4$ 導入廢水處理廠進行物化混凝處理，其餘 $3/4$ 則直接導入清水井與前述物化混凝澄清液混合後循環再利用。

(三) 單元設計缺失

1. 廢氣直接以 1 個彎管進入文氏管，未設置氣流分佈裝置，使得文氏管喉部氣流分佈不均勻，高速廢氣之區域未與洗滌液接觸即穿透文氏管喉部。
2. 文氏管入口處之洗滌液噴注點間距為 150mm ，噴注點間距過寬，洗滌液在文氏管喉部分佈不均，又噴入之水量不足，液氣比僅為 $1\text{L}/\text{m}^3$ ，洗滌液無法在喉部與廢氣充分接觸。
3. 文氏管喉部寬度設計為 300mm ，設計值太寬，喉部中心區域形成純氣流帶之空洞區，氣液無法接觸而降低處理效率。
4. 文氏洗滌塔之設計操作壓損為 350mmAq ，但實際運作之操作壓損僅為

230mmAq；依據磚窯廠隧道窯廢氣之粒徑分佈評估，對粒狀物之去除效率僅達 45%，無法符合固定污染源空氣污染物排放標準。案例工廠改善前空氣污染防制系統之排氣檢測結果如表 1。

表 1 改善前空氣污染防制系統之排氣檢測結果

污染物項目	污染物濃度	單位
排氣量	529	Nm ³ /min
粒狀物	188.7	mg/Nm ³
硫氧化物	147	ppm
氮氧化物	27	ppm
氟化物	3.8	mg/Nm ³
不透光率	> 30	%

(四) 改善方案及效益

1. 既有文氏管喉部寬度為 300mm，此值太大。案例工廠在喉部內焊接 2 片平行的鋼板，因此喉部寬度縮為 100mm，改善後文氏管喉部尺寸如圖 10。
2. 既有文氏洗滌塔之泵浦僅提供 1L/m³ 的水量，案例工廠另外增設 1 組同型泵浦，在喉部噴入洗滌液，將液氣比提高至 2L/m³，改善後之文氏管泵浦注水點如圖 11。

