

DC FFU選用之性能及壽命評估介紹

TCTA 2020 / ISSUE 5

張耿政 / Ken Chang

TOPWELL

www.topwell-pes.com.tw

DC FFU選用之性能及壽命評估介紹

摘 要

在簽訂京都協定後，歐盟承諾在2020年達到減少20%之二氧化碳排放量。而為了達成此一目標，歐盟地區使用之電力產品之耗電量必須全面的控制。在2010六月，ErP directive針對風機訂定標準，除了獨立的風機外，凡是設備或系統中有風機單元組件者也需符合。特別是馬達入力介於125瓦到500千瓦之風機。ErP directive適用於歐盟地區27個國家並分別於2013及2015二階段施行。直流無刷馬達在台灣無塵室風車濾網組(FFU)的使用已有十餘年。由於FFU在無塵室一直扮演掩著核心空調設備，長年來國內電子廠幾乎都是保守使用歐美日進口廠牌。隨著FFU大量運用, FFU耗電量已經佔廠務空調系統相當大之比例。近年來，直流變頻馬達在一般商用及家用空調之使用也因節能議題被大量採用，國內FFU廠商也紛紛加以出使用DC FFU。但直流變頻馬達在商業用及工業用是有截然不同的需求評估考量，隨之而來的是如何依據各電子產業無塵室需求有效的針對DC FFU加以評估已成為另一項重要議題。性能上除高效節能外，在噪音、振動、電力品質也是一定要加以考量；最重要還是馬達使用壽命。

關鍵字：風車濾網組, 高效節能, 歐盟ERP節能認證。

Evaluation of performance and service life in DC FFU Selection

Abstract

Along with the wide application of FFU in the cleanroom which contributes in the major power consumption in a microelectronic factory. DC FFU has been well recognized for its higher efficiency and energy saving. In CE certification, the energy conservation is incorporated according to ERP 2015. However, due to the critical cleanroom environment considered in some semiconductor industry, in addition to energy saving, how to evaluate the performance and service life for the selected FFU is also introduced.

Keywords: Fan filter Unit(FFU), High efficiency, Energy saving, CE ERP certification.

1.前言

台灣電子廠無塵室之建構使用風車濾網組(FFU)已是通用標準設計，無塵室使用之FFU單台馬力一般約在0.125kW~0.30kW，由於單台之耗電不大，所以使用者在追求成本時只著重於風量靜壓之功能滿足而往往忽略效率之要求。在簽訂京都協定後，歐盟承諾在2020年達到減少20%之二氧化碳排放量。而為了達成此一目標，歐盟地區使用之電力產品之耗電量必須全面的控制。在2010六月，ErP directive針對風機訂定標準，除了獨立的風機外，凡是設備或系統中有風機單元組件者也需符合。特別是馬達入力介於125瓦到500千瓦之風機。ErP directive適用於歐盟地區27個國家並分別於2013及2015二階段施行。

台灣電子產業從半導體業到光電業，無塵室空調建構FFU系統也超過二十年。粗略預估FFU安裝數量應至少約有六十萬台，在電力的耗費上實在不容忽視。隨著電子產業之無塵室潔淨空調設計幾乎全面採用FFU，但依照各產業特性其所採用的FFU類型也有所不同。以IC半導體或高階面板廠為例，在以潔淨度管理為首的考量下，幾乎是採用可彈性調整速度及中央監控運轉之DC FFU，並且大多選用國外廠牌。相反的，以封裝或測試廠為例，則是以建廠初設成本考量為主，採用簡易手動調整速度但卻無法中央監控運轉之AC FFU，並且大多選用國內廠牌。在早期只注重穩定運轉或初設成本為優先，不論是採用DC或AC FFU，其效率及耗電往往是被忽略的。隨伴著直流變頻馬達技術之成熟，國內FFU廠家也逐漸推出DC FFU以提供更佳節能效果。相較國外進口廠牌FFU之長年使用品質之可靠度，如何導入國產DC FFU並同時兼顧DC FFU之各項性能及壽命，如何評估選擇已經是當前廠務重要議題。

