

高效過濾器容塵量測試 探討使用壽命與FFU之耗能

by

張耿政/奇立實業股份有限公司

壓損增加率之探討:

$$\Delta P = \Delta P_0 + K_2 \frac{VM}{A}$$

Novick's semi-empirical model

影響壓損因素:

1. 過濾風速
2. 環境(回風粒子濃度)
3. 濾網有效面積(高度、折數、工法)
4. 濾網材料(濾材廠牌、材質)
5. Particle Characteristics

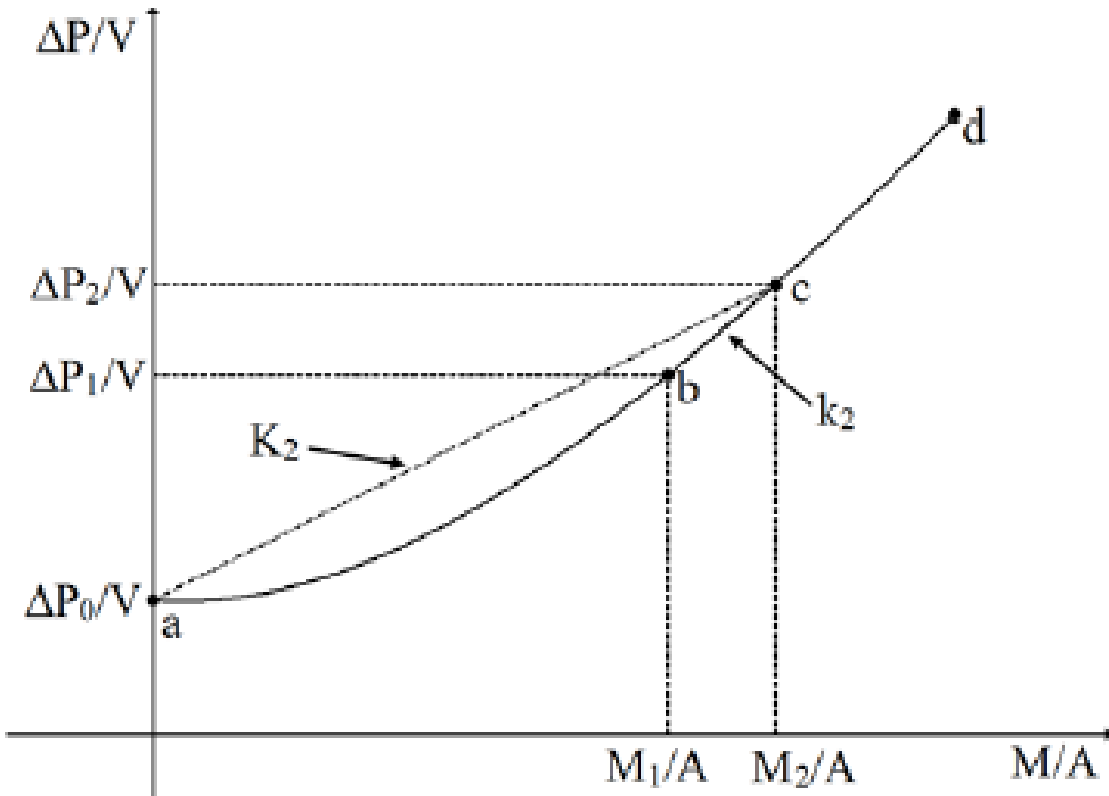


Fig. 9. Definition diagram of dynamic pressure drop coefficient k_2 .

