

可清潔式濾材測試標準簡介

胡明銓、林詩音、郭家偉
紡織產業綜合研究所 檢驗部

摘要

隨著環保意識的抬頭及民眾對空汙議題的重視，因此針對如何有效防治廢氣排放時不會汙染到周遭的空氣品質變得更為重要，安裝袋式集塵器成為有效防治的方法之一。本文將針對如何評估袋式集塵器濾材性能做概要的介紹。

前言

PM_{2.5} (particulate matter)是顆粒直徑 ≤ 2.5 微米的污染物，此種顆粒本身就是汙染源，它可以是重金屬、多環芳香烴等有毒物質及有害氣體載體，嚴重危害動物的呼吸系統與心血管系統。對於控制 PM_{2.5} 危害問題，國內外都十分重視並對 PM_{2.5} 排放制定了嚴格的標準。國內環保法規與國際間環保貿易法規有愈來愈嚴苛的趨勢，對工業界的排放標準之要求愈來愈高，污染防治措施也將跟著提高。政府有鑒於創造民眾高的生活品質，對於工廠新設機組之空汙排放規範就愈趨嚴謹，行政院環境保護署已於 2012 年 5 月公告細懸浮微粒 PM_{2.5} 之周界空氣品質標準並進行相關管制作業。PM_{2.5} 乃為近年來環境控管趨勢，目前火力發電廠、鋼鐵廠、石化廠等工業及焚化廠對產生出廢氣微粒子濃度的排放將更加的注重，以免遭到罰款及危害附近居民的健康。

針對粒狀污染物排放常見的控制系統包括了重力沉降、旋風集塵、洗滌塔、靜電集塵與袋式集塵等方法。袋式集塵器在設置和維護成本雖然較高，但對集塵有最好的效果，因此本文將針對可清潔式袋式集塵器所使用的濾材評估方法予以介紹，以期望幫使用者能評估濾材的性能。

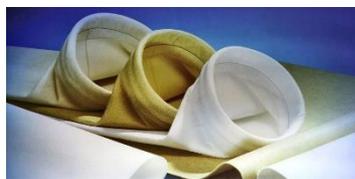


圖 1、袋式集塵器濾袋[5]

材料的選用

濾料在工業廢氣集塵的應用已越來越受到重視，因此對材料的選擇也變得更為重要。材料的選擇必須根據應用工況的相關技術參數選擇適當的濾料，才能為濾料的長期平穩運行提供充分的保證並符合或超過最低排放濃度的控制標準和使用壽命的要求。濾料的選擇包括煙氣的性質和溫度、粉塵清灰過程及粉塵種類。纖維的化學和物理性質對於濾

料的效率和使用壽命有本質的影響。煙氣粉塵的物理、化學性質和溫度會以各種各樣的方式影響纖維的穩定性。針對纖維的性質如表 1 所示。

表 1、濾材的性能[5]

纖維種類		持續溫度 (°C)	瞬間溫度 (°C)	水解穩定性	耐酸性	耐鹼性	氧化穩定性	允許 PH 值
聚丙烯	PP	90	95	優	優	優	受限制的	1~14
聚丙烯腈	PAN	125	140	良	良	中	良	3~11
聚酯	PET	150	150	受限制的	中	受限制的	良	4~12
聚苯硫醚	PPS	190	200	優	優	優	中	1~14
聚醯亞胺	PI/P84	240	260	良	中	中	良	3~13
聚四氟乙烯	PTFE	250	280	優	優	優	優	1~14

