

以靜電集塵器串聯生物滴濾塔及濾床處理精密陶瓷業 燒結製程之惡臭有機廢氣實例介紹

黃俊傑*沈克鵬*賴慶智*王耀銘*

摘 要

精密陶瓷為被動元件的主要原料之一，本文將介紹某精密陶瓷廠如何以靜電集塵器串聯生物滴濾塔及生物濾床之方式，有效處理其具惡臭之燒結廢氣。該廢氣經利用 GC/MS 分析，發現含有 1-丁烯、1-丁醇、乙醛、丙烯與甲苯等數十種複雜有機污染物及油霧。由近一年之實際運轉記錄顯示，燒結廢氣經該廢氣處理系統處理後，臭味濃度可由百萬以上降至 3,000 以下、去除效果 99% 以上，能有效解決其惡臭問題；且對廢氣中之總碳氫化合物(THC)去除率亦可達 85% 以上。另由成本分析結果顯示，以此靜電集塵器串聯生物滴濾塔及生物濾床方式處理該廢氣之直接操作成本約為每立方公尺廢氣 0.028 元，為對精密陶瓷業燒結廢氣最經濟有效且操作方便之廢氣處理方式。

【關鍵詞】

1.精密陶瓷 2.生物濾床 3.生物滴濾塔 4.臭味 5.揮發性有機物

*工業技術研究院化學工業研究所

Odor and VOC Control of Fine Ceramic Manufacturing Facility by Using Electrostatic Precipitation and Biotreatment Processes

Chun-Chieh Huang* Keh-Preng Shen* Ching-Chieh Lai* Yau-Min Wang*

Abstract

Fine ceramics are main components of electric passive cell for electronic products. During the fine ceramics manufacturing's drying process, a significant amount of volatile organic compounds (VOC) and odors are produced. Based on the analysis results by GC/MS, the emission gas contained oil mist and complex organic compounds including 1-butene, 1-butanol, acetaldehyde, propene, toluene and so on. Therefore, an electrostatic precipitator (ESP) was utilized as a pre-treatment device to remove the oil mist, and then following by a biotrickling filter, and, final, by a biofilter. According to the process, a full scale of the plant was built along with a fine ceramic manufacturing facility. After operation of one year, results showed that the removal efficiency of total hydrocarbons reached 85% and the odor concentration was reduced from over 1,000,000 to 3,000 odor units, corresponding to 99% of removal. The direct running cost of the waste gas treatment processes was about N.T. \$0.028 per cubic meter, which was the lowest one among the commercially available control technologies. The study also described overall performance, operation parameters of the treatment process.

【 Keywords 】

1.Fine ceramics 2.Biofilter 3.Biotricklingfilter 4.odor 5.VOCs(volatile organic compounds)

*Union Chemical Laboratories

一、前言

近年來由於民眾環保意識的覺醒，對環境品質的重視與要求日漸提高，加上人口增加導致工業區與住宅區的分隔距離漸小，故近來國內空氣污染糾紛事件日漸增加。依環保署資料^[1]，民國 83 年台灣地區向各級環保單位陳情之案件，總計達 86,517 件，其中近 27%陳情項目為空氣污染及惡臭，可見空氣污染與惡臭問題嚴重性之一般。而精密陶瓷廠於氧化鋁基板高溫燒結製程時，原拌合於粉體中之揮發性有機物如甘油(Glycerol Trileate)、聚乙烯醇(PVA, Polyvinyl Alcohol)、聚乙酸縮丁醛(PVB, Polyvinyl Butyal)及甲苯等，均將因該高溫燒結程序而揮發，產生臭味濃度高達百萬以上的複雜有機廢氣及油脂，極易引起週遭居民抱怨。目前該行業一般以洗滌塔或焚化處理該廢氣，然而洗滌塔並無法有效處理非水溶性污染物及油脂，且產生大量廢水。另焚化處理則需使用輔助燃料衍生昂貴操作成本，並有油脂附著於管件造成著火的危險。因此不易以傳統單一處理技術有效處理該股廢氣。因此，本文將由技術可行性與經濟成本的觀點，介紹某精密陶瓷廠如何以靜電集塵器串聯生物滴濾塔及生物濾床之方式，處理其燒結廢氣，並利用對該設備相關操作條件的控制與調整，有效維持該設備之處理效率與脫臭能力。