實驗室使用不同粒子的容塵量測試結果

Chen et al., Aerosol and Air Quality Research, 15: 2436–2444, 2014

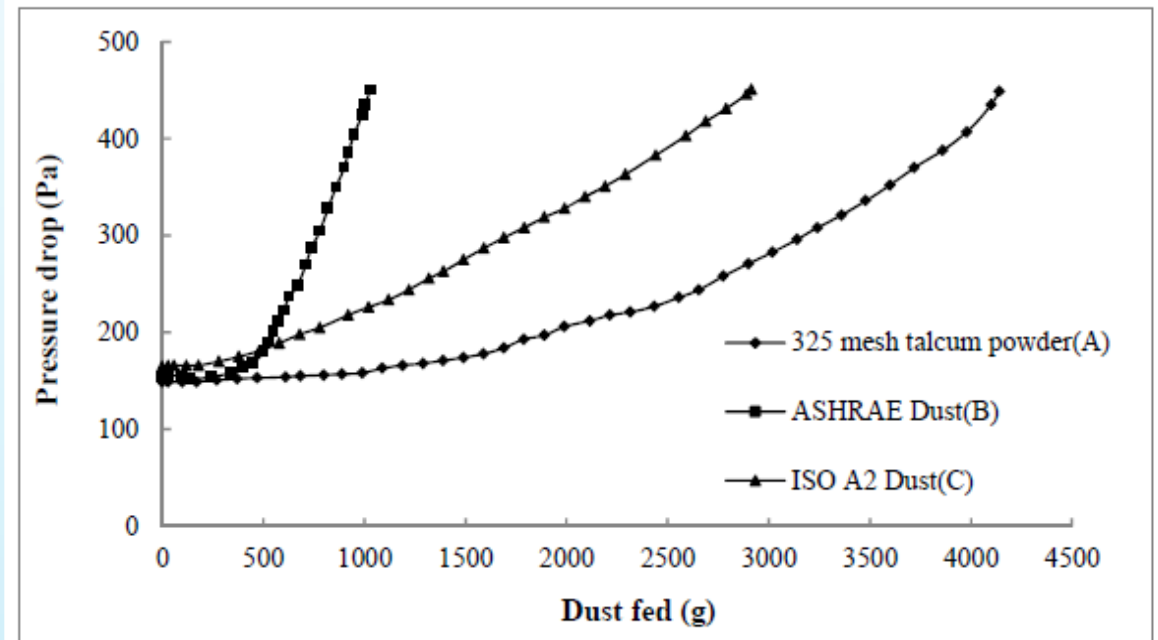
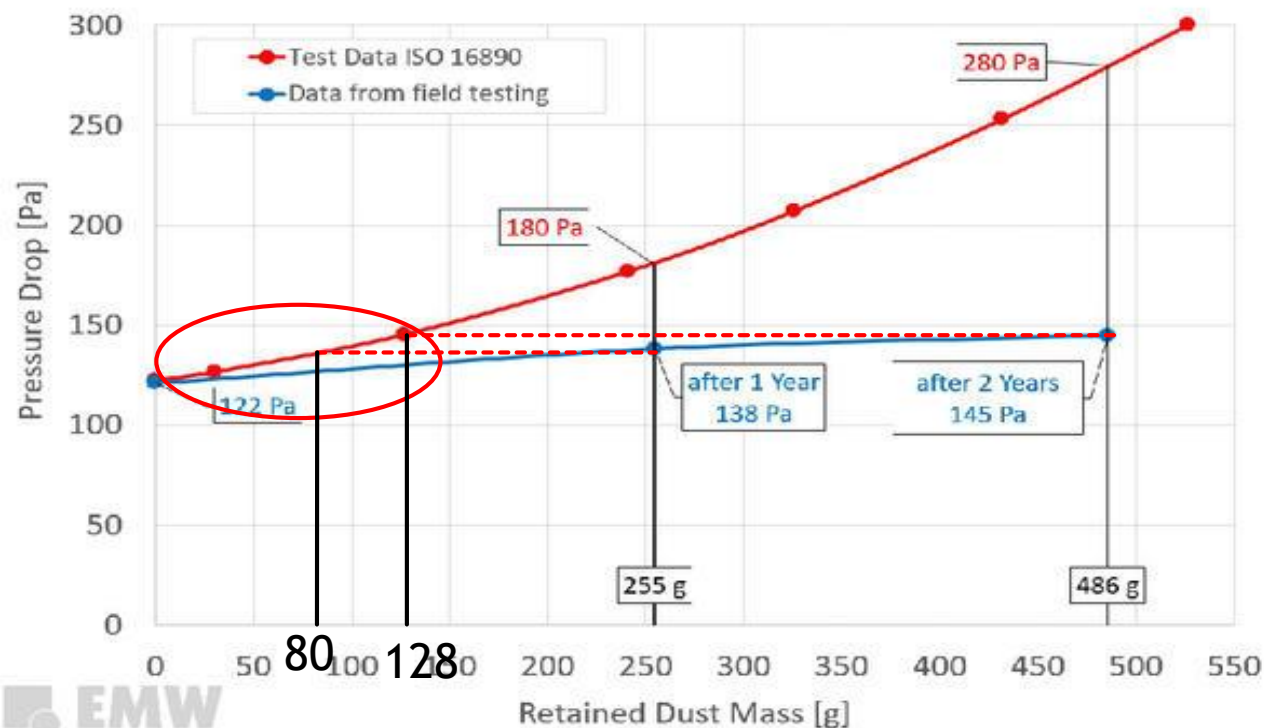


Fig. 3. Pressure drop as a function of dust fed for clean filter.

