

塗裝工廠排放VOCs廢氣處理熱 再生式焚化爐(RTO)系統介紹

江誠榮*

摘要

塗裝工廠所排放之揮發性有機物廢氣為近年來工業污染防治工作的重點之一。本文即介紹其有效之處理方式之一：熱再生式焚化爐系統技術，以供參考。

【關鍵字】

1. 塗裝工廠(coating factories)
2. 挥發性有機物(Volatile Organic Compounds, VOCs)
3. 熱再生式焚化爐(Regenerative Thermal Oxidiser, RTO)

一、爐體介紹

焚化爐通常採三個熱交換床 (heat exchanger canisters) 設計，每一熱交換床均充填有馬鞍型之陶瓷材料 (ceramic saddles)，此三個熱交換床各有其功能，且隨著一定週期相互替換。在任何一個操作週期 (operating cycle) 下，廢

*大毅技術工程有限公司總經理

氣自其中一個熱交換床進入（用於加熱進入之製程廢氣），自另一個熱交換床排出（用於吸收經過高溫處理後之廢氣熱量）。第三個熱交換床則進行噴氣(Purge)，每一個操作週期經由大約90秒後自動切換，即可達到非常高之熱回收效率(thermal effectiveness)。由於當VOC溶劑濃度太低，須要較高熱回收率，焚化設備設計具有95%以上的熱回收效率，以有效減少輔助燃料用量。

三個熱交換床上連接一個共同的燃燒室(combustion chamber)，燃燒室安裝有燃燒機可維持在一個適當操作溫度，燃燒室的容積設計使廢氣在燃燒室之滯留時間為1秒，而廢氣滯留時間的計算扣除燃燒室一些可能會氧化(oxidation)之區域（即不是完全以燃燒室容積來計算廢氣滯留時間），因此設計上已保留了一些裕度。

由於設備選用正確的燃燒溫度及足夠的停滯時間並提供良好的混合效應，廢氣在燃燒室的破壞效率可達到近100%。然而，事實上廢氣入口及廢氣出口擋板(damper)切換時漏氣程度及噴氣(Purge)的效果均會影響到設備實際上之破壞效率。

當設備切換操作週期時，若是原為廢氣進入之熱交換床一瞬間切換為廢氣排出的熱交換床時，會有相當於整個熱交換床體積之未處理廢氣直接排放至大氣中。此將降低設備整體性之廢氣破壞效率(overall destruction efficiency)，基於這個理由，設備在設計上將原有為廢氣進入之熱交換床切換為吹氣狀態之熱交換床，利用抽氣方式將滯留在此爐床內的廢氣送至燃燒室氧化後再排出。此操作方式對設備整體性之破壞效率提昇有很大幫助。至於噴氣設計採抽氣方式，主要是因為大部份的VOCs有比空氣重之特性，因此大部份VOC廢氣能自熱交換床下方抽氣收集，而提昇整體性之廢氣處理效率，系統之總VOC破壞效率在95%以上。

二、設備介紹

下列章節將就整個焚化設備相關設施(components)個別加以描述。

2.1 热交換床(Heat Exchanger Canisters)

三個熱交換床以軟鋼板(mild steel plate)製作並經適當補強，以耐設備靜壓(static pressure)，而熱交換床內部均有隔熱處理(intenally insulated)，熱交換床之尺寸係根據廢氣流量、系統壓降及熱交換效率之需求設計決定。爐床內則充填有25mm大小的馬鞍型陶瓷材料，填充的數量及爐床的幾何形狀(geometry)則依系統之廢氣量所需之熱能回收效率及維持最小壓降等條件而設計。

2.2 燃燒室(Combustion Chamber)

在三個熱交換床上方設置有一共用的燃燒室，其同樣由軟鋼板製作，並經適當補強，以耐系統操作時之壓力。燃燒室內部同樣有隔熱處理，燃燒室則設計具有1秒以上之廢氣滯留時間。

在燃燒室側面相鄰的熱交換床處各自設置有一台燃燒機（共二台）。二台燃燒機採獨立控制設計，因此，若其中一台燃燒機故障，另一台燃燒機亦可以獨立操作不受影響。設計裝置有平台，便於燃燒機檢查及保養。同樣地，燃燒室設置有檢視門(access door)，人員可利用爬梯平台作例行檢查保養工作。