當使用者評估新型FFU時，大多朝「運轉效率」、「噪音振動」以及「耐久性」(主要在馬達溫升方面)，本文旨在提供讀者如何利用儀器及設施，取得前述數據作為研判FFU適正性的參考。

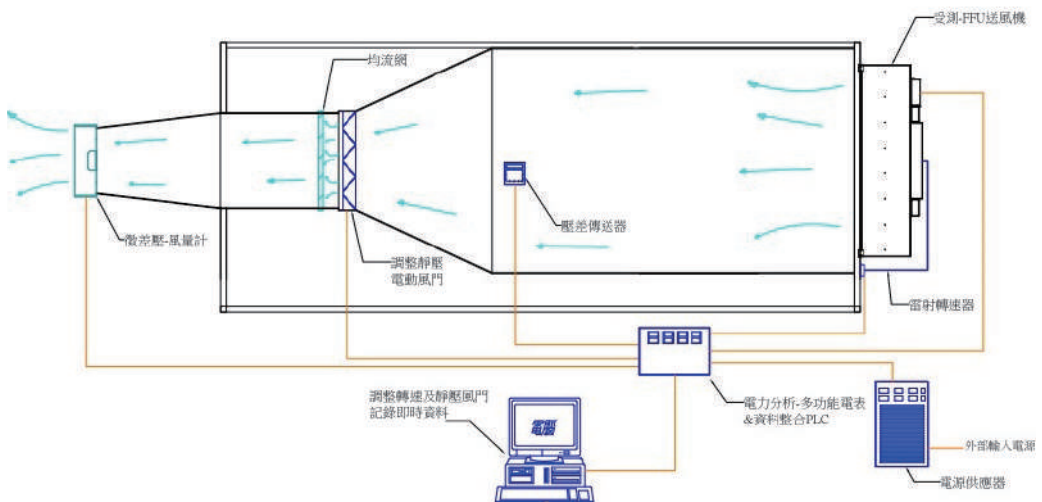
2. 運轉能力及效率

當要導入新廠牌FFU，節能必然為首要考量。所以必須測試整機效率，一般FFU之運轉能力要能滿足運轉所需最高風量及對應的最大系統壓損，包含濾網(初濾、HEPA或ULPA、化學濾網、盤管及風道阻抗等)。但風機從初始運轉到最終運轉時間往往長達十年，所以在風機效率上則要兼顧考量實際運轉範圍(初始運轉~最終運轉)。

2.1. 運轉能力及效率

1. 奇立公司自設風洞(如圖一)旨在量測風機風量/全靜壓壓損性能曲線，以了解風機在不同運轉點之耗電及效率，本自設風洞是比對工研院標準風洞(ANSI/AM-CA 210-07 Fig.15標準，安裝方式TYPE A)送測結果多次調教，目的是提供同一測試條件下之相對比較參考(正式數據以工研院送測報告為準)。