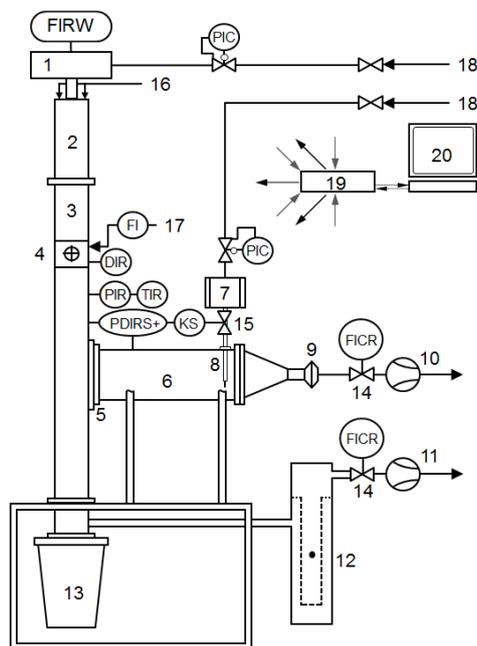
測試系統架構

目前與可清潔式濾材性能測試有關的常見評估方法有 ISO 11057、VDI 3926 及 ASTM D6830 等標準。以 ISO 11057 為例，其測試系統的架構如圖 2、圖 3 共可分成以下幾部份。

- a. 風洞系統：系統主要由一個垂直與水平的風洞構成，測試樣品被置於垂直與水平的交界處。
- b. 粉塵餵入系統：將測試用的粉塵由風洞的頂端餵入系統，並以控制餵入速度的方法來達成濃度控制。
- c. 濾布的逆洗系統：利用一高壓空氣以間歇性的方法清潔濾材，使濾材上的塵餅脫落。
- d. 利用程序控制的方法，依照測試程序進行相對應的動作。



圖 2、可清潔式濾材性能測試系統



1. 發塵器；2. 混合管道；3. 垂直風洞（粉塵氣體管道），截面積 120×300 mm；4. 光學濃度監測儀；5. 濾材支架，樣品直徑 140 mm；6. 水平風洞（清潔氣體管道），直徑 150 mm；7. 壓縮汽缸 / 儲氣筒（2.5 L / 0.5 MPa）；8. 噴嘴；9. 量測潔淨氣體重量的絕對濾材效率；10. 清潔氣體幫泵（抽吸）；11. 垂直粉塵管道幫泵（髒氣抽吸）；12. 粉塵後備過濾器；13. 垂直管道粉塵收集器；14. 總流量 / 質量控制器；15. 隔膜閥；16. 環境（室溫）空氣入口；17. 潔淨逆洗氣體；18. 壓縮空氣（0.6MPa）；19. 控制和資料擷取系統；20. 電腦數據分析。FI 氣流通量指示和量測；FIRW 粉塵流率量測、指示和紀錄；KS 信號產生器和定時器；PDIRS+ 壓差測量、指標、控制和開關裝置；PIC 壓力指標和控制；PIR 壓力指標和紀錄；QIR 濃度測量、指標和紀錄；TIR 溫度量測、指標和紀錄。

圖 3、可清潔式濾材性能測試系統架構圖

針對 ISO 11057 的測試程序共有 4 個必測步驟，分別為濾材初始性能的測試、老化處理、穩定化處理、穩定化後濾材性能測試，測試程序如表 2 所示。

表 2、ISO 11057 的測試程

量測程序	條件	量測濾材下游之粉塵濃度
步驟 1：濾材初始性能的測定	在濾材安裝後，開始餵入粉塵，當濾材的壓損達到所指定壓損 (1000 Pa) 時進行逆洗動作，反覆 30 次後測定濾材增重。	Yes
步驟 2：老化處理	過濾過程中針對濾材進行 20s 的逆洗動作，反覆 2500 次。	No
步驟 3：穩定化處理	為使老化後的濾材樣品過濾性能穩定，按照步驟 1 之程序反覆 10 次。	No
步驟 4：穩定化後濾材性能測試	對於經步驟 3 穩定化處理的濾材，按照步驟 1 之程序反覆 30 次濾塵-清灰的操作。	Yes
步驟 5：選擇性量測	將步驟 1 的清洗濾材時的壓損提升到 1800 Pa，測試時間為 2 小時。	Yes

ISO 11057、VDI 3926、GB/T 6719 及 ASTM D6830 等標準的設備主架構基本上皆相同，但測試的參數會因標準的不同而有所差異，表 3 為 4 種不同標準的測試參數比較。除了 ASTM 6830 的粉塵濃度為 18.4 g/m³，其他的標準的粉塵濃度則為 5 g/m³；濾材的面速度(氣布比)皆為 2m/min。