*濾網整組VS濾材容塵曲線差異!(測試粉塵、濾材材質及有效面積影響)

實驗室的容塵量測試結果與真實環境容塵量測試結果比較



480/128=3.8
255/80=3.2

不同濾材的容塵量(KCl)測試結果比較

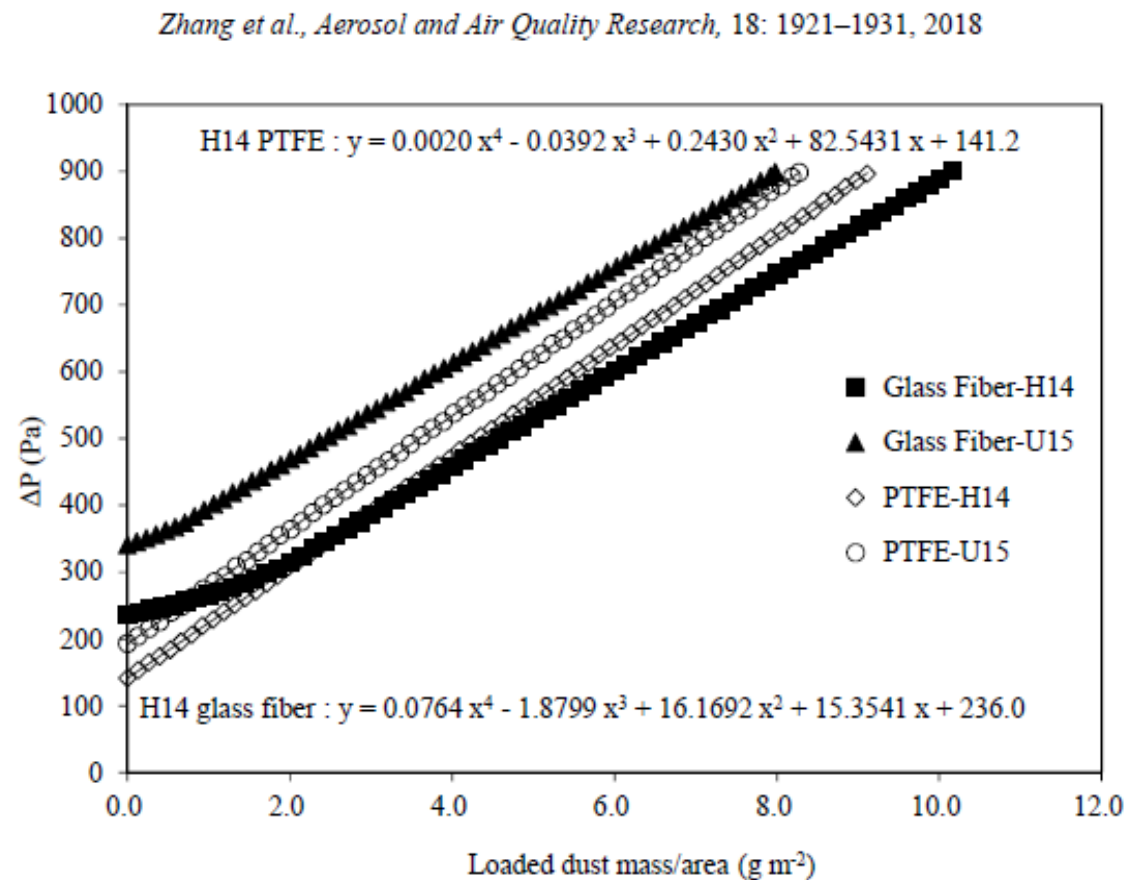
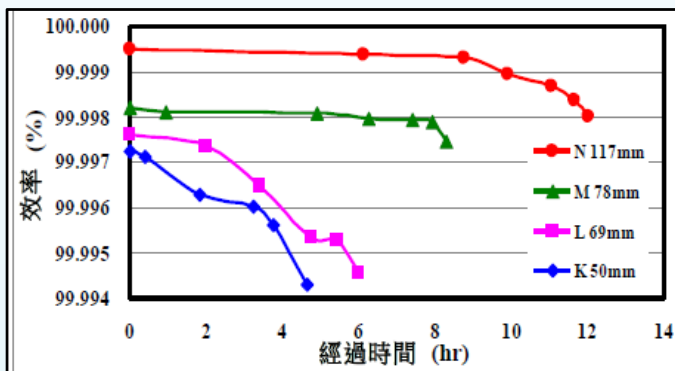


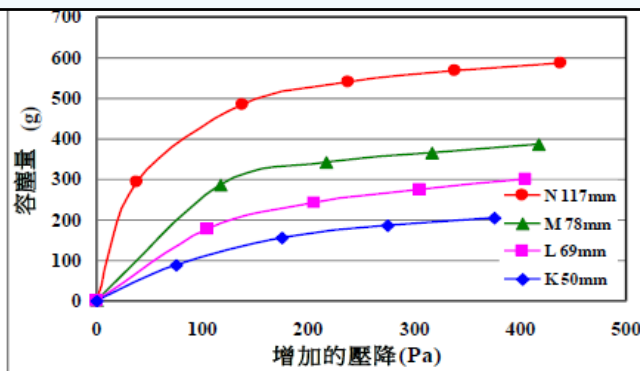
Fig. 8. Pressure drop curves of four HEPA media during dust loading.