圖一：FFU PQ性能測試說明圖



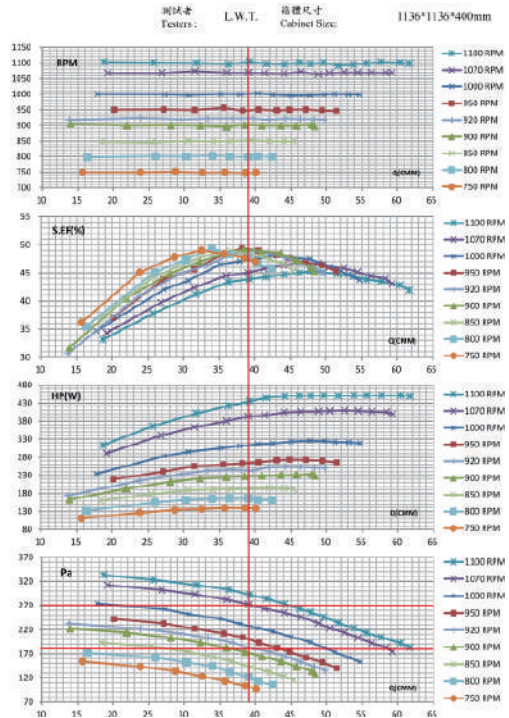
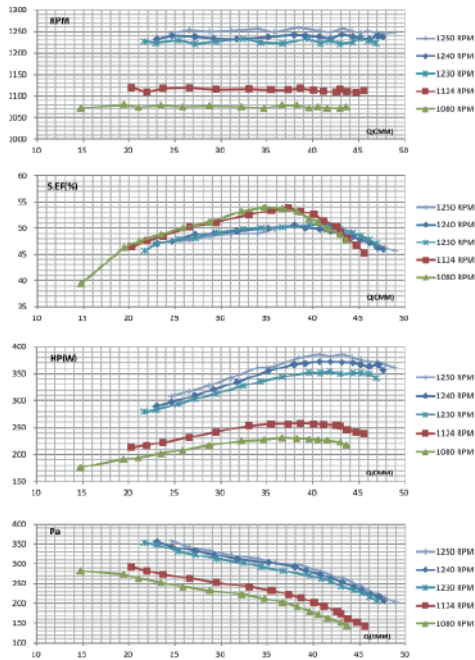
2.2.結果比較

以某工程案FFU設計運轉條件為例，其FFU尺寸為1200x1200，一般運轉條件為38.9CMM / 180Pa (TSP)，而最高運轉條件則為38.9CMM/270Pa (TSP)。針對此條件比較TOPWELL及市售同級品之耗能。測試結果如下(圖二&圖三)：

圖二：TOPWELL FFU PQ性能測試

圖三：市售同級品FFU PQ性能測試

測試名稱: TOP-DC-FFU-4-# 馬達名稱: DC Inner Rotor Top-120-22
 測試日期: 2015/12/4 馬達規格: 200W
 測試電壓: 1Φ0.277V/50HZ 風扇製造商: TOPWELL-奇立
 使用風扇: 400Φ
 使用控制器: FFU Controller-(DEI) 風扇尺寸: 1136*1136*400
 測試者: L.W.T. 箱體尺寸: 1136*1136*400



從表一得知，TOPWELL在風機效率較好外還具兼顧考量實際運轉條件(初始運轉52%~最終運轉50%)。而市售同級品為例進行測試，其在一般初始運轉範圍電效率較高，然而在高壓損運轉條件時電效率急遽下滑(49%降至45%)。

表一：FFU耗電及效率比較

	市售同級品		TOPWELL	
	38.9CMM/180Pa	耗電：240W	電效率：49%	耗電：220W
38.9CMM/270Pa	耗電：390W	電效率：45%	耗電：350W	電效率：50%

2.3.耗能分析

假設無塵室運轉從一般初始運轉到高壓損運轉期間為十年，則：

TOPWELL FFU十年單台FFU耗電： $(220+350)/2 * (10*365*24)/1000=24966(\text{KW-Hr})$

他牌 FFU十年單台FFU耗電： $(240+390)/2 * (10*365*24)/1000=27594(\text{KW-Hr})$

耗電差異： $27594-24966=2628(\text{KW-Hr})$ ，若電費每KW-Hr為NTD2.5，則十年運轉電費差異為 $2628*2.5=6570(\text{NTD})$ ，以晶圓廠或面板廠單一廠房安裝數量至少5000台計算，十年電費差異超過台幣三千萬，實在不容忽視！