表 3、高溫濾材測試參數比較

	ISO 11057	VDI 3926	GB/T 6719	ASTM 6830
粉塵濃度 (g/m ³)	5			18.4
粉塵粒徑(MMD)	4.5			1.5
濾材面速度(m/min)	2			
儲氣筒壓力(M Pa)	0.5			
初始測試	1000 Pa/30 次			-
老化測試次數	2500	10000		
脈衝時間 (ms)	60		50	
老化週期時間(秒)	20	5		3 (5)
老化總測試時間(秒)	50000			30000
穩定測試	10 個循環	10 個循環	10 個循環	30 個循環
正式測試時間(小時)	2	30 個循環且至少 2 小時	30 個循環	2/6 (PM _{2.5} imapctor)
選擇性測試	1800 Pa，測試時間為 2 小時			

濾材性能比較

袋式集塵器所使用的濾材一般可分為有貼膜與無貼膜的形式，下方的左圖為濾袋使用非薄膜模式的濾材，因此可由圖片上得知有許多的粉塵會進入濾材的內部，這些粉塵一旦進入濾材的內部時，當濾材被逆洗時就不易脫離濾材，造成阻抗增加較多。右圖則在濾布的表片貼合一層 PTFE 薄膜，因此粉塵不易進入濾布的內部，所以當濾布一旦被逆洗的時候，可將濾布上的粉塵都清除掉，故清潔後的濾布阻抗不會明顯的增加，因而可增加濾袋的使用壽命。

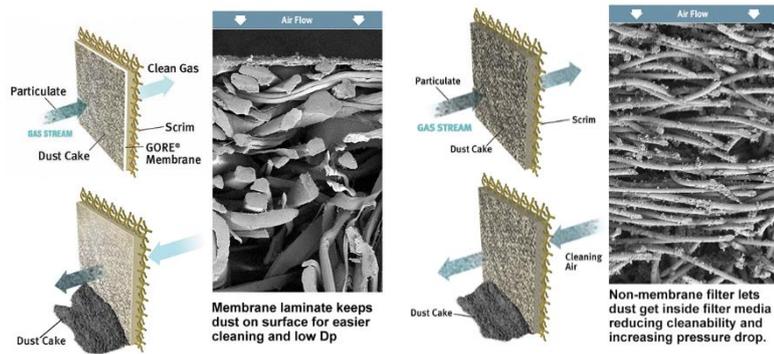


圖 4、表面過濾(右)與深層過濾(左)比較[6]

圖 5 及圖 6 為 Nomex 針軋不織布在有無貼 PTFE 薄膜的狀況下經 100 個循環測試後的殘留壓損變化。由實驗結果可知，沒有貼膜的 Nomex 濾布雖然在初始的壓損比有貼膜的材料低了約 43 Pa，但經過 100 循環的測試之後，可以發現有貼 PTFE 膜的濾材與無貼膜的材料壓損只差 15Pa(圖 5)。

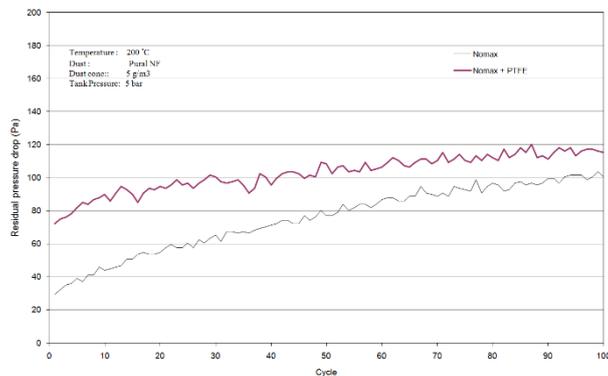


圖 5、樣本經 100 個循環測試後的殘留壓損變化 (VDI 3926)