二、製程特性

精密陶瓷中的氧化鋁基板是被動電子元件如陶瓷電阻器的主要原料之一，其製作方式是將氧化鋁粉與由複雜成份有機物如聚乙酸縮丁醛、二甲苯及甲苯等配製而成的黏結劑、分散劑拌合成漿料(其主要的有機物成份見表 1)，並利用刮刀成形後，再經高溫燒結、乾燥程序，即成為氧化鋁基板，而於高溫燒結製程所揮發出的有機物，即為精密陶瓷製造業主要的臭味及有機廢氣來源，其製造流程與廢氣來源如圖 1^[2]。

表 1 燒結廢氣主要有機成份來源

有機成份來源	種 類
溶劑	甲苯、丙酮
黏結劑	分子量介於 1000~10,000 之有機物，如甘油(Glycerol trileate)、未飽合脂肪酸(Ethoxylate)、磷酸酯(Phosphate ester)
分散劑	以熱塑性高分子化合物為主，如聚乙烯醇(PVA, Polyvinyl Alcohol)、聚乙酸縮丁醛(PVB, Polyvinyl Butyal)、聚苯乙烯(PS, Polystyrene)、聚甲基丙烯酸酯(PMA, Polymethacrylate)

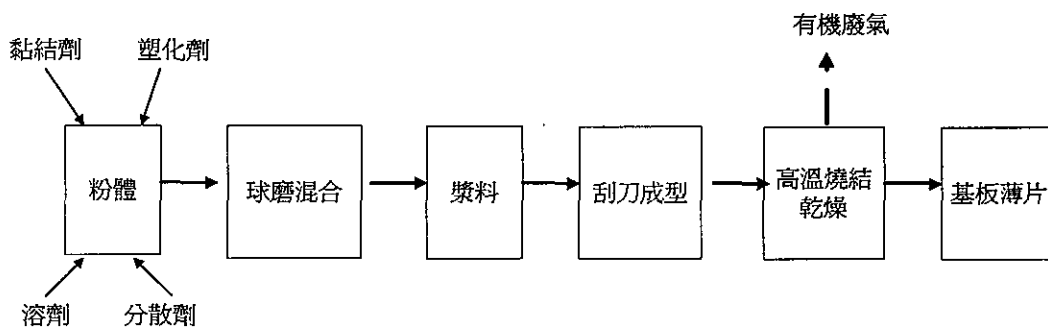


圖 1 精密陶瓷業製程及廢氣來源示意圖

三、廢氣特性

精密陶瓷業燒結製程所產生的廢氣，因為係由複雜的高分子有機原料揮發所致，經本所實地對某精密陶瓷廠進行燒結廢氣採樣分析，發現此股廢氣具有以下與一般廢氣更為複雜之特性：

1. 廢氣溫度較高

因廢氣係由 700℃ 以上之高溫爐產生，導致進入處理設備前之廢氣溫度較高，一般均有 50~60℃。

2. 含複雜揮發性有機成份及凝結性油脂

原攪拌於氧化鋁粉體中之高分子有機物，受高溫燒結程序而揮發，部分有機成份因而分解成中間產物及凝結性油脂，經利用 GC-MS 分析其成份，所得結果如圖 2 所示，其可能之成份包括：1-butene(1-丁烯)，2-butene(2-丁烯)，1,3-butadiene(1,3-丁二烯)，methyl n-amyl ketone(甲基戊基酮)，1-butanol(1-丁醇)，octane(辛烷)，methyl isopropyl ketone(甲基異丙基酮)，acetaldehyde(乙醛)，propene(丙烯)，isobutylene(異丁烯)，toluene(甲苯)，acetone(丙酮)等，其它尚有未能識別之低濃度化合物數十種，且經去除油脂後其總碳氫化合物(THC)濃度平均達 300ppm(以甲烷為計算基準)。

3. 具明顯惡臭

由上所列之有機物成份如乙醛、酮類、1-丁醇、辛烷及烯類等，均為有明顯異味之臭味物質，導致此股廢氣具有強烈的惡臭。藉由臭氣及異味三點式官能測定法採樣分析後，發現其原始臭味濃度經常高達百萬以上。因此該廢氣如未經適當處理，將造成嚴重的臭味及有機廢氣污染。