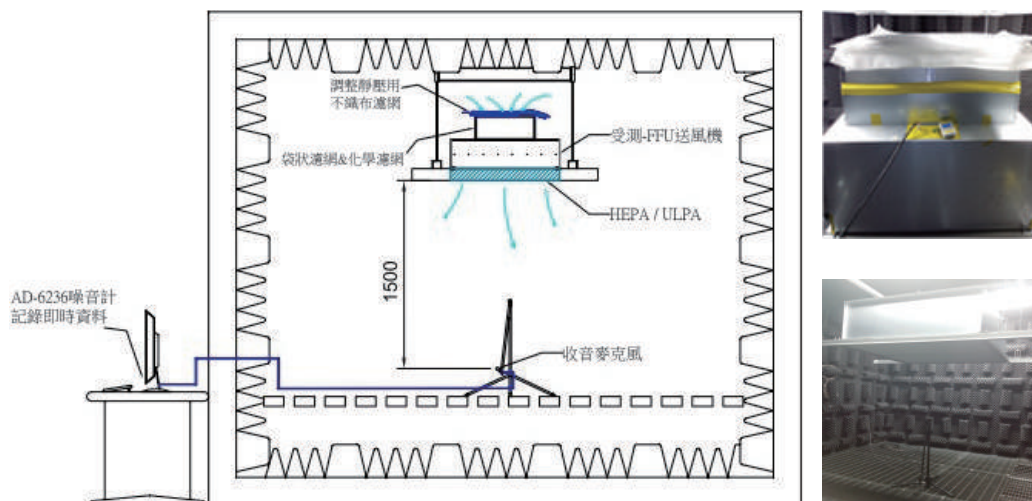
3. 運轉噪音及振動

如同風機效率，針對噪音及振動亦要兼顧考量實際運轉範圍(初始運轉~到最終運轉)，以免日後運轉條件不同而噪音或振動增加時無法符合需求。一般潔淨室針對噪音要求規範為65dBA或NC-60，但隨著潔淨室設計改變將運轉風量及靜壓需求提高，所以採用新運轉規格時FFU噪音也需重新評估。至於FFU振動，目前潔淨室雖無特定規範，但從品質角度評估，振動過大時，一者來自馬達動平衡不良，二者來自箱體結構不佳。再者，長期過大也會縮短馬達軸承壽命。

3.1. 噪音測試方法

本實驗將受測FFU放入尺寸(L4.6M x W3.4M x H3.2M)的半響室內，其布置方式如圖四所示，首先於入風口裝設袋狀濾網或化學濾網，並加裝不織布調整機外靜壓至FFU中心出口風速為0.5m/s的狀態，再進行測試。模擬針對一般運轉條件(38.9 CMM / 180Pa (TSP))及最高運轉條件(38.9CMM/270Pa (TSP))時之設定轉速下分別測試。

圖四：噪音測試說明圖



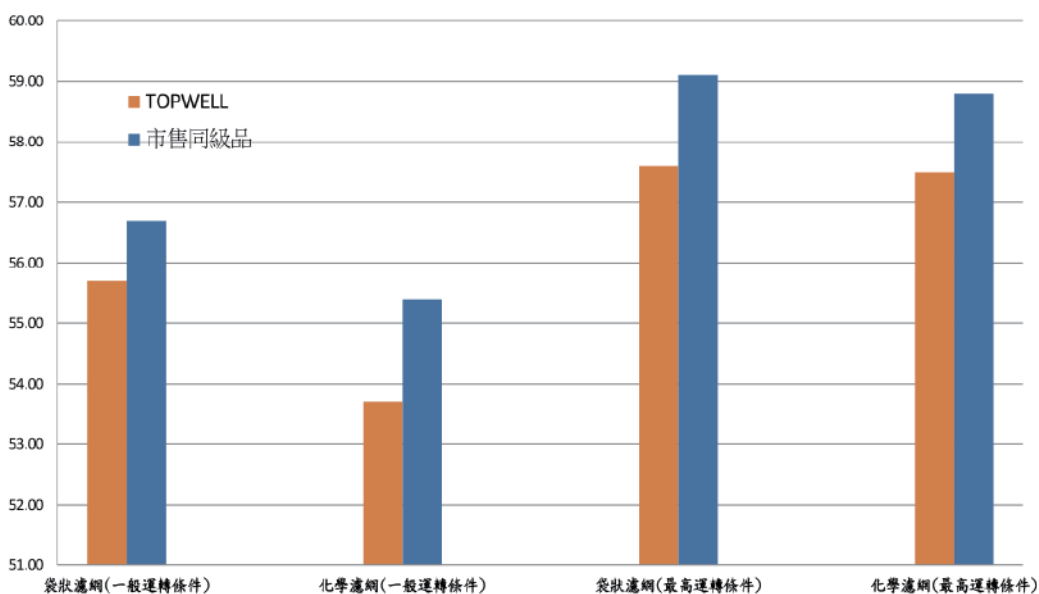
半響室-背景噪音 < 30dbA L:4.6M x W:3.4M x H:3.2M