- 濾網過濾風速降低，過濾效率提高(效率@設計風量 vs 運轉風量)
- 濾網壓損增加，過濾效率降低(最終壓損)
- 濾網有效濾材面積越大，其容塵量越大

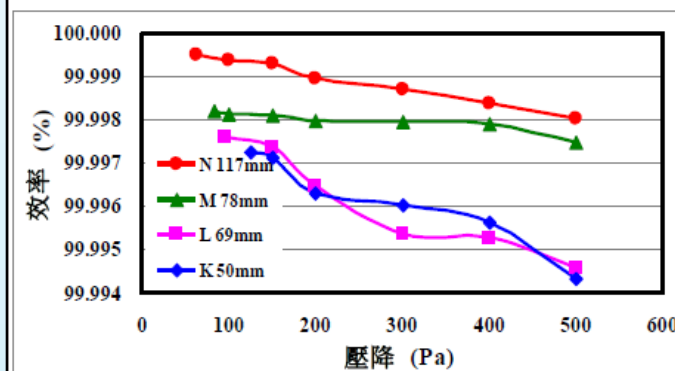
實驗室使用PAO粒子的容塵量測試結果比較:



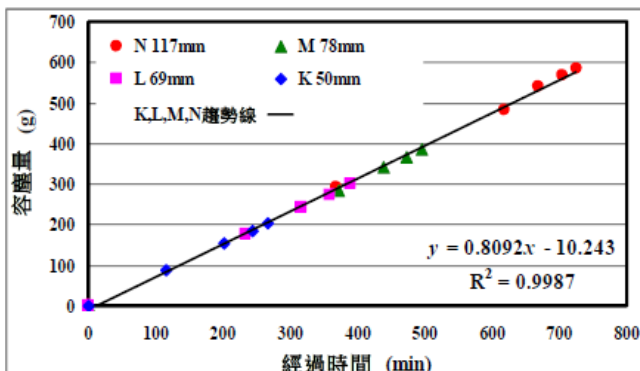
Test time vs. Filter efficiency
(Case K ~ Case N)



Pressure drop vs. Dust holding capacity
(Case K ~ Case N)