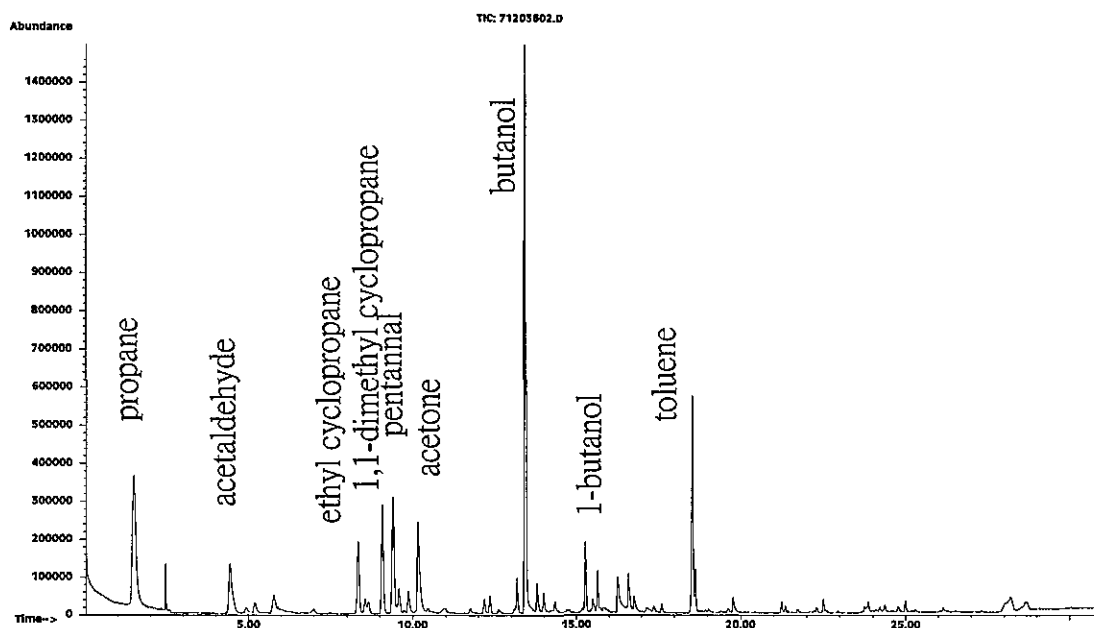


圖 2 某精密陶瓷廠燒結廢氣成份利用 GC/MS 分析圖譜

四、處理技術比較

針對此一複雜之臭味及有機污染源處理，該行業目前大都採用洗滌或焚化等傳統處理方法。然而這些傳統處理方式常因技術本身之限制及該廢氣複雜的特性而無法有效解決，或是需要昂貴的設置成本與操作成本才可有效處理該類有機廢氣。例如使用洗滌塔，廢氣所含油脂將快速造成填料阻塞，且因並非所有污染物皆溶於水，或皆可為氧化劑所氧化，故無法有效解決臭味問題，並將產生大量待處理廢水及污泥等二次污染。如利用活性碳吸附，因該廢氣含凝結性油脂，故需先以靜電集塵器(ESP)先去除會阻塞活性碳孔隙之油霧後，再利用活性碳去除有機物，但其吸附效果極差，因廢氣溫度過高($>50^{\circ}\text{C}$)，須降溫至 40°C 以下，才可有效維持活性碳吸附效果，如以水洗降溫，此時濕度過高又將抑制吸附能力，兼以考量如欲有效處理有機污染物，定期換碳之操作成本將極為昂貴，且所產生廢碳之二次污染物需予以處理，故較不適以活性碳處理。某精密陶瓷廠曾分別實際利用此兩種處理技術以處理該股廢氣，結果證實均無法有效解決空氣污染問題。焚化方式則可得較佳之污染物去除率(通常設計得當時可達 95% 以上去除率)，但需輔助燃料，致操作成本偏高，且因燒結廢氣含凝結性油脂，易附著於相關管件而造成著火危險。另一可行之處理技術則為利用靜電集塵器去除油脂後，再由生物處理單元去除有機物與脫臭，此法主要著眼於生物處理具低成本與優良脫臭能力。相關可行之處理技術優、缺點綜合比較結果如表 2 所示，經評估於經濟