3.2. 噪音測試結果比較

TOPWELL與市售同級品比較後顯示如下圖五所示，在各個運轉條件下TOPWELL皆有較好噪音表現，由於有機物揮發汙染顧慮，目前箱體設計大多不用消音棉，所以TOPWELL風機在入風口及導流設計上需有加以優化以有效降低噪音。

圖五：噪音測試說明比較

品項	袋狀濾網(一般運轉條件)	化學濾網(一般運轉條件)	袋狀濾網(最高運轉條件)	化學濾網(最高運轉條件)
TOPWELL	55.70	53.70	57.60	57.50
市售同級品	56.70	55.40	59.10	58.80



3.3.振動測試方法

1.測試規範：依照最高運轉條件38.9CMM/270Pa (TSP)時之轉速值運轉下量測振動值。量測位置為箱體上方及側邊，量測位置如下圖示：

圖六：噪音測試說明

4'*4' FFU震動測試
TOP-1080rpm / 市售同級品-920rpm



2.測試儀器設備：(a)PVM振動計_型號:PVM306 序號:301552

3.4.振動測試結果

隨著半導體製程日益精密，微振控制日趨要求，尤其在更換新廠牌FFU，振動也有必要列入評估項目。如表二所示，在FFU箱體上方及立面各個點上，TOPWELL皆有較優的振動表現。

表二：FFU箱體振動測試結果

振幅(um)	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	p8	p9	p10	p11	p12
TOPWELL	10	8	9	8	7	9	10	9	11	10	12	6
他牌	15	12	15	11	12	16	11	17	23	20	23	17

4.馬達壽命評估

有鑑於馬達於風機中扮演核心腳色，其壽命更是直接宣判了風機壽命，然而馬達規範至今仍沒有針對壽命做出明確的規範，所有的認證測試中，皆以符合額定輸出以及安規測試為主。直流無刷馬達由線圈、磁石、矽鋼片等相關零組件構成，我們將其區分為定子組品、轉子組品、馬達成品，這三部分進行直流無刷馬達品質壽命的探討。

4.1.定子組品

定子組品由漆包線、定子矽鋼片、絕緣材料、電源線組成。其中漆包線由99.9%純銅製成，確保其高導電性、低電阻等特性，搭配高導磁無方向矽鋼片，將電能轉換成磁能。由此可知，定子組品的品質壽命在於如何確保電能轉換為磁能的過程，因此，確保漆包線所繞製而成的定子繞組品質為首要關鍵。

4.2.轉子組品

轉子組品由軸心、轉子鐵心、磁石、培林所構成，在此組品中，轉子動平衡為最重要關鍵製程，依據ISO 1940動平衡等級G2.5規範進行動平衡校正。我們知道轉子轉動時，若動平衡不佳直接影響培林壽命，故於多次製程改善後，目前我司廠內動平衡規範已達G0.7。