2.3 廢氣入口及出口岐管(Inlet and Outlet Manifold Systems)

廢氣入口及出口風管採用碳鋼材料(carbon steel)製作，而焚化爐體焚化時(Burnout)時所需之風管則以軟鋼材料製作。除了法蘭接頭外，所有風管採用一體焊接方式(continuously welded construction)製作且供應所有必須之膨脹接頭(expansion joints)。

2.4 擋板(Dampers)

RTO設備利用熱交換床定期自動切換方式來達到熱能回收利用的目的，因此設備在廢氣入口及出口風管上設置擋板以配合控制廢氣氣流流動方向及維持系統能依序操作。

2.4.1 新鮮空氣(Fresh Air)／入口噴氣(Inlet Purge)擋板

為供應設備在剛起爐(Start Up)及噴氣時所需之空氣，系統供應有一個新鮮空氣擋板並配置有一油壓控制之驅動器(hydraulic actuator)，當現場停爐沒有廢氣產生時，此擋板並可調節供應額外空氣，使設備正常操作。

2.4.2 熱交換床入口及出口擋板(Heat Exchanger Canister Inlet and Outlet Dampers)

此類擋板為 Heavy Duty Type，採用不銹鋼短軸(stainless steel stub shafts)設計，容量設計上在最高操作溫度下可克服操作上需求之扭矩(operator Torque)，外置之培林(outboard bearing)設計，其具有耐高溫、自動潤滑(self-lubricating)、自動校正(self-aligning)及耐蝕性。

2.4.3 爐床噴氣用擋板(Bed Prug Air Dampers)

每一個熱交換床個別設置有一擋板，以控制噴氣系統(purge system)，由熱交換床底部吸出的廢氣將導回至廢氣入口處與廢氣合併一齊再進到焚化爐內。

三、爐體控制系統

3.1 一般敘述(General)

爐體控制系統係為符合操作安全性及配合現場整合性及儘可能讓控制單純化而設計，基本上。它由下列五個基礎區段(principal areas)構成：安全連鎖控制(hardwired control of safety interlocks)、溫度及壓力的程序控制(process control of temperature and pressure)、擋板控制及錯誤診察等等之軟體(software controls of dampers and fault diagnostics etc.)以及控制電盤介面(operator interface)。執行PLC(可程式邏輯控制器)之軟體必須和所有控制系統的功能(aspect)相連，以維持設備整體性管理。控制系統設計可允許設備由塗裝工廠(main paintshop)直接以設備控制電盤(Oxidiser Panel)操控啟動。

3.2 安全連鎖控制(Hardwired Control and Interlocks)

此區段(Aeras)控制計劃(Control Scheme)乃藉由自動檢查電路(self-checking circuits)及零件(components)設計，以確保設備安全系統之完整性。基於安全性考量，部份對設備操作上有安全之虞的連鎖設定會較某些軟體連鎖(software interlock)具有優先執行能力，以確保即使PLC故障，設備仍能保持安全狀態。

在進行試車的時候，設備在點火前須先噴氣以確保安全，可監測燃燒空氣壓力開關(combustion air pressure switch)來作先期檢查，之後可藉啟動送風機及檢查前述之壓力開關以瞭解廢氣供應情形。在進行噴氣前，其他相關安全連鎖檢查項目包含所有擋板的位置是否正確，燃料油閥是否關閉，燃燒機是否熄火等等，均會先進行偵測檢查。噴氣時間由具有自我檢查功能之機械式定時器控制。一旦噴氣完成後，燃燒機則可以進行點火(lit)，而點火步驟利用一適當燃燒機控制器(burner controller)來控制。

燃燒機控制器中點火漏氣測試(start-up leak test)功能，可有效用於檢查燃燒空氣量及母火是否點著(ignite the pilots)，之後再利用紫外線火焰檢知器(UV flame detectors)來檢查火焰。當母火火焰順利點著後，燃燒機控制系統會自動點著主火(main burners)，而且系統之控制改由溫度控制器(temperature controller)來控制主火強弱，但是燃燒機熄火時安全性的控制仍時時由燃燒機控制器負責監控。當在某些特殊狀況下，溫度控制器亦會輸送訊號讓燃燒機熄火，以維持操作安全性。

3.3 系統控制(Process Control)