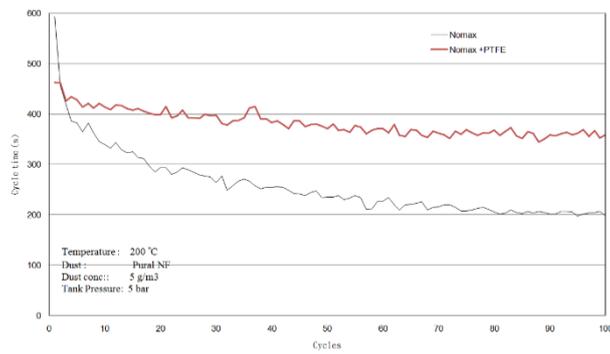


圖 6、樣本經 100 個循環測試，每一循環測試的壽命比較 (VDI 3926)

雖然有貼 PTFE 薄膜的濾材在前 100 個循環時的殘留壓損要比無貼 PTFE 薄膜的濾材來的高，但有貼 PTFE 薄膜的濾材在每一循環的測試中，濾材可使用的時間也明顯的比無貼 PTFE 薄膜的濾材來的高。經 100 個循環測試，有貼 PTFE 薄膜的濾材和無貼膜的使用壽命分別為 38214 秒及 25742 秒，壽命約多了 1.5 倍的時間。針對未貼 PTFE 薄膜的濾材，可以發現雖然在初期的時候濾材有較長的使用時間，但經過幾個逆洗的程序之後，每週期的測試時間則明顯的下降。相對的有貼膜的濾材，每週期的測試時間則是緩慢的減少。

但若樣本持續的經過 2500 次的老化測試，之後再對樣本進行 2 小時的測試，由圖 7 及圖 8 可知有貼 PTFE 薄膜的濾材的殘留壓損並沒有明顯的增加，且殘留壓損反而遠低於無貼 PTFE 薄膜的濾材 340Pa。在每一循環的測試中，二種濾材可使用的時間相差了約 12 倍，有貼 PTFE 薄膜的濾材和無貼膜的材料在 2 小時內的逆洗次數分別為 22 次及 267 次，其主要原因如圖 4 所示，有貼 PTFE 薄膜的濾材為表面過濾，無貼膜的為深層過濾。

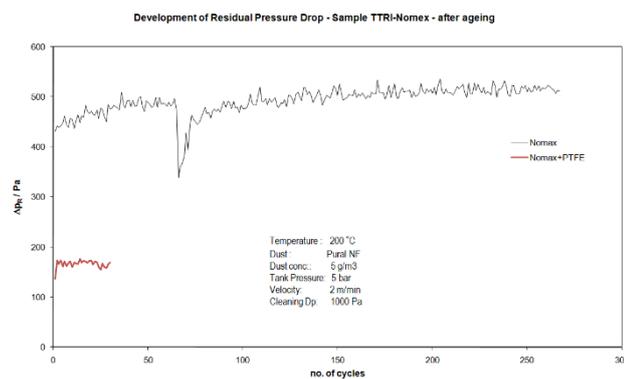


圖 7、樣本經老化測試測試後的殘留壓損變化 (ISO 11057)

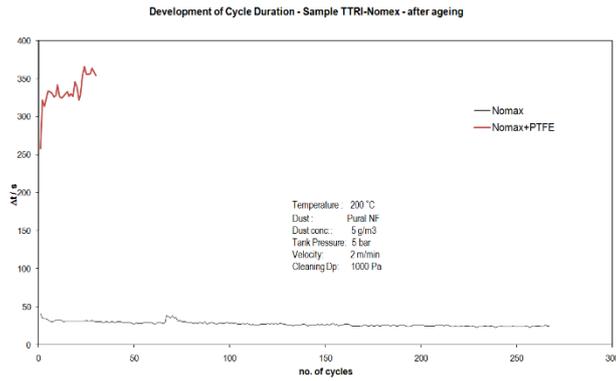


圖 8、樣本經老化測試測試後的壽命週期 (ISO 11057)