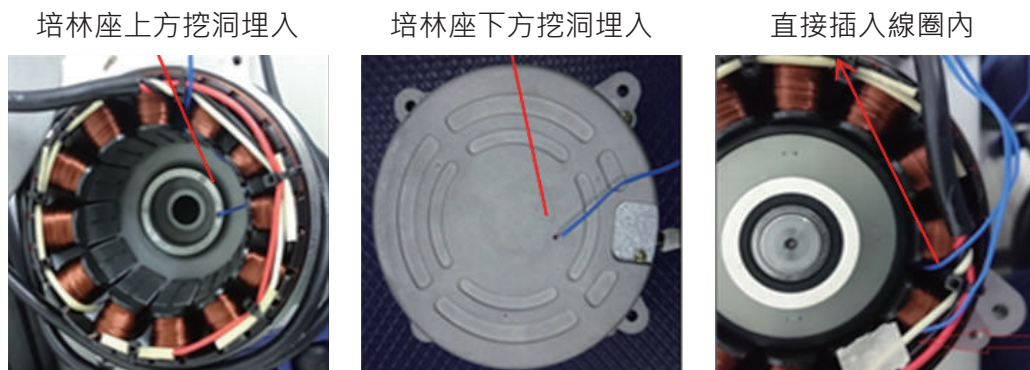
4.3.軸承電蝕保護

國內各廠早期使用DC FFU就曾經發生此類電蝕問題而導致馬達異常，TOPWELL與市售同級品皆在軸心做了防培林電蝕設計。電蝕產生主因為培林內外環產生電位差進而產生電弧放電，唯一導通路徑就是培林裡的內、外環及鋼珠。故，電蝕除造成培林內、外環及鋼珠損傷外，也因電弧放電過程中產生的高溫導致潤滑油劣化，嚴重的電蝕更可讓潤滑油焦化，大幅縮短培林壽命。我們知道上述電蝕產生原因後，在看坊間預防電蝕方式諸如：陶瓷軸承、塑膠風扇、第三刷放電等，皆在處理內外環的電位差，但是陶瓷軸承貴、使用環境、潤滑油脂等壽命都不如鋼製軸承。塑膠風扇有強度、重量增加馬達負載等問題，第三刷放電更有磨耗、碳屑等問題，似乎解決了電蝕，卻又衍生了其他問題。考量風機效率，務必採用低能損的設計，又得確保培林壽命，歷經多年測試後，於軸心培林處包射絕緣複合材質，其優越的絕緣性質1mm可耐3KV以上的特性，徹底解決了電蝕問題，不再衍生其他問題。TOPWELL與市售同級品皆在軸心做了防培林電蝕設計。馬達成品為將定子組品、轉子組品搭配外殼組合而成，在各組品中，為確保其品質，故在馬達成品時，由以安規測試為主進行最終的出廠檢驗，但並無法與使用壽命有直接連結關係。故實務評估可考量從馬達溫昇提供馬達使用壽命參考。