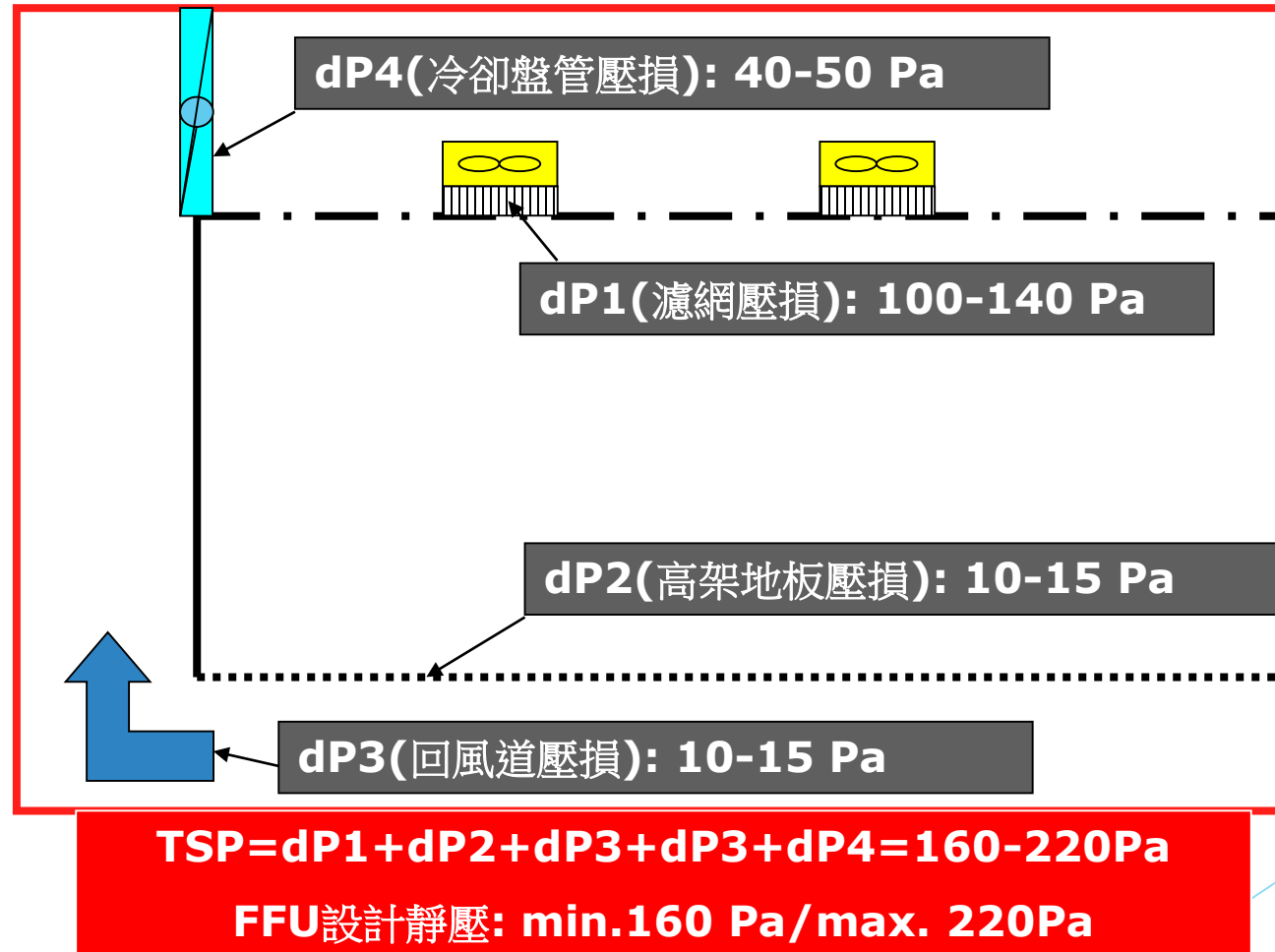


Pressure drop vs. Filter efficiency
(Case K ~ Case N)



Test time vs. Dust holding capacity
(Case K ~ Case N)

- FFU風量靜壓設計(運轉帶而非單純運轉點的考量)



有效選擇節能濾網壓損規格

最終濾網壓損=初始壓損 + (一般濾網廠家建議最終壓損不超過初始壓損的2~2.5倍?)

a. 避免風機風量不足(全靜壓因最終壓損過高) b. 避免濾網效率降低過大

無塵室FFU全靜壓之設計需求，主要是考量FFU在設計循環風量下所需克服之靜壓包括：

- | | |
|------------------|-------|
| 1. 高效濾網壓損 | 100Pa |
| 2. 高架地板壓損 | 15Pa |
| 3. 風道壓損 | 15Pa |
| 4. 冷卻盤管壓損 | 50Pa |
| 5. 長期運轉日後濾網增加之壓損 | 100Pa |

全靜壓

180(初始)~280Pa(最終)

一般而言，傳統上高效率網初始壓損就佔有全靜壓需求一半以上，假設HEPA初始壓損100Pa/最終壓損200Pa，高架地板壓損15Pa，風道壓損15Pa，冷卻盤管壓損50Pa，則初始全靜壓為180Pa，濾網初始壓損就佔了全靜壓50%以上。所以選擇低壓損及日後壓損增加率低之濾網就可確保有效降低FFU耗能了。

不同濾材高度時其濾網壓損增加率是不一樣的!

A. 低初始壓損:(增加濾材面積時，最顯著的效益就是初始壓損的降低)

表一裡首先最值得注意的是，當濾材厚度從35mm提高至 85mm，初始壓損可從120Pa降低到60Pa。換言之，初始運轉全靜壓可從200Pa降到140Pa。從耗能來看，以1200x1200 FFU設計風量39CMM為例，初始耗能可從257W降低到182W，初始運轉耗能就可節省約29%。單台第一年可省下電費**1775元**(75Wx24x365/1000*2.7)

B. 低壓損增加率:不同濾材高度時其濾網壓損增加率是不一樣的

以濾材厚度35mm為例，其濾網壓損在容塵量100g時增加80Pa，但在容塵量200g就急遽增加380Pa，換言之，其壓損增加率由0.8提高之1.9，也表示一般風機的正常選機下之能力是無法滿足此種靜壓大幅增加的運轉條件。所以，上述濾網在容塵量累積到100g時，就可能因為靜壓負載過高導致風量不足而需要更換濾網了。

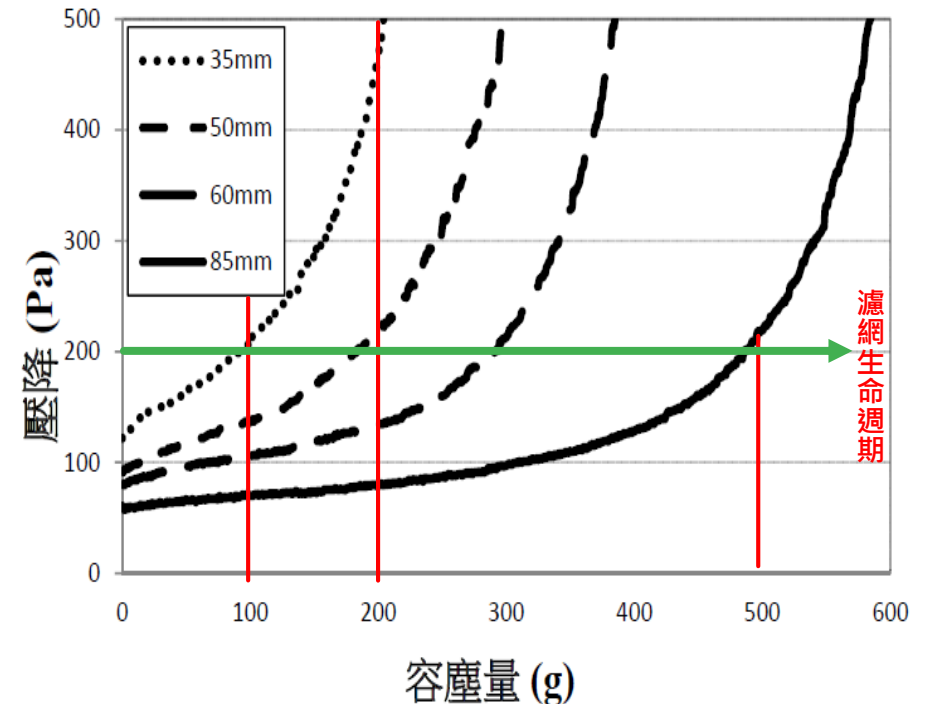
反之，以濾材厚度85mm為例，其濾網壓損在容塵量100g時只增加10Pa，而在容塵量200g也只增加20Pa，換言之，其壓損增加率都保持在0.1，且還在一般風機的正常能力可滿足靜壓增加的運轉條件，並且從圖一顯示上述濾網在最終壓損200Pa時，容塵量可累積到500g，換言之，濾網濾材厚度85mm的壽命是濾材厚度35mm的5倍以上。