本系統係利用PID溫度控制器(temperature controllers)維持穩定之焚化爐(oxidiser)燃燒室的溫度，並利用獨立的"policeman"溫度控制器及溫度計，監控溫度控制系統，以確保其功能正常。此外，所有溫度控制器會發出數個設定點訊號進入PLC以供控制記錄所需，而其中部分訊號則用於啟動調節空氣閥(air damper)之動作。

藉由VFD變頻驅動裝置(variable frequency driver)可改變廢氣誘引風機(main fan)之速度，而PID壓力控制器(pressure controllers)可控制焚化爐

(oxidser)入口之靜壓，至於壓力設定點之操作模式，則類似於溫度設定點之操控模式。

3.4 PLC 系統

PLC之基本運用是為控制爐體週遭擋板之調節位置，以及進流機構，其間，同時用於顯示操作狀況，例如錯誤偵測(fault monitoring)，控制電盤介面(operator interface)之驅動。

3.5 控制電盤介面(Operator Interface)

控制電盤介面(operator interface)包含工廠流程模擬顯示(plant mimilc)，並利用LED指示燈顯示工廠現況。此一模擬系統顯示出所有擋板之開關狀況，另外在擋板移動或發生錯誤時，將以閃爍方式顯示。同時，嵐機馬達及其他設備之狀態亦會顯示於模擬系統。

3.6 啓動裝置(Starters)

所有啓動裝置將安裝於主控制電盤上(main control panel)，而廢氣誘引風機(main oxidiser fan)之VFD同樣地亦將被安裝在此控制盤面內部。

四、其他附加設備

4.1 燃燒機及控制(Burners and Controls)

系統在燃燒室側邊設置有二台燃燒機，燃燒機以LNG作為輔助燃料。二台燃燒機雖然是整組控制，但亦具有個別獨立操作的功能，此表示若其中一台燃燒機需作維修保養或故障時，設備仍能以另外一台燃燒機操作使用。

本系統燃燒機採用送風機分離式設計(separate combustion air fan)，且二台燃燒機共用一台送風機，系統供應所有相關的連接風管。燃燒機啓動及噴氣程序(purge sequence)由焚化爐控制電盤(oxidiser control panel)控制。燃燒機

在系統進到自動處理階段(auto thermal operation)時，會自動調節到最小火焰，以達到最小燃油消耗設計。

4.2 噴氣風機及岐管系統(Purge Air Fan and Manifold System)

此風機空氣來源來自於熱交換器床(heat exchanger vessel)，此一噴氣體積大約為整個系統流量之10%，而且獨立於系統產生量之外。此一特有之專利噴氣系統提供最有效率且高品質噴淨機制。可將比重重於空氣而聚積焚化爐底部之污染物吸出及掃除。由於噴吹氣體體積獨立於系統產生量，因此，實際上整體系統之破壞去除效率會隨實際進氣體積之下降而提昇。

4.3 油壓系統(Hydraulic System)

此系統將包括一組油壓單元(hydraulic power unit)，其中含有單線式油壓泵(one line hydraulic pump)及相關之閥組件管線，此系統將提供一壓力釋放旁通(bypass)。油壓泵可連續使用且具有過負荷(off load)操作之能力。貯油槽將配備一液位偵測計，以提供低液位之警告，另配備風扇式冷卻器，可保護其免受氣候之侵襲。此單元元件將安裝雙重壓力及回流過濾器，以供線上(on line)使用。一套"system healthy"之壓力開關將監控整個系統，當油壓系統(hydraulic system)發生問題時，將由一套緩衝設備(accumulator)保持足夠之壓力，以確保系統在可控制的狀況下開機。(系統發生問題時，所有的擋板調整至“開”(open)的位置，僅有焚化爐系統入口之擋板調至“關”(close)的位置)。

4.4 燃燒機組工作平台(Burner Access Platform)

燃燒機、瓦斯管路(gas train)及燃燒用輔助空氣風機(combustion air fan)將附有一套爬梯及工作平台，以供維修檢視之用。此套工作平台亦可供檢修燃燒室(Combustion Chamber)之用，工作平台欄杆及爬梯扶手採用不銹鋼材質。

4.5 焚化爐系統排放風機(Oxidiser/System Exhaust Fan)