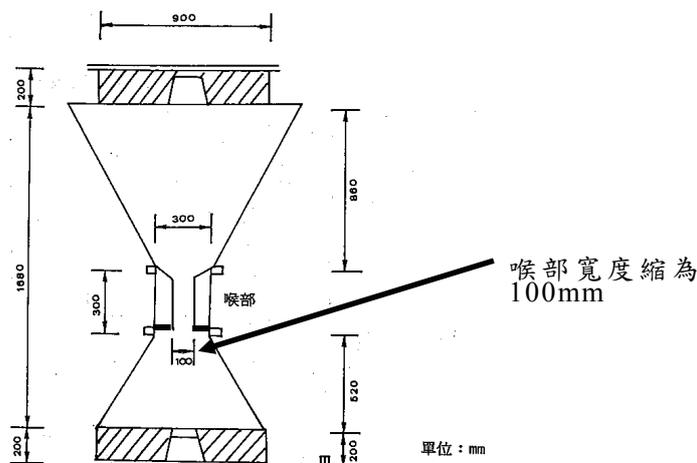


圖 10 改善後文氏管喉部尺寸

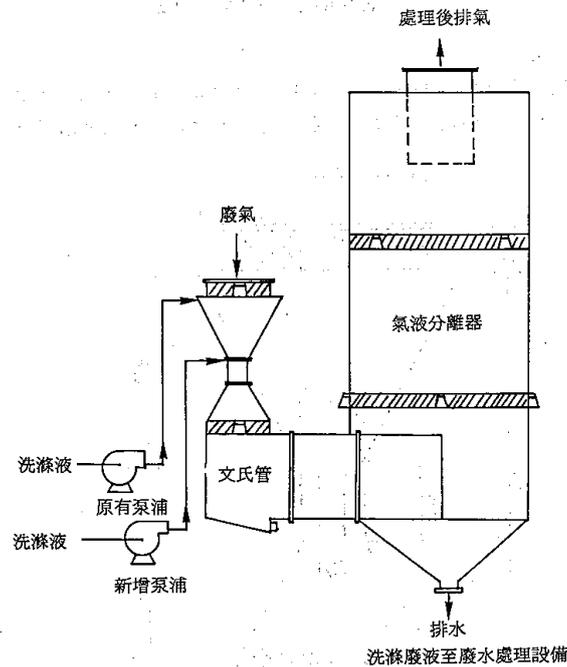


圖 11 改善後之文氏管泵浦注水點

3. 既有文氏管洗滌液僅由漸縮部上方注入且孔距為 150mm，案例工廠於文氏管喉部增加注水孔，每個小孔孔徑為 10mm，孔距為 70mm，改善後文氏管進水分佈狀況如圖 12。
4. 因文氏管喉部縮小，使得文氏管壓損提升，為克服系統壓降同時維持較高的抽引風量，案例工廠提高風車馬達的轉速，維持文氏管操作壓損為 500mmAq，確保處理後粒狀物濃度在 60 mg/Nm^3 以下；因系統壓損增高之故，改善後之送風機排氣量由 $529 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 降低至 $446 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 。

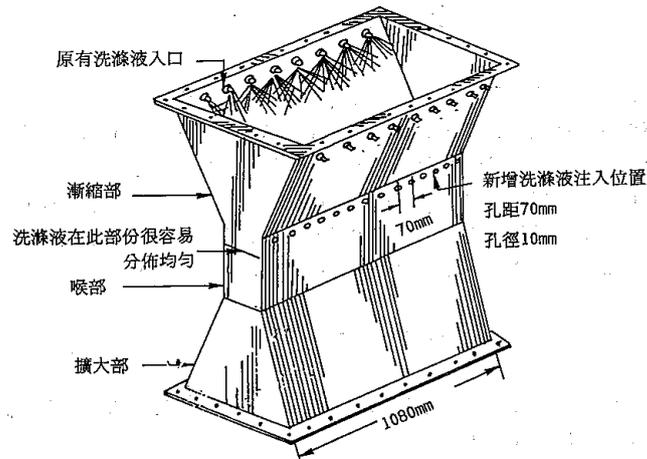


圖 12 改善後文氏管進水分佈狀況

5. 改善後之排氣粒狀污染物濃度為 44.1 mg/Nm^3 ，硫氧化物濃度為 50 ppm ，氮氧化物濃度為 27 ppm ，氟化物濃度為 1.6 mg/Nm^3 及不透光率降至 10% 以下，均符合固定污染源空氣污染物排放標準。改善前後廢氣檢測結果如表 2。

表 2 改善後空氣污染防制系統之排氣檢測結果

污染物項目	污染物濃度	單位
排氣量	446	Nm^3/min
粒狀物	44.1	mg/Nm^3
硫氧化物	50	ppm
氮氧化物	27	ppm
氟化物	1.6	mg/Nm^3
不透光率	< 10	%

四、氣狀污染物處理效率改善成功案例⁽²⁾

(一) 案例背景

案例工廠從事不銹鋼鋼材之酸洗代工。廠內酸氣逸散源有混酸槽、酸洗槽及鹽浴池 3 種。其中，混酸槽廢氣主要含有氟化氫 (HF) 及氮氧化



物 (NO_x，以 NO₂ 爲主)，廢氣濃度：HF= 1,000ppm；NO₂ =600ppm；酸洗槽廢氣主要含有硫酸 (H₂SO₄) 及硫化氫 (H₂S)，廢氣濃度：H₂SO₄ =1,000ppm；鹽浴池廢氣成分含有六價鉻 (Cr⁶⁺) 氣體。案例工廠將上述酸氣逸散源所收集之廢氣，使用 3 座串聯的濕式洗滌塔處理，但 NO_x 去除效率不高，排氣中尚有 NO_x 100ppm，該 NO_x 主要爲含有 NO₂ 黃色氣體成分，故煙囪排氣含有濃濃的黃色煙霧。