從表一顯示，在相同容塵量下，濾材厚度越高者其濾網壓損增加量越小，例如當濾材厚度從35mm提高至 85mm，當容塵量達100g時，最終運轉全靜壓可從280Pa降到150Pa。從耗能來看，以1200x1200 FFU設計風量39CMM為例，最終運轉耗能可從360W降低到195W，最終運轉耗能就可節省約46%。所以，最終運轉電費差異為3903元(165WX24X365/1000X2.7)。使用低壓損濾網平均每年可省**2839元**，從長期運轉節能觀點，選擇低壓損增加率的濾網是極其重要的。

表一. 從圖一整理不同厚度玻纖濾網容塵量與濾網壓損關係[2]

濾網厚度 mm	濾材厚度 mm	初始壓損 Pa	容塵量100g		容塵量200g	
			最終壓損Pa	壓損增加率Pa/g	最終壓損Pa	壓損增加率Pa/g
50	35	120	200	0.8	500	1.9
69	50	90	135	0.45	220	0.65
78	60	80	105	0.25	130	0.25
117	85	60	70	0.10	80	0.10

薛安廷、黃羽生、關子堯、陸紀文、胡石政，“建構一全尺寸的高效過濾器容塵量測試平台:對於以玻纖及ePTFE為基材之高效過濾器之測試結果”，潔淨科技Vol.44, 2020



有效選擇節能濾網壓損規格

濾網濾材厚度(面積)最佳化選擇:

濾材有效面積:

有些濾網規格除了要求在某一風量下之初始壓損，更甚者會要求濾材高度、折數以確保其濾材面積。ISO 29464 也清楚的區別濾材總面積(overall medium area)及濾材有效面積(effective medium area)，但是重要的確是濾材有效面積，有效面積會因濾網框的形式，框膠多寡，支撐方式等影響，這些因素則是取決於濾網廠商之設計及製造品質。所以容塵量的測試是可當作一個有效的壽命評估參考。

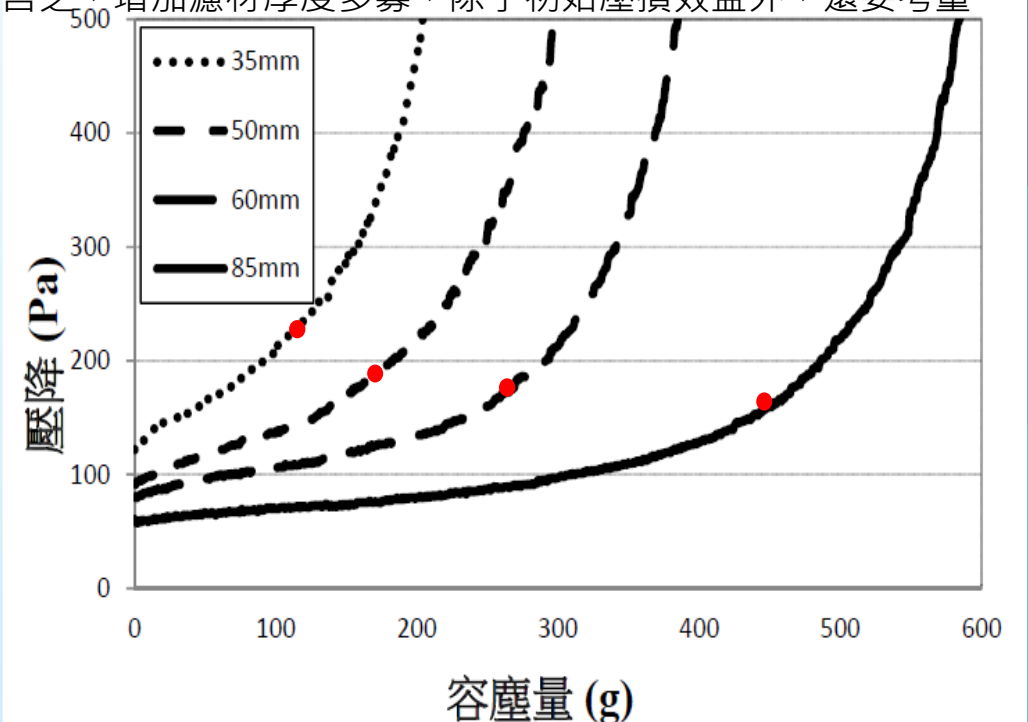
基本上，容塵量高表示濾網使用壽命越長。一般濾網廠家建議最終壓損不超過初始壓損的2~2.5倍。但實務上從FFU風機選機能力，大多以無塵室濾網長年運轉後增加之壓損不應超過100Pa來估算，尤其是FFU早期大多為AC馬達時，選用馬力過大時只會徒增耗能，同時若以運轉耗能考量，隨著DC FFU之普及，即使風機能力夠也要考量濾網壓損過高而導致耗能太高而該換濾網進而有調降負載而有效減少耗能。