4.4.馬達溫昇測試方式

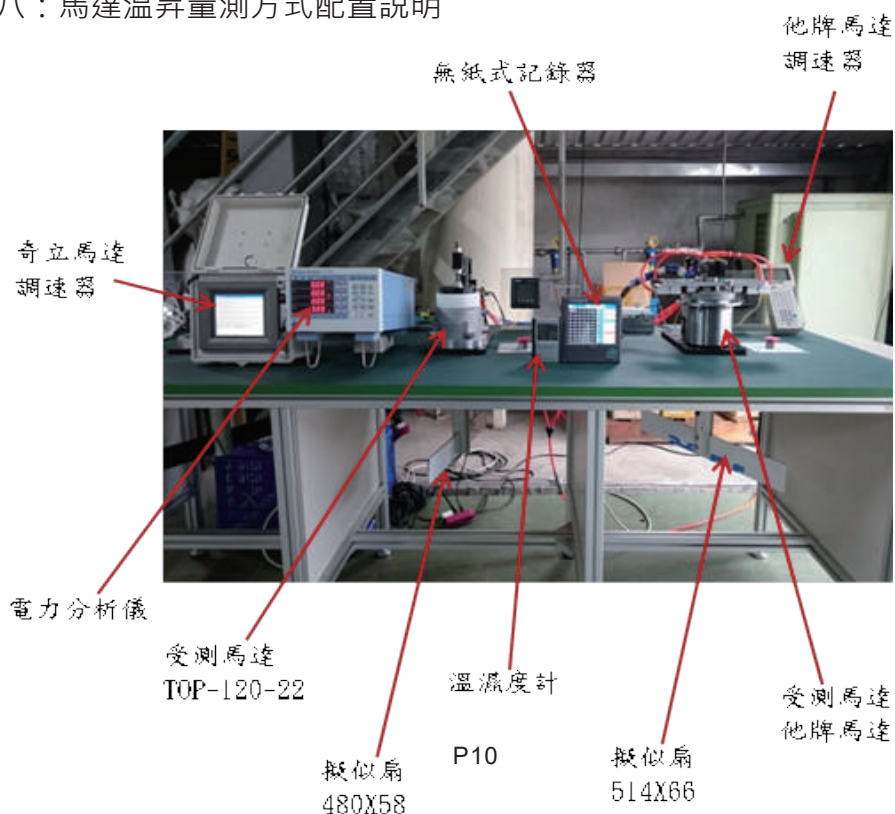
此次溫昇測試針對該馬達上培林、下培林及線圈進行溫昇測試。馬達溫昇量測量測位置示意如圖七：

圖七：馬達溫昇量測位置



受測馬達負載點依據FFU風洞測試數據270Pa時之轉速及耗電，製作一擬似扇模擬馬達負載，使馬達運轉於設定轉速時，受測馬達由室溫開始同步啟動測試，待馬達溫昇穩定2小時即停止測試。測試過程中除馬達自身輻射冷卻外，無其他外來散熱因素，馬達溫昇主要來自於馬達損失。馬達溫昇量測方式配置如圖八說明：