(二) 處理流程與設計條件

1.處理流程

案例廠計有 3 座廢氣洗滌塔 (編號 B36、B33 及 B133) 串聯使用，混酸槽廢氣量 16,000Nm³/hr (簡稱 A 廢氣) 進入 B36 填充洗滌塔處理後，再進入 B33 填充洗滌塔進一步處理；酸洗槽廢氣量 16,000Nm³/hr (簡稱 B 廢氣) 進入 B33 填充洗滌塔處理；混酸槽廢氣量 6,000Nm³/hr (簡稱 C 廢氣)，直接納入 B33 填充洗滌塔處理，再一同進入 B133 填充洗滌塔進一步處理；另將 35,000 Nm³/hr 的鹽浴池廢氣 (簡稱 D 廢氣) 直接排入 B133 填充洗滌塔，最後由煙囪排放至大氣。廢氣處理流程如圖 13 所示。

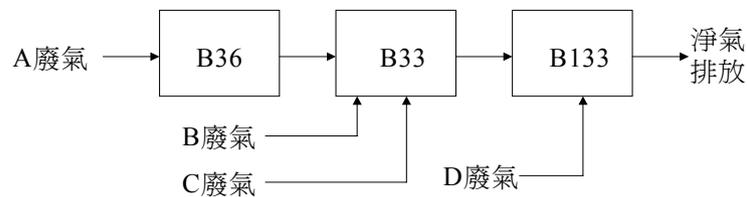


圖 13 廢氣處理流程

2.設計條件

3 座串聯之濕式洗滌塔設計條件如下：

(1)B36 填充洗滌塔

洗滌塔直徑=1.8m

填充高度=3.6m

填充物型式：球型 Tri-Pack；尺寸=2 in

(2)B33 填充洗滌塔

洗滌塔直徑=2.6m

填充高度=1.5m

填充物型式：球型 Tri-Pack；尺寸=2 in

(3)B133 填充洗滌塔

洗滌塔直徑=5.0m

填充高度=3.5m

填充物型式：球型 Tri-Pack；尺寸=2 in

(三) 單元設計缺失

1. B133 填充洗滌塔之洗滌液完全循環使用，並未定期排放，致使洗滌液所含之鹽類，超過飽和濃度而析出結晶物質，致使該結晶物質阻塞填充物，並附著於風車葉片，造成風車損壞。
2. 廢氣洗滌系統壓損過大，故廢氣洗滌系統風車排氣量不足，混酸槽、酸洗槽及鹽浴池作業現場廢氣逸散情形嚴重。
3. 廢氣洗滌塔之洗滌液未定期排放，整體廢氣洗滌系統對 NO_x 吸收效果不佳，B133 填充洗滌塔排氣煙囪，仍有明顯之 NO_x 黃煙排出。

(四) 改善方案與效益

1. NO_x 的水溶性比 SO_x 及 HF 酸性氣體為低，若是其與 SO_x 或 HF 同時進入廢氣洗滌塔，推測鹼性洗滌液對酸性廢氣的吸收作用可能有相互競爭的情形。亦即，NO_x 與其他易溶於水的酸氣同時存在，洗滌液會優先吸收易溶於水的酸氣，而不會吸收 NO_x；故以混酸槽廢氣而言，NO_x 廢氣雖然經過 3 個串聯洗滌塔處理，對 NO_x 去除效率不高，仍有明顯黃煙排出。改善方式須重新規劃含 NO_x 廢氣之處理流程，利用 2 個獨立的洗滌塔串聯處理，第 1 個洗滌塔作為高效率的酸氣吸收塔，以 NaOH 洗滌液將易溶於水的酸氣（例如 HF）完全吸收，再以第 2 個洗滌塔專門吸收 NO_x 廢氣；洗滌液中除了添加 NaOH 外，尚須添加還原劑，將已吸收的 NO_x 還原成 N₂。藉此促進 NO_x 廢氣去除效率。



2. 案例工廠評估結果，將既有 3 個串聯的濕式洗滌塔系統，分割成 2 個獨立的廢氣洗滌系統。一個為 B36、B33 串聯的洗滌塔系統，簡稱為 AC 廢氣處理系統；另一個為 B133 單一個洗滌塔的廢氣洗滌系統，簡稱為 BD 廢氣處理系統。改善後 2 個新的廢氣處理系統如下：