表二以濾網壓損在增加100Pa時計算出不同濾網厚度之容塵量、容塵面積比及容塵效益。從容塵效益比很容易就看出當濾網厚度從50mm提高至69mm時，每單位面積之容塵量從17.96只提高至18.33，其容塵效益只提升至1.02相差不大，但在濾網厚度從50mm提高至78mm及117mm時，其分別之容塵效益卻大幅提升至1.38及1.64，容塵效益高表示其濾網有效面積較大。換言之，增加濾材厚度多寡，除了初始壓損效益外，還要考量容塵效益。在兩者兼顧下，最終考量成本或空間限制下做出最佳化的設計選擇。

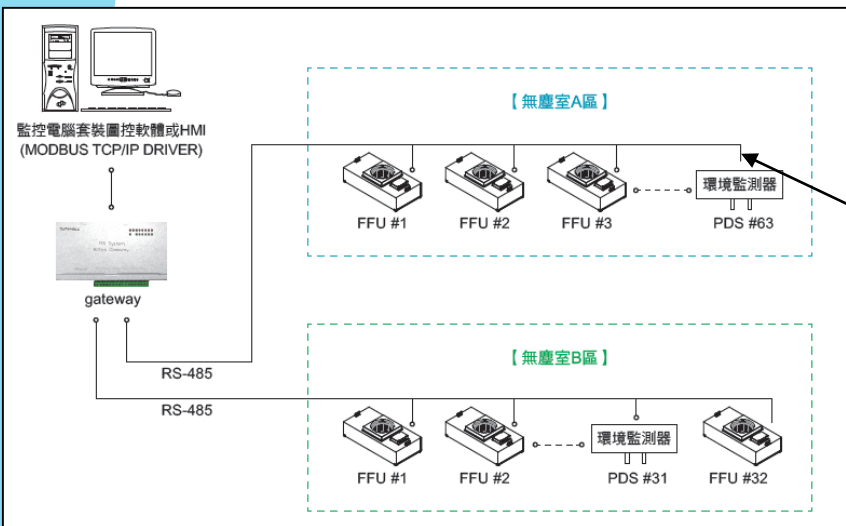
表二. 壓降增加100Pa條件下不同厚度玻纖濾網之容塵量[2]

濾網厚度mm	初始壓損Pa	濾材厚度mm	濾材面積m ²	容塵量g	容塵g/面積m ² 比	容塵效益比
50	120	35	6.68	120	17.96	1
69	90	50	8.73	160	18.33	1.02
78	80	60	10.48	260	24.81	1.38
117	60	85	15.34	450	29.34	1.64

