

運轉中之電子廠房無塵室
AC FFU更換DC風機之作法及效益評估
Taiwan ESCO 2021 / ISSUE 64

張智凱 / Scott Chang

TOPWELL

www.topwell-pes.com.tw

運轉中之電子廠房無塵室 AC FFU更換DC風機之作法及效益評估

摘要

後疫情時代，隨著全球供應鏈之移轉及5G、AI時代的來臨，台灣的高科技電子產業無論是半導體、封測、面板及記憶體等，皆迎來前所未有的榮景，各大廠皆處於高稼動率之生產狀態。然而，受到近年來環保意識的抬頭，使得新設電廠時程延宕以及空汙議題導致火力發電機組降載的影響，伴隨而來，也使得台灣整體的電力供應面臨嚴重的挑戰。面對台灣能源供應吃緊的窘境，各大電子廠雖已於新建或擴建廠房導入更高效能的設備產品，以達到節能減排的目的，然而對於處於高稼動率的既有產線與廠房，往往為了避免影響生產及良率，仍然只能沿用既有高耗能的設備。

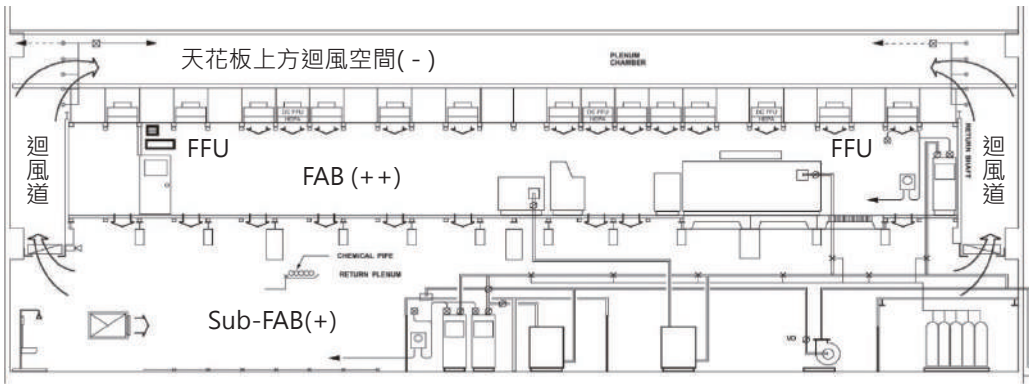
在電子廠房的無塵室中，FFU(Fan Filter Unit,風機過濾組)具有循環過濾微塵顆粒以維持無塵室的潔淨等級、調節無塵室溫度及提供無塵室正壓的功能，為無塵室中的核心空調設備。同時依據各種產業特性對於無塵室面積及潔淨度的需求不同，往往一座無塵室中安裝有數千乃至數萬台FFU，使得FFU一直是無塵室中耗電量占比非常高的空調設備之一。近幾年來，FFU的發展已由以往的AC FFU轉為DC FFU，透過DC FFU效率的大幅提升，除了達到節能減碳的目的之外，同時也有效降低無塵室運轉的費用。然而，對於較早期採用AC FFU所建置的無塵室，受到產線持續稼動的限制，往往以維持生產及良率為優先考量，而被迫持續使用高耗電的AC FFU設備。

本文即針對早期採用AC FFU的無塵室，提出在同時兼顧稼動與生產良率的前提下，將無塵室中老舊又耗能的AC FFU系統，透過換裝DC直流風機的方式，大幅度降低FFU運轉的耗電量。若可同時輔以能源績效保證工程(ESPC)或經濟部能源局的節能績效保證專案，將可使業主有更高的投入意願，共同來達成節能減碳的目的。

一、無塵室概述

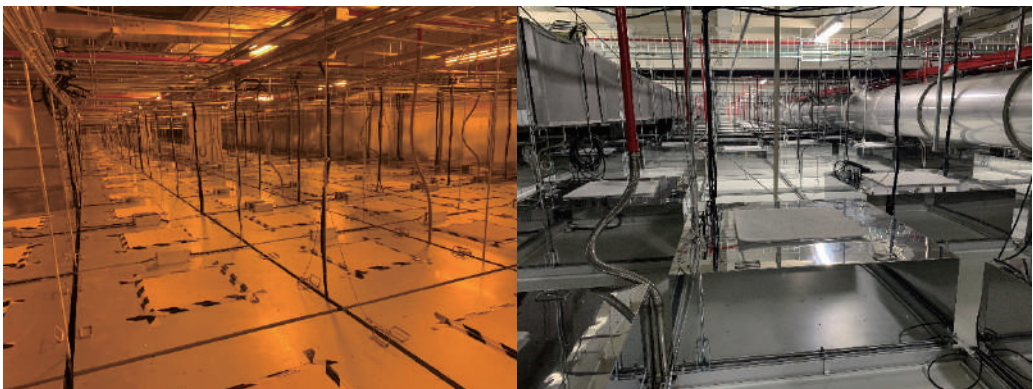
台灣電子廠無塵室之建構使用FFU(Fan Filter Unit,風機過濾組)已是通用標準設計，透過安裝於天花板上方的FFU及濾網，形成無塵室內氣流的循環，達到過濾微塵顆粒及維持無塵室的正壓環境，確保無塵室的潔淨等級；同時，當循環氣流通過安裝於迴風道的乾盤管時，亦達到降溫與維持無塵室溫度之功能。透過FFU常時不間斷的持續運轉，建構出符合生產條件的無塵室環境，由此可見，FFU在無塵室所扮演的重要角色。

圖1-1、大型無塵室剖面示意圖



上圖為一般半導體或面板廠大型無塵室之剖