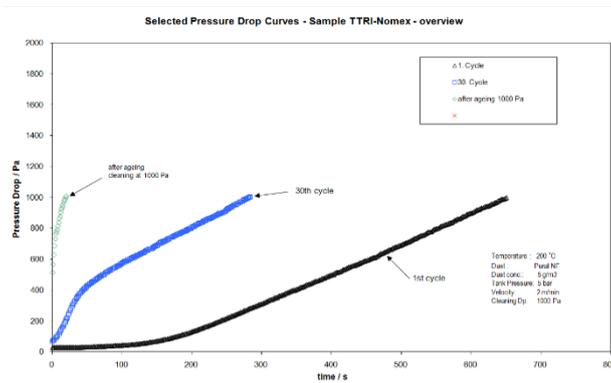


圖 9、無貼 PTFE 薄膜濾材於不同循環測試下的壽命比較 (ISO 11057)

由圖 9 及圖 10 可知在第一個循環測試時，沒貼膜的材料其壓損上升較為緩慢，原因為無貼膜的材料為深層過濾，有貼膜的材料為表面過濾，如圖 4 所示。但粉塵一旦進入濾材的內部後就不易藉由逆洗的方式脫離濾材，因此在第 30 個循環的時候可發現濾材的循環時間已較最初少許多(圖 9)，但相對的有貼膜材料於第 1 個和第 30 個循環測試所需的時間只有些微的差異，分別為 401 秒及 354 秒(圖 10)。當老化模擬測試之後，更可以看出二者材料的使用壽命有明顯的差異，無貼膜及有貼膜的壽命分別為 25 秒及 354 秒，二者相差 14 倍的時間(圖 11)。貼膜材料於老化模擬測試之後的性能仍與第 30 個循環測試所需的時間並沒有明顯的差異(圖 12)。

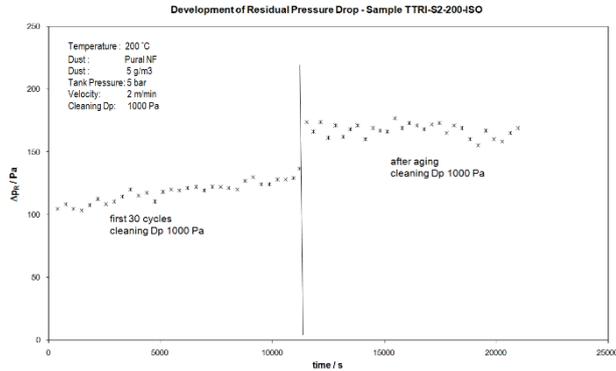


圖 10、貼 PTFE 薄膜濾材於不同循環測試下的壽命比較 (ISO 11057)

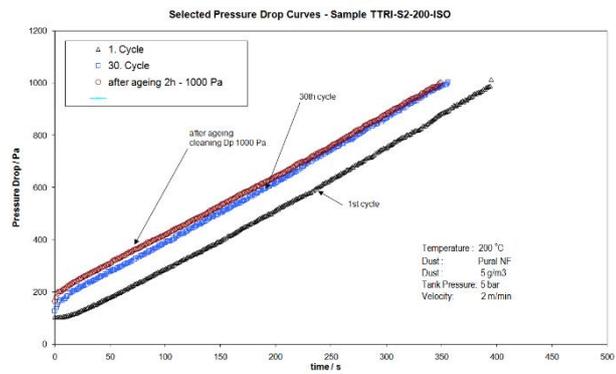


圖 11、無貼 PTFE 薄膜濾材於不同循環測試下的殘留壓損 (ISO 11057)

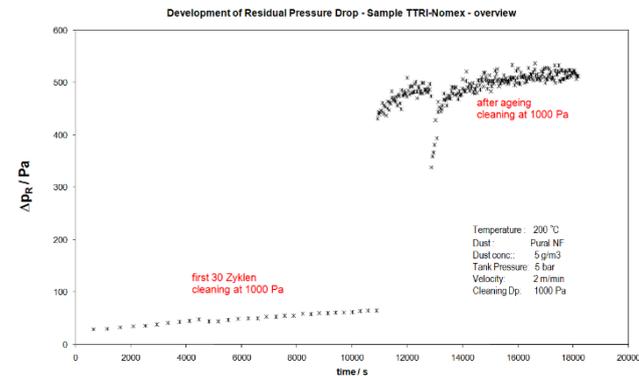


圖 12、貼 PTFE 薄膜濾材於不同循環測試下的殘留壓損 (ISO 11057)