與技術可行性考量下，利用靜電集塵器串聯生物滴濾塔及生物濾床為較佳之處理技術。

表 2 精密陶瓷業燒結廢氣可行處理技術優、缺點比較表

處理技術	優點	缺點
1.加氧化劑洗滌塔	1.初設成本較低 2.設備佔地面積較小	1.因油脂不易去除且易迅速阻塞填料，故去除率較差。 2.氧化劑(高錳酸鉀)添加量大，且會產生大量污泥。 3.易產生二次水污染。 4.操作加藥成本高。
2.ESP 串聯活性炭吸附塔	初設成本較低	1.因廢氣溫度過高及成份複雜，吸附效果不佳。 2.操作換碳成本高。
3.ESP 串聯觸媒焚化	處理效率高	1.初設成本高。 2.操作成本高(燃料費用)。 3.油霧去除不完全，易阻塞觸媒降低其活性與處理效率，且造成火災危險。
4.直燃焚化	處理效率高	1.初設成本高。 2.操作成本高(燃料費用極高) 3.升溫不足時，油霧易附著於爐壁，造成熱傳效率低耗能且處理效率降低。
5.ESP 串聯生物滴濾塔及生物濾床	1.處理效率高(85~90%) 2.較少二次污染物。 3.操作成本低。	1.設備佔地面積較大。 2.初設成本較高。

五、處理流程

因此某精密陶瓷廠便採用靜電集塵器串聯生物滴濾塔及生物濾床之方式處理其燒結製程所產生 $20\text{m}^3/\text{min}$ 燒結廢氣。本套處理系統之特點為不同於傳統單一處理技術，而係依據該廢氣的複雜特性，採用 3 種具不同功能的處理單元結合成廢氣處理系統，其處理流程見圖 3，此一流程的安排主要針對於技術及經濟面的考量，因廢氣含凝結性油脂，先行去除油脂可避免油脂進入生物處理單元，覆蓋於微生物表面而影響處理效率。因此先以靜電集塵器為預處理設備以去除油脂或臘質等對生物有害之物質。而由於廢氣溫度經除油單元與管路輸送過程，雖已將原始高溫廢氣由 90°C 降至 $50\sim 60^\circ\text{C}$ ，但一般生物處理單元操作溫度均應不超過 35°C ，以避免生物死亡或活性遭抑制而降低處理效率。因此為調節廢氣溫度於 35°C 以下，以生物滴濾塔為接續之生物處理單元，利用滴濾塔具有與洗滌塔相似的循環水噴灑裝置，使循環水除作為水溶性較佳有機物之吸收，以利生物分解外，並提供將廢氣降溫與增溼的功能；後段之生物濾床則主要提供廢氣中殘餘及水溶性較差之有機物與臭味

物質的生物分解作用。相關處理設備規格見表 3。

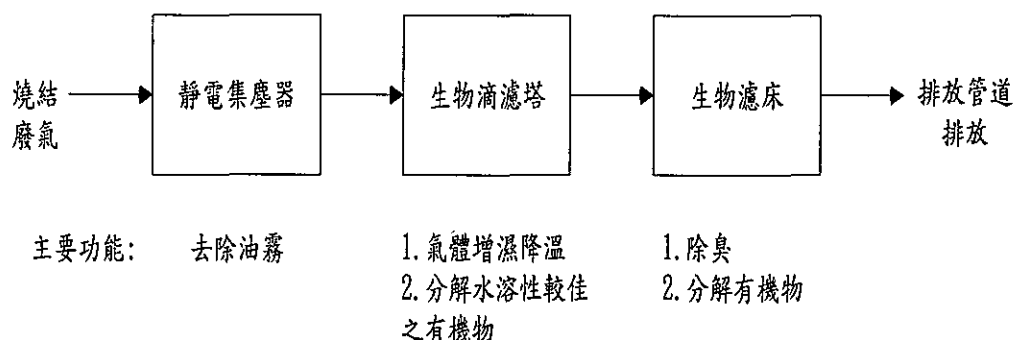


圖 3 某精密陶瓷業燒結製程廢氣處理流程圖

表 3 處理設備規格

處理設備規格	氣體空塔停留時間
乾式版線型靜電集塵器 35kV	6 秒
生物滴濾塔部份： 尺寸：4.5m (L) *2.8m(W) *3.2m (H) 濾材填充量 12.6m ³ 、填充高度：1m	50 秒
生物濾床部份： 尺寸：4m (L) *3.2m(W) *3m (H) 填充濾料：堆肥、蛇木屑、泥碳土、緩衝劑 填充高度：60cm	25 秒
註：廢氣量：約 20CMM(即 20m ³ /min)；廢氣溫度：40~65℃	