4.5.1 廢氣誘引風機(Main Fan)

焚化爐(oxidiser)配置有專用之誘引式風機(induced draft fan)，此風機將氣體自Oven風管導引經焚化爐，最後由一般之排放煙囪排出。此風機是針對廢氣

流量 $75,000\text{Nm}^3/\text{hr}$ 之設計，同時在保留現有Oven之排放風機正常運轉下，可有效去除Ovens所產生之所有廢氣(fume)。

此風機包含下列部份：

- 直聯式馬達(direct coupled motor)
- 軸封(shaft seal)
- 防火花功能(anti sparking features)
- 檢修門(access door)
- 法蘭接頭式入口及出口(flanged inlet and outlet)
- 排水口(drain point)
- 絝緣器(insulation)

4.5.2 變頻驅動裝置(VFD, Variable Frequency Drive)

風機配置有可變速驅動裝置，以確保焚化爐(oxidiser)不致影響oven之平衡(balance)。焚化爐(oxidiser)之速度將由系統入口之靜壓控制器(static pressure controller)所控制。

4.6 排放煙囪(Exhaust Stack)

焚化爐將配置有排放煙囪，此煙囪之設計將依整體系統之流量而定，其包含入口之法蘭接頭、檢修門(access door)、檢測採樣孔(test points)、排水孔及不銹鋼防傾設施。此煙囪底部將有適當保溫，至於檢測平台除依環保法令要求設置電源插座及爬梯(不銹鋼)外，設置避雷針(2m地下深度埋設1.5m長銅棒)。煙囪結構材質為不銹鋼，高度為15m。

4.7 附加技術資料(Additional Technical Data)

4.7.1 陶瓷材料介質(ceramic bed media)

每一爐床均充填有化學工業所發展之陶瓷鞍狀物(ceramic porcelain saddles)，其具有鈍性、不易破碎之特性，且其設計可允許氣體有很大的路徑(air path)通過，使壓降減至最小。同時，便具有非常長的使用壽命。

4.7.2 焚化爐起爐及關機之時間(oxidiser start-up & shut-down time)

焚化爐系統可自動起爐及關機，一般估計典型之起爐(start-up)時間如下：

自冷爐昇溫時間 : 4小時

系統平日昇溫時間 : 30分鐘

系統週末停機24小時內昇溫時間 : 1小時

4.7.3 焚化爐使用壽命(oxidiser life)

有關操作控制及保養維護時間表，請完全依操作維護說明執行。一般而言，焚化爐使用壽命超過15年。

4.7.4 噪音控制(acoustic control)

將提供必要之噪音控制，以達距焚化爐(oxidiser)1m所測噪音值為80dBA之標準。

4.7.5 Burnout

焚化爐將提供Burnout之功能，此功能可有效去除沉積在焚化爐爐床內之有機物，以維持設備應有的正常功能。

4.7.6 設備表面溫度(equipment skin temperature)

焚化爐內部完全加以襯裏隔熱，以保持熱量不致散失。在焚化爐較低之部位，一般而言，溫度不高，而出口風管(manifold)溫度較高須加隔熱包覆，以保護操作人員。焚化爐之燃燒反應室操作溫度為815°C，其內部之襯裏將確保表面溫度和週遭外界溫差在40°C以下。

4.7.7 表面油漆(painting)

焚化爐經噴砂處理(shot-blasted)、底漆(primed)並塗覆二層面漆。

五、結論

本文針對適用於塗裝工廠排放VOCs廢氣處理之熱再生式焚化爐設備進行原則性介紹。然而實際設計基準與參數則必須與實際工程需求配合，同時，其

他相關設備，如風管(ductwork)安裝，土木工程工程管理等亦需考量實際而定，以達最適合之工程設計與處理成效。

參考文獻

- 1.馬作棟等“POM工程塑膠廠製程廢氣之焚化處理技術”，1994工業污染防治工程實務技術研討會論文集(Ⅱ)，台中，83年12月，P.365。
- 2.李俊廣“再生式焚化技術”，84年度工業污染防治講習會—VOC管制趨勢與處理技術講習會，經濟部工業局主辦，台北，84年4月，P.115。
3. United States Patent No. 5,098, 286, 1992.
4. “工業減廢技術手冊：塗料工業及塗裝工程”，經濟部工業局，84年3月。