ISO 11057 與 ASTM D6830 之測試差異

針對高溫濾材的測試有不同的標準，不同的標準所測出的結果往往也會有明顯的差異性。表 3 為不同標準的老化測試比較。由表中可知 ASTM D6830 在測試的一開始即先針對材料進行 10000 次的加速老化的測試，每次的週期為 3 秒，其老化時間總共為 30000 秒，雖然老化測試的總時間要 ISO 11057 少許多，但濾材所得到的測試數據卻比較差。圖 13 為不同測試標準的殘留壓損的比較，由圖中可知濾材在經過老化測試後，以 ASTM D6830 測試方法所得到的濾材殘留壓損要比 ISO 11057 來的高，且殘留壓損會隨著每

一循環的測試有明顯的持續上升，但以 ISO 11057 所測試出的殘留壓損並沒有明顯的上升。圖 14 則為不同測試標準的週期時間(壽命)比較，由圖中可知濾材在經過老化測試後，以 ASTM D6830 測式方法所得到的濾材於每周期下的壽命要比 ISO 11057 來的低。

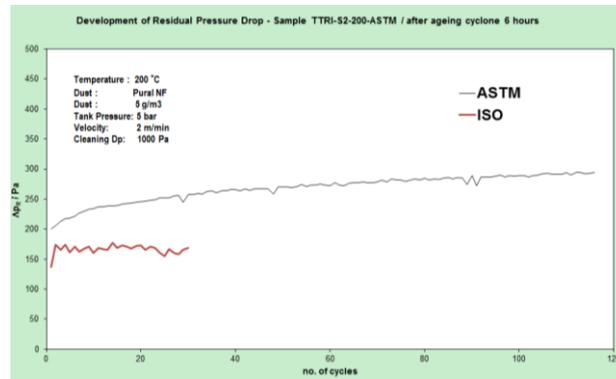


圖 13、不同測試標準的殘留壓損比較

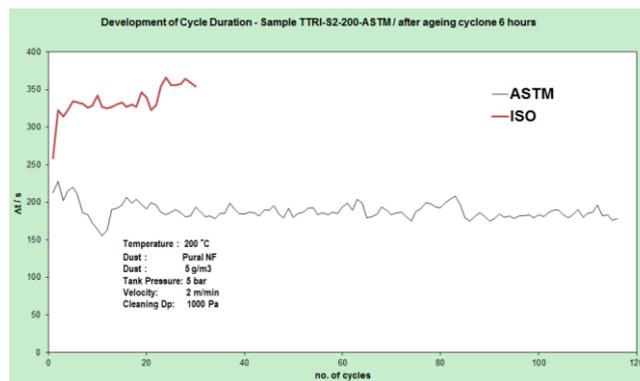


圖 14、不同測試標準的週期時間(壽命)比較

結論

袋式集塵器在廢棄集塵上有良好的應用，但濾材的選擇必須考量所使用的環境才能確保發揮集塵的效果。傳統評估濾料的壽命時會參考容塵量，但針對可清潔式的濾料由於主要是屬於表面過濾的機制，容易造成誤判。然而 ISO 11057 等相關標準主要是模擬長期實際使用狀況，因此較能評估濾料基材有無貼膜的使用壽命。

參考文獻

1. ISO 11057:2011 Air quality - Test method for filtration characterization of cleanable filter media.
2. ASTM D6830-02(2016) Standard Test Method for Characterizing the Pressure Drop and Filtration Performance of Cleanable Filter Media

3. VDI 3926-1:2004(R 2018) Testing of cleanable filter media - Standard test for the evaluation of cleanable filter media
4. GB/T 6719:2009 袋式除尘器技术要求
5. BWF environmental and industrial technology (Wuxi) Co., Ltd.; <http://www.bwf-envirotec.cn>
6. W. L. Gore & Associates, Inc.; <https://www.gore.com>