(1)AC 廢氣處理系統

①處理流程

案例工廠將 A 廢氣及 C 廢氣，以既有 B36 及 B33 二個洗滌塔串連處理，如圖 14。

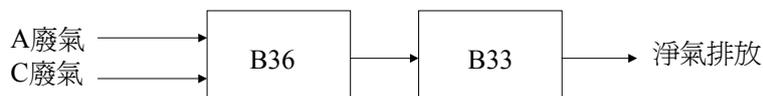


圖 14 改善後之 AC 廢氣處理系統

②設計條件

處理目標：A 廢氣 16,000Nm³/hr + C 廢氣 6,000Nm³/hr

廢氣條件：合計氣體流量 22,000 Nm³/hr、氣體溫度 65°C

NO₂=600ppm

HNO₃=1,000ppm

HF=1,000ppm

B36 洗滌塔設計（主要去除 HF 及 HNO₃ 空氣污染物）

洗滌塔塔徑：1.8m

填充高度：1.05m

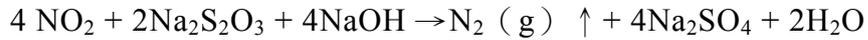
B33 洗滌塔設計（主要去除 NO₂ 空氣污染物）

洗滌塔塔徑：2.6m

填充高度：2.06m

③洗滌化學反應

在 B36 以 NaOH 洗滌液吸收 HF 及 HNO₃ 等酸性氣體，而在 B33 以 NaOH 加硫代硫酸鈉 (Na₂S₂O₃) 之洗滌液吸收 NO₂ 氣體。B33 洗滌塔之化學反應式如下：



B33 洗滌塔之洗滌液濃度與 pH 值備製條件：

NaOH：2~4%

Na₂S₂O₃：2~4%

pH 值 > 10

(2)BD 廢氣處理系統

①處理流程

案例工廠將 B 廢氣及 D 廢氣一同進入 B133 洗滌塔處理，如圖 15。

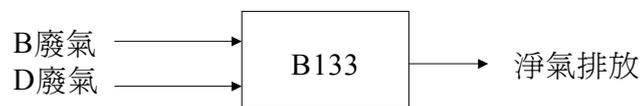


圖 15 改善後之 BD 廢氣處理系統

②設計條件

處理目標：B 廢氣 16,000 Nm³/hr +D 廢氣 35,000 Nm³/hr

設計條件：氣體流量 61,000 Nm³/hr、氣體溫度 65°C

H₂SO₄=1,000ppm

B133 洗滌塔設計

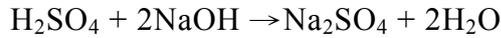
洗滌塔塔徑：5m

填充高度：3.5m



③洗滌化學反應

以 NaOH 洗滌液吸收 H₂SO₄ 酸性氣體。硫酸與氫氧化鈉之化學反應式如下：



3. 案例工廠經改善後，將上述 2 廢氣處理系統之排氣合併由一支煙囪排放，其 NO_x 排放濃度由 100ppm 降低至 40ppm 以下，排放煙囪已不見濃濃的黃煙現象，不透光率在 10%以下。

五、白煙/不透光率處理效率改善成功案例⁽²⁾

(一) 案例背景

案例工廠係從事布匹之染整工作，主要產品為染整布匹，成品產量為 12 公噸/月。製程係以素色布胚為原料，於素色布胚上經由精練、絲光等前處理後，再經由染色、水洗、脫水及烘乾定型等製程，最後成為印染布胚成品，製程如圖 16 所示。案例工廠計有 3 座烘乾定型機，每座廢氣排放量為 180 Nm³/min，廢氣成分主要為油霧。其廢氣處理設備原採用濕式洗滌塔處理，但煙囪之排氣不透光率為 20~50%，無法符合固定污染源空氣污染物排放標準。