六、操作條件控制

由於此套燒結廢氣處理系統主要由生物滴濾塔與生物濾床兩套生物處理單元進行揮發性有機物與臭味的去除，因此生物處理單元的操作條件控制對此燒結廢氣的處理效果為關鍵性影響因素。一般而言，生物處理主要的原理為於常溫、常壓下有機物或臭味物質由微生物分解氧化成水及二氧化碳或無機鹽^[3]，因此如何維持生物處理單元中生物活性，即為操作維護時的重點，故本系統操作條件的控制，於滴濾塔部份為循環水質的調整、循環水增濕降溫能力，生物濾床的適當操作條件則如表 4 所列，其中以濾料含水率為最主要的影響因素^[4]。

表 4 生物濾床正常操作條件

操作參數	適當操作範圍
濾料含水率	40~60%
pH 值	7~8
溫度	25~35℃
空塔停留時間	15~60 秒
濾床高度	1M 以下

因此本套處理系統主要藉由設置於各單元的溫、濕度計及壓差計的測值，與滴濾塔循環水質 pH 值、氧化還原電位(ORP)的監測，以進行整體操作條件的控制與調整，茲將相關操作條件與結果說明如下：

1. 生物處理單元的操作溫度

由圖 4 中廢氣經滴濾塔前、後長期溫度變化結果，可得知滴濾塔的循環水增濕降溫系統於正常運作時，能有效將廢氣溫度調整於 35℃ 以下適合生物生長之條件；且後續於生物濾床及排放管道中之廢氣溫度均可維持於常溫，藉由此種對各處理單元溫度與排氣中相對濕度的監測，可隨時評估生物處理單元是否處於正常操作狀態。

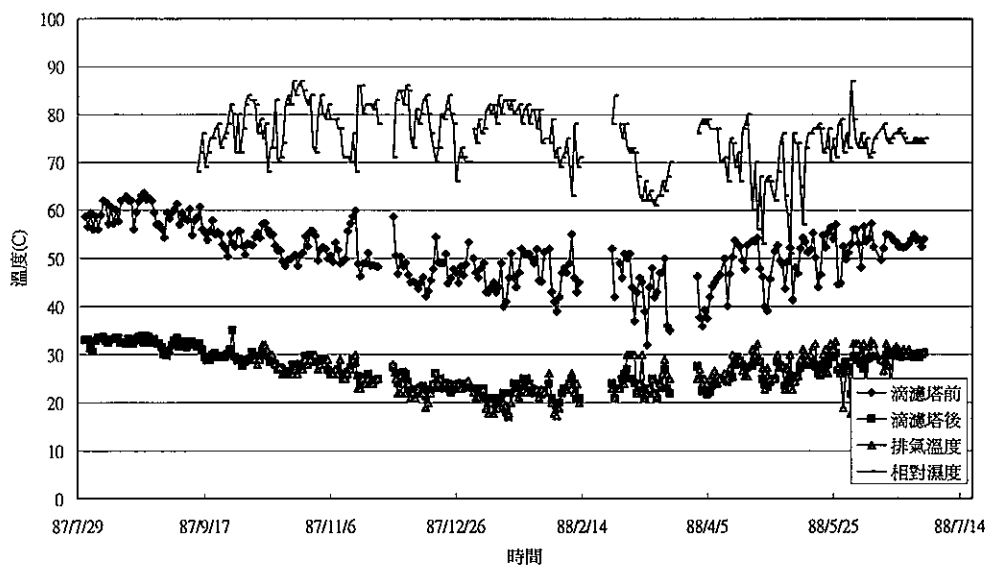


圖 4 生物處理設備溫度與相對溼度變化圖(87/8~88/7)