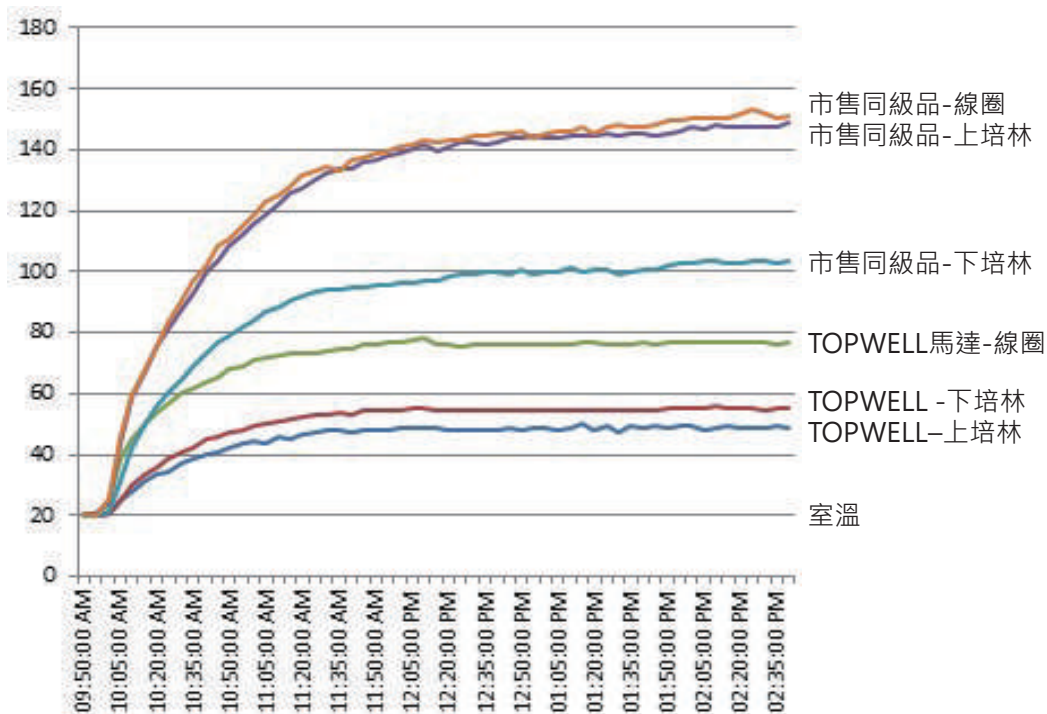
圖八：馬達溫昇量測方式配置說明



4.5.溫昇測試結果比較

經過測試Topwell產品與市售同級品溫昇紀錄曲線如圖九所示：

圖九：Topwell產品與市售同級品溫昇紀錄曲線



溫昇測試結束時，各測試點溫度(室溫21°C)

	線圈	下培林	上培林
TOPWELL	76.5	55.1	48.9
市售品	151.2	103.3	148.6

由上述測試結果，TOPWELL於無外部散熱情形下，線圈最高溫度為76.5°C，培林溫度最高55.1°C。反觀他牌馬達於同樣情形下，其線圈溫度達151.2°C，培林溫度最高達148.6°C，並出現熱衰竭現象，該馬達溫昇測試時，馬達線圈溫昇達80°C以上時，驅動器輸入功率上升至439瓦。馬達設計首要為是符合該風車額定負載點，因此此馬達一定要有對應之良好散熱設計及保護設計。換言之，若廠商馬達與控制器選配不當，加上馬達散熱不良或運轉環境溫度較高時，於此狀況下持續運轉，將會影響馬達壽命。

馬達規範皆以符合額定輸出以及安規測試為主。TOPWELL馬達雖符合CCC、CE認證，但在沒有明確針對壽命之規範時，唯有縮減管制界限，並且藉由更嚴苛的製程規範持續朝更好的品質邁進，在做好基礎規範自然就確保馬達壽命。

5. 結論

就技術上觀點，在選用新廠牌或新型式FFU時(不論AC FFU換DC FFU或是尺寸大小變更)，在選機時，首要是考量其運轉效率，而效率要盡量含括其初始到最終之運轉範圍而非單一運轉點。隨著製程要求日益精密，FFU產生的噪音、振動也一定要列入評估。當然最終就是耐久性的考量，尤其是選用直流無刷馬達時，除了馬達軸承的防電蝕保護是必要之外，馬達溫昇的比較也是一個良好壽命的參考指標。再者，隨著DC FFU之中央監控功能，也同時提供廠務藉由中央監控系統進行節能管理。在滿足潔淨室環境需求下，依不同環境或生產時段調整FFU運轉設定以達最佳節能效果。因此FFU中央監控系統之操作功能及穩定性，甚至日後維護考量也是另一重要值得探討之議題。

本文所選用的TOPWELL FFU(HP-DC FFU)，強調開放式監控設計，可與廠務現行監控系統相容整合，其系列產品已廣為使用於群創光電、友達光電、日月光集團、矽品精密工業、台積電的潔淨室以及樂華科技的機台微環境使用。

奇立實業股份有限公司

國內FFU廠牌首家自產DC FFU專用高效率直流無刷馬達，為國產DC FFU前驅，工廠設有風洞實驗室、半響室及馬達性能相關測試設備，可免費提供客戶建立現使用FFU之性能測試分析並協助評估無塵室FFU節能方案。

作者介紹：

張耿政 / Ken Chang

University of Texas at Austin 環工碩士

現任奇立實業股份有限公司協理

DC FFU選用之性能及壽命評估介紹

張耿政 / Ken Chang

TOPWELL

www.topwell-pes.com.tw