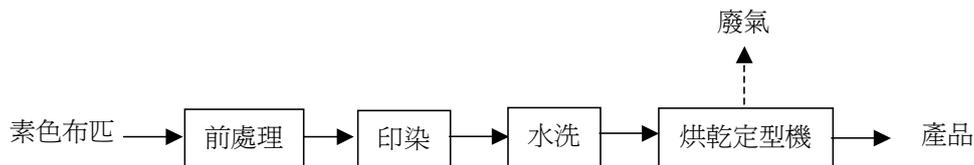


圖 16 染整布匹生產流程

(二) 處理流程與設計條件

1. 處理流程

廢氣處理流程如圖 17 所示。

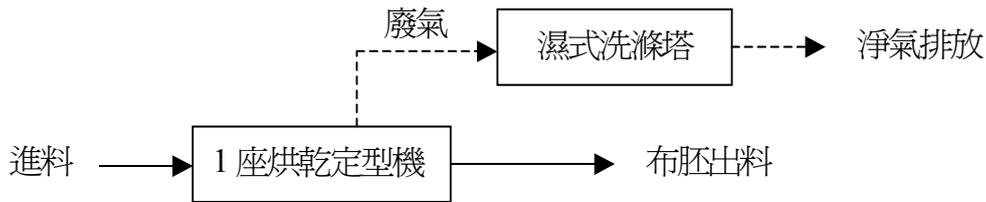


圖 17 烘乾定型機廢氣處理流程

2.設計條件

案例工廠烘乾定型機之排氣皆個別採用濕式洗滌塔處理，每座烘乾定型機各配置一座濕式填充洗滌塔處理之，廢氣處理流程如圖 17 所示。每座濕式洗滌塔廢氣處理量為 $180 \text{ Nm}^3/\text{min}$ ，每座洗滌塔直徑 1.4m 高度 2.5m ，液氣比為 $1.5\text{L}/\text{m}^3$ ，採用之填充物為皇冠型 TriPack，尺寸大小為 2 in ，填充物之填充高度為 1m 。

(三) 單元設計缺失

1. 本案例單元設計缺失之處，並非在於濕式洗滌塔設計參數不佳，而是未確實掌握廢氣特性，並據以選用較合適之廢氣處理流程或單元設備。烘乾定型機廢氣特性為排氣中含有高分子（如蠟質及樹脂）之有機蒸汽，而此類有機蒸汽之來自添加於布料上之化學助劑，因受熱氣化而進入煙道排氣中，最後煙道降溫過程中會冷凝成油霧，粒徑介於 $0.1\sim 0.2\mu\text{m}$ ，對光線具有散射作用。
2. 濕式洗滌塔主要功效是吸收氣狀污染物之廢氣吸收塔，雖然兼具粒狀污染物之功能，但對於細微粒徑之粒狀物去除效率並不高，依據文獻資料，濕式洗滌塔對粒狀物之切割粒徑為 $6\mu\text{m}$ ，故選用濕式洗滌塔無法藉由洗滌液與粒狀物之慣性衝擊或直接攔截機制，達到去除 $0.1\sim 0.2\mu\text{m}$ 等次微米粒狀物之功效。此外，烘乾定型機未處理前之排氣溫度為 120°C ，經濕式洗滌塔處理後，將排氣溫度降低至 60°C ，在塔內降溫過程中實質為蒸發冷卻過程，增加排氣中的相對濕度，對細微粒徑粒狀物沒有發揮去除效率，反而因廢氣溫度之降低，將有機蒸汽冷凝而生成更多次微米粒狀物，使得白煙不透光率與尚未裝置濕式洗滌塔之前相較，反而更為嚴重。



表 3 烘乾定型機廢氣特性

污染物項目	污染物濃度	單位
排氣量	180	Nm ³ /min
粒狀物	25~120	mg/Nm ³
不透光率	20~50	%

(四) 改善方案與效益

1. 案例工廠瞭解烘乾定型機廢氣特性及既有濕式洗滌塔無法解決白煙不透光率問題。經評估後，決定改用高效率濕式靜電集塵機設備替代之，濕式靜電集塵機放電電極及收集板內部構造如圖 18。