2. 壓差變化

利用對滴濾塔及生物濾床壓損變化的監測，以分別判斷滴濾塔是否因生物膜累積過厚而有反沖洗之必要，或生物濾床濾料因自重壓密與含水率過高而造成壓損上升、處理效率下降之現象，而需進行翻堆或濾料之更換。正常於氣體流速 1m/min 的條件下，滴濾塔填料的壓損應低於 30mmH₂O/m、濾床的壓損則應低於 140mmH₂O/m。

3. 滴濾塔循環水質控制

於循環水槽裝置 pH 值控制器與氧化還原電位(ORP)顯示器，利用鹼液將 pH 值控制於 6.8~8，使滴濾塔維持於適合微生物生存之環境。另監測氧化還原電位是否成為負值，以有效評估滴濾塔內生物是否因循環水噴灑不足或不均勻而導致厭氧發臭現象發生，而需進行噴嘴清理或循環水量之調整。

七、處理效果

因燒結廢氣的主要污染為臭味及所含之揮發性有機物，故本處理系統之處理成效分別針對臭味的脫臭能力及總碳氫化合物(THC)去除效果討論如下：

1. 臭味部份

定期進行此系統各處理單元氣體採樣，並利用臭氣及異味三點比較式官能分析法分析臭味去除效果，其結果見表 5，由該表中可發現於近一年的監測中，其脫臭效果均可達 99%以上，排放管道臭味濃度低於 3,000，顯示以生物方法處理燒結製程的惡臭廢氣，可有效達成脫臭的目的而降低臭味污染。

表 5 臭味濃度分析結果

採樣點 採樣日期	ESP 處理前	進入滴濾塔前	進濾床前	排放管道
87/8/26	--	--	--	2,300
87/9/01	--	--	--	300
87/9/24	>1,000,000	638,000	17,000	2,300
87/12/3	--	>1,000,000	--	700
88/4/17	--	730,000	--	1,700
88/7/29	--	480,000	31,000	3,000

分析方法：(77)環署檢字第 07395 號公告 臭味及異味官能測定法

2.揮發性有機物去除效果

圖 5 為定期採樣並利用氣相層析儀(GC)分析各處理單元處理 THC 濃度變化與去除率的結果，由圖中可發現除 88 年 3 月與 6 月分別因滴濾塔灑水系統阻塞及濾床增濕系統設定有誤、灑水不足導致滴濾塔氣液接觸不佳與濾料含水率過低，而使處理效率下降外；其餘時間該系統皆不因廢氣濃度的變化而影響有機物去除效果，維持於 85% 以上的去除率。

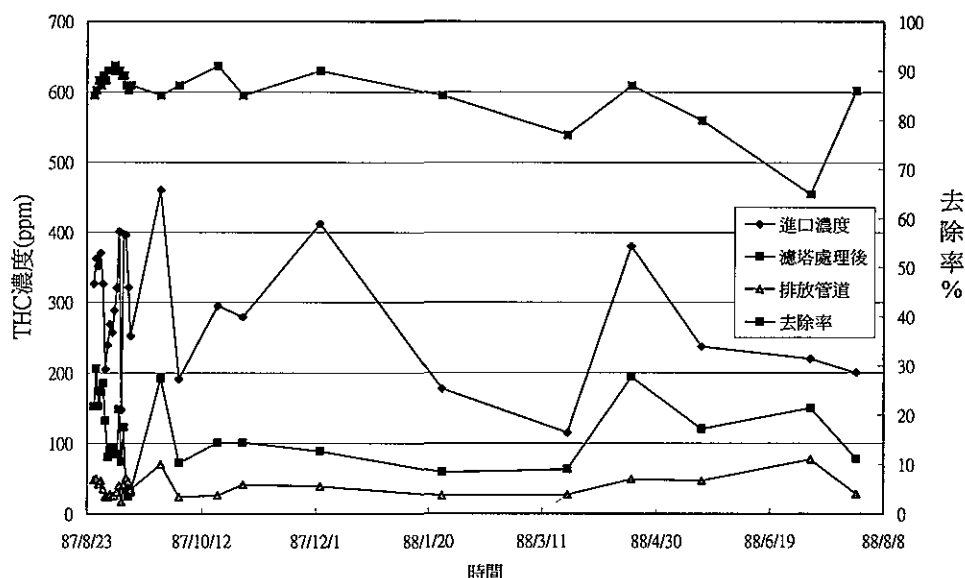


圖5 燒結廢氣處理設備THC處理效率結果(87/8~88/7)