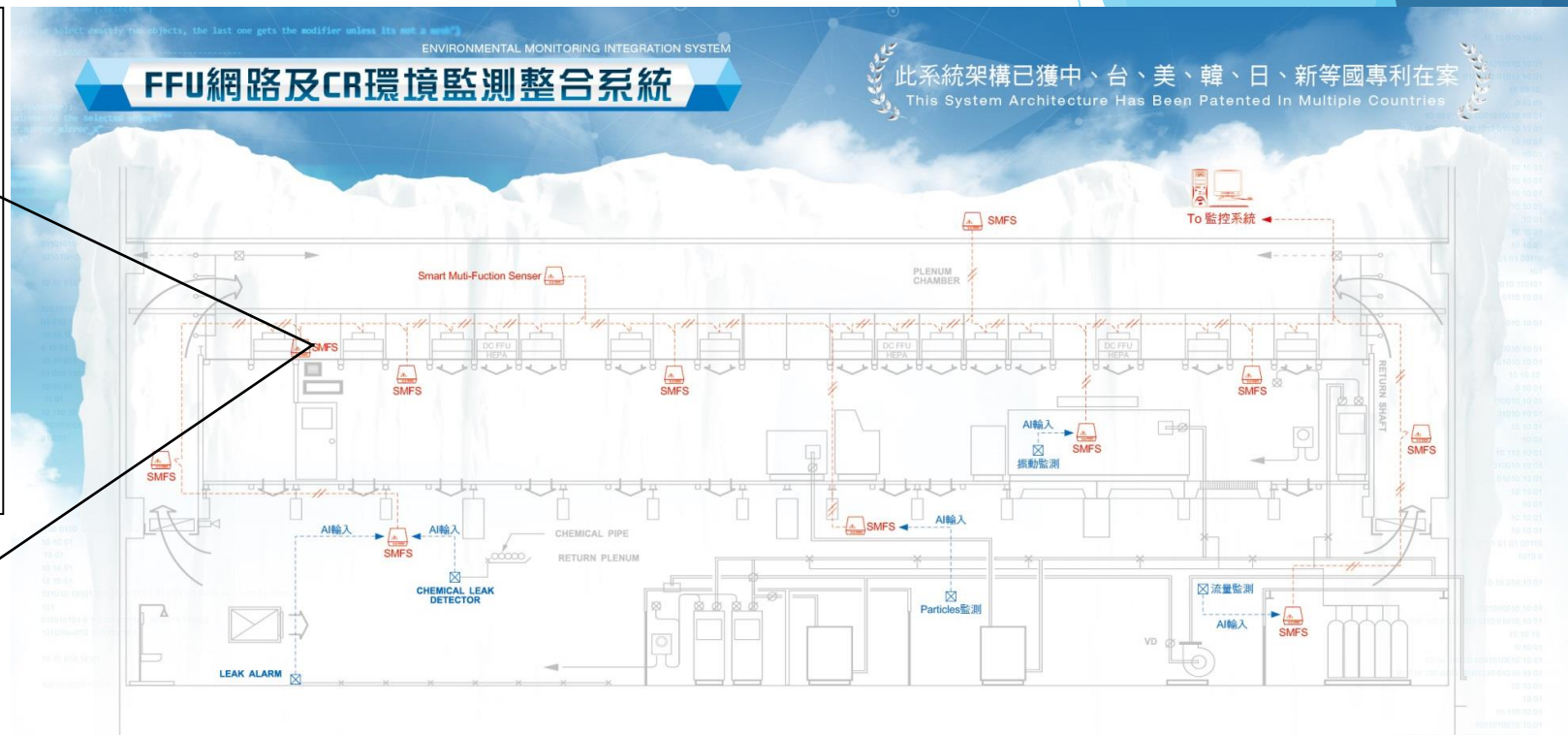
有效面積率較高



FFU網路及CR環境監測整合系統



1. 於FFU上裝設智慧型多功能感測模組，具有溫度、濕度及壓力之量測功能。
2. 感測模組透過與鄰近FFU串接，即可將量測之數據信號顯示於FFU圖控系統中。
3. 感測模組電源亦與相鄰之FFU連接即可，無須單獨拉線。



TOPWELL 智能網路監控系統功能

CR環境監測/製程條件監測/自動維護趨勢通知/大數據分析

- 壓差功能：
可選擇量測機外靜壓、濾網壓損或全靜壓，藉由長時間數據統計資料，了解不同環境，不同製程各年度濾網壓損增加的狀況，預判更換濾網的時間。藉由與FFU耗電量的比對，了解更換濾網的最佳時間點，避免無謂增加FFU之耗電量。
- 風量功能：
藉由與FFU轉速的比對，得知FFU風量。可即時監視FFU風量數值是否符合運轉條件，必要時發出警報(濾網阻塞、FFU吸入端被異物覆蓋、風機故障造成風量降低可適時提醒。
- 溫溼度功能：
了解FFU吸入端或TRUSS層距離回風道遠近，所產生之溫度梯度之狀況

結論與建議

1. 濾網的節能規格評估:

- 容塵量可客觀的代表濾網使用壽命，但容塵量實質上是與濾材有效面積成正比。換言之，當各廠牌的濾材有效面積難以判定時，容塵量測試反而是可反映出濾材有效面積的多寡。
- 容塵量測試可提供有效的壓損增加率評估。
- **濾網的壓損增加率應加以重視**(尤其是濾網材料不同時)，增加率越低表示壽命越長，同時也代表越可節能。
- 選用低初始壓損及低壓損增加率(@ rated air flow)。
- 濾網廠商提供節能優化設計方案。

2. DC FFU濾網運轉節能管理:

- 降低過濾風速除可節能外並可減少濾網壓損耗能及延長濾網使用壽命。
- 加以濾網壓損監測並依以計算濾網耗能以便評估濾網更換最佳時機(不一定是最終壓損或風量不足)。
- FFU系統應整合濾網壓損量測功能。
- FFU系統應該可有效估算其運轉風量。