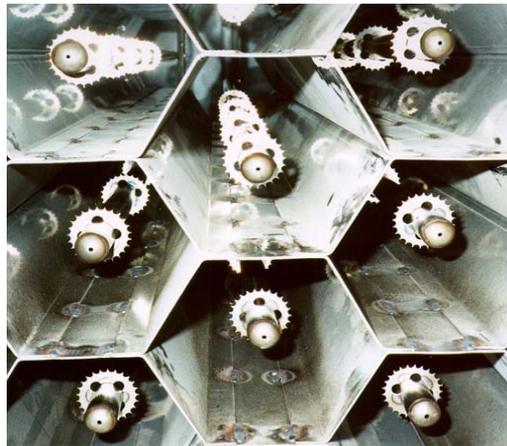


圖 18 濕式靜電集塵機放電電極及收集板內部構造

2. 為同時處理 3 座烘乾定型機廢氣，案例工廠將 3 座烘乾定型機排氣匯集之後，一同導入濕式靜電集塵機進行處理，其廢氣處理流程如圖 19 所示。烘乾定型機廢氣經處理後，粒狀物濃度降低至 13.8 mg/Nm³，煙囪之不透光度為 0%，符合不透光率之管制標準。案例工廠因尚有 1 座蒸汽鍋爐，為減少固定源管制之煙囪數目，遂將鍋爐廢氣亦匯入濕式靜電集塵機一同處理（如圖 19），排放粒狀物濃度為 13.8 mg/Nm³，硫氧化物濃度為 12.7 ppm，氮氧化物濃度為 39.3ppm，其排氣檢測結果如表 4 所示。

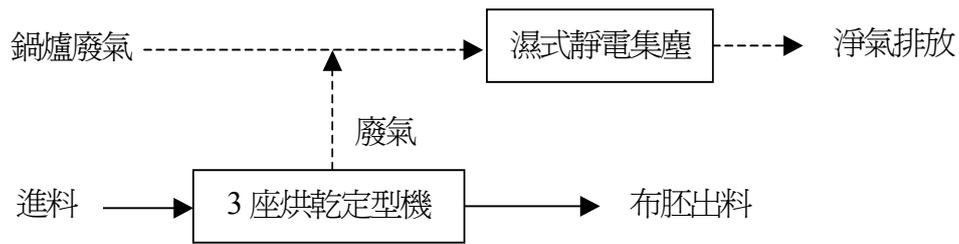


圖 19 烘乾定型機排氣改善後之廢氣處理流程

表 4 濕式靜電集塵機排氣檢測結果

檢測項目	檢測實測值	校正濃度值	排放標準
粒狀物 (mg/Nm ³)	13.8	40	284
硫氧化物 (ppm)	12.7	34	500
氮氧化物 (ppm)	39.3	105	250
備註	乾基排氣量為 374 Nm ³ /min		

六、袋濾集塵機操作維護改善成功案例^(6,7)

(一) 案例背景

案例工廠係從事非金屬礦石粉之製造，主要產品為碳酸鈣粉。以非金屬礦石（如大理石）為原料，將大塊的礦石投入製程設備入料口，經初級粉碎、二級粉碎、再研磨成不同粒度等級非金屬礦石粉末，經包裝完畢即為成品。在粉碎、研磨、下料包裝過程，所逸散之粉塵，即是原料或產品（如圖 20），故案例工廠設置 9 座袋濾集塵機收集粉塵及產品。但因碳酸鈣原料及產品具有吸濕性，使得濾布上附著之粉塵脫落不易，造成濾布阻塞/透氣性不佳，袋濾集塵機處理效率低，且生產量無法提升。

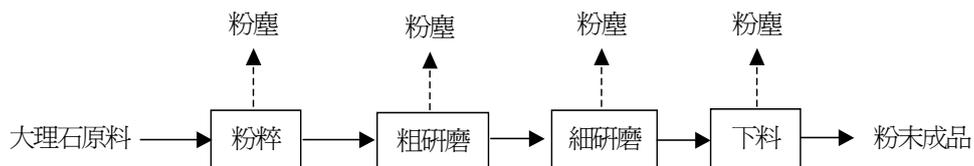


圖 20 碳酸鈣粉製造流程



(二) 處理流程與設計條件

1. 處理流程

案例工廠廢氣處理流程如圖 21。

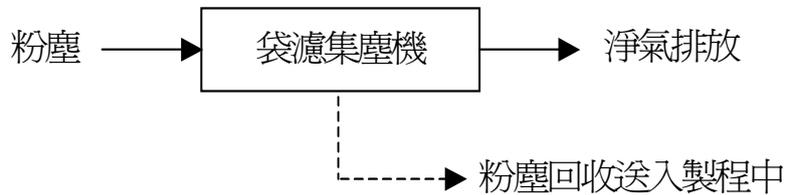


圖 21 廢氣處理流程

2. 設計條件

案例工廠設置 9 座脈衝式袋濾集塵機，收集粉碎、研磨及下料包裝過程之粉塵/產品，每座袋濾集塵機濾布過濾速度設計為 $1\sim 2\text{m}^3/\text{m}^2/\text{min}$ ，其中 300Hp 的袋濾集塵機計有 1 座（共 800 支濾袋）、25Hp 的袋濾集塵機計有 5 座（每座 168 支濾袋）、10Hp 的袋濾集塵機計有 3 座（每座 48 支濾袋），袋濾集塵機風車總馬力數合計為 455Hp，案例工廠袋濾集塵機馬力數統計如表 5。案例工廠採用的長方體及圓柱體 2 種型式之袋濾集塵機，其外觀如圖 22 所示。