分析方法：niea 723.71B

八、成本分析

經前述討論後，可知能有效處理精密陶瓷業燒結廢氣的處理技術應為直接直燃焚化、靜電集塵器串接觸媒焚化與靜電集塵器串接生物滴濾塔與生物濾床三種方式，利用本案例之廢氣資料進行初設成本與直接操作成本估算，其中現有處理設備由該精密陶瓷廠直接提供，觸媒焚化與直燃焚化初設成本由 86 年度環保署工廠臭味及有機臭氣處理輔導計畫中之商業化處理技術成本估算式進行估算^[5]，觸媒焚化與直接焚化操作成本則參考美國 EPA handbook: Control Technologies for Hazardous Air Pollutants(EPA/625/6-91/014, June 1991.)^[6] 書中之方式估算，其結果見表 6，可發現各處理技術其初設成本約略相似，但以靜電集塵器串接生物滴濾塔與生物濾床之處理方式具有最低之操作成本(處理每立方米廢氣 0.028 元台幣)。

表 6 燒結廢氣可行處理技術成本比較表

技 術 名 稱	初設成本 (萬元:新台幣)	直接操作成本 (萬元/年:新台幣)	每 m ³ 廢氣直接操作 成本(元:新台幣)
直接焚化	450	147	0.15
ESP 串聯觸媒焚化	346	113	0.12
ESP 串聯滴濾塔及生物濾床	450	27	0.028
估算基礎:廢氣風量 20CMM、THC 濃度:300ppm as Methane、風車馬力 10hp 進氣溫度 50℃, 每年設備操作時數:8,000 小時, 並以 86 年為計算 基準。			

九、結 論

精密陶瓷業燒結製程因需利用高溫將氧化鋁粉體中所含複雜成份的有機物與油脂趕出, 因此會產生嚴重之惡臭有機廢氣污染, 如採用本案例所介紹之靜電集塵器串聯生物滴濾塔及生物濾床方式處理該股廢氣, 經由實際的運轉結果分析, 可發現於考量處理效率、經濟效益與操作條件等因素下, 使用本處理方法具有如下優點:

1. 可有效改善其嚴重之臭味污染問題, 臭味濃度可由百萬降至 3,000 以下, 去除率達 99% 以上。
2. 針對所含複雜成份之有機物, 其總碳氫化合物濃度可達 85% 以上的去除效果。
3. 操作簡單, 藉由各種偵測器如溫度計、pH 計等的設置與監測, 即可有效維持設備運轉之有效性, 且因於常溫及相對濕度高(>80%)之條件下操作, 因而不易有著火之危險。
4. 直接操作成本為目前已知之可行處理技術中之最低者, 每立方米廢氣處理之直接操作成本僅需新台幣 0.028 元。

因此顯示以此靜電集塵器串聯生物滴濾塔及生物濾床方式處理精密陶瓷業燒結廢氣, 為最經濟有效且操作方便之廢氣處理方式。

十、參考文獻

1. 84 年版中華民國臺灣地區環境資訊, 行政院環保署, 民國 85 年 3 月。
2. 許晉榮、許正源, “積層式通訊元組件陶瓷生胚製程技術”, 工業材料 142 期, p127-131, 87 年 11 月。
3. 黃俊傑, 生物滴濾塔處理含丁酮廢氣之操作性能研究, 碩士論文, 中山大學環工所, 民國 85 年 6 月。

4. Swanson ,W. J.; Loehr ,R.C. ,“ Biofiltration: Fundamentals, Design and Operations Principles,and Applications”, J.Environmental Engineering. 1997,123,538- 546 。
5. 環保署,“揮發有機空氣污染物處理效果暨成本研究報告”,2-29~2-44,工研院化工所,民國 86 年 7 月 。
6. U.S.EPA“Handbook:Control Technologies for Hazardous Air Pollutants”, EPA/625/6-91/014,June 1991 。

誌 謝

本研究承蒙該精密陶瓷廠張正興總經理及張建華課長提供一切必要之協助，方得順利完成，謹此誌謝！