表 5 案例工廠袋濾集塵機馬力數統計表

類別	送風機馬力	座數	每座濾袋支數
大型	300Hp	1 座	800 支/座
中型	25Hp	5 座	168 支/座
小型	10Hp	3 座	48 支/座
合計	455Hp	9 座	—



圖 22 案例工廠之袋濾集塵機

(三) 單元設計缺失

1. 案例工廠在袋濾集塵機硬體設計上並無不當，惟在濾袋逆洗操作參數之設定，未針對碳酸鈣吸濕性強之粉塵特性給予最佳設定值，使得濾布阻塞/透氣性不佳，袋濾集塵機處理效率低，且浪費空壓機及風車能源。又案例工廠為供應袋濾集塵機脈衝清洗濾袋之壓力空氣，備有 2 台 50Hp 的空壓機，每天 2 台空壓機皆需同時開機且滿載運轉，其電能消耗非常可觀；此外，任何 1 台空壓機因為超載而停機，碳酸鈣生產線可能減產造成損失。
2. 案例工廠清洗濾袋的排列次序是採典型依次循環清洗的方式，為提高袋濾集塵機濾布的清除效果，使用之清洗濾袋的時間間隔非常短（每 2~3 秒即噴氣逆洗 1 次），每次噴氣時間 0.2 秒，如表 2.5-2。原以為如此可將濾袋清洗的比較乾淨，但實務操作上，密集噴氣之清洗效果並不理想。基本上，案例工廠每個整體袋濾集塵機系統阻力高的原因，係因是濾布清洗效果不佳所造成的，但所採用的改善方法成效不彰，反而浪費空壓機能源。

(四) 改善方案與效益

1. 案例工廠將各個袋濾集塵機時序控制器及定時器之清洗濾袋的排列次序、時間長短及時間間隔給予重新設定（設定與調整方法如圖 23 所示），並找出符合案例工廠廢氣特性的最佳化設定值（如表 6 所示），茲依序說明如下：

(1) 排列次序：清洗濾袋的排列次序原設定值 1.2.3.4.5.6.7.8.9.10 依序噴洗方式，修改設定值為 1.4.7.10、2.5.8、3.6.9 跳躍噴洗方式，依每座袋



濾集塵機濾袋總排數多寡而略有不同。

- (2)時間長短：清洗濾袋的時間原設定值為 0.2 秒，修改設定值為 0.05 秒。
- (3)時間間隔：清洗濾袋的時間間隔原設定值為 2~3 秒，修改設定值為 6~10 秒。

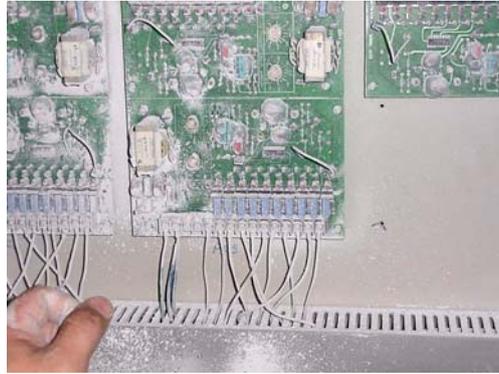


圖 23 清洗濾袋的時序控制器及定時器等操作參數重新設定

表 6 改善前後之濾布逆洗操作參數設定值

操作參數	改善前設定值	改善後設定值	備註
排列次序	1.2.3.4.5.6.7.8.9.10，依序噴洗方式	1.4.7.10、2.5.8、3.6.9，跳躍噴洗方式	排列次序可依實際濾袋總排數，進行調整噴洗次序
時間長短	0.2 秒	0.05 秒	時間長短設計經驗值 0.10~0.15 秒
時間間隔	2~3 秒	6~10 秒	時間間隔設計經驗值 7~30 秒，然可視實際操作狀況，斟酌延長該設定值

- 2. 案例工廠僅修改袋濾集塵機自動控制箱內，清洗濾袋的排列次序、時間長短及時間間隔等控制參數。經改善後，濾布粉塵脫落良好。其改善效益如下：

(1)產能提升

案例工廠改善後，袋濾集塵機操作效率(濾布之透氣率及過濾效果)明顯獲得改善，其碳酸鈣製程抽氣量及排氣量順暢，故白色碳酸鈣粉末年生產量從 48,000 公噸，提升至 60,000 公噸(產能提升 25.0%)。

(2)節省空壓機 1 台

除了碳酸鈣產品產量增加之外，案例工廠原本供應壓縮空氣（清洗濾袋專用）的 2 台 50Hp 的空壓機，每天必須滿載運轉；改善後，只要使用 1 台 50Hp 的空壓機就已經足夠了，而且未滿載運轉，另 1 台則當成備用空壓機。

(3)減少能源消耗及溫室氣體排放量

因濾布透氣率提高之緣故，濾布的壓降相對減少許多，風車的能源消耗也大為降低，故案例工廠表示空壓機及風車均有顯著節能成效，單位產品的用電量從 81.8 度/公噸，降低至 80.6 度/公噸，源消耗降低 1.47%；同時，單位產品之溫室氣體排放量從 48.6kg-CO₂/公噸，降低至 47.9 kg-CO₂/公噸，以改善後之產能 60,000 公噸/年估算，每年減少溫室氣體排放量 42 公噸，如表 7。

(4)節省操作電費

整體節約能源成效評估結果，單位產品的電費從 124.5 元/公噸，降低至 106.9 元/公噸，單位產品的電費降低 14.13%。以改善後之產能 60,000 公噸/年估算，每年的電費節省新台幣達 105.6 萬元，如表 7。

表 7 案例工廠改善效益統計表

類別	生產量 (公噸/年)	用電量 (度/公噸)	CO ₂ 排放量 (kg-CO ₂ /公噸)	電費 (元/公噸)
改善前	48,000	81.8	48.6	124.5
改善後	60,000	80.6	47.9	106.9
備註	1.節省 1 度電 = 減少 CO ₂ 溫室氣體排放量 0.594kg，資料來源：國際能源總署(International Energy Agency, IEA)。 2.減少 CO ₂ 排放量計算式： $(48.6 - 47.9) \times 60,000 = 42,000 \text{kg-CO}_2/\text{年} = 42 \text{公噸 CO}_2/\text{年}$ 。 3.節省電費計算式： $(124.5 - 106.9) \times 60,000 = 1,056,000 \text{元/年} = 105.6 \text{萬/年}$ 。			



參考資料

1. 經濟部工業局技術手冊，『局部排氣系統設計與案例』，2006 年 12 月。
2. 經濟部工業局技術手冊，『污染防治設施缺失與改善案例彙編（二）』，2006 年 12 月。
3. 司洪濤等，文氏洗滌塔設計與操作實務，工業污染防治季刊第 47 期，P.71~79，1993 年 7 月。
4. 司洪濤等，磚窯業隧道窯廢氣處理效率提昇成功實例，工業污染防治季刊第 49 期，P.145~160，1994 年 1 月。
5. 司洪濤，文氏洗滌之設計方法與操作維護，化工技術第 75 期，P.194~207，1999 年 6 月。
6. 司洪濤等，電路板製造業袋濾集塵機能源節約技術介紹，電路板會刊第 18 期，2002 年 10 月。
7. 司洪濤等，袋濾集塵機運轉效率提升及能源節約技術介紹，化工技術第 11 卷第 8 期精選文章，2003 年 8 月。
8. 王裕寬等，廢油資源化工廠 VOC 臭味輔導改善成功案例介紹，2005 產業環保工程實務技術研討會，2005 年 11 月 25 日。
9. 司洪濤，逸散性臭味收集效率提升改善案例介紹，環保訓練園地，第 4 號電子月刊，2007 年 8 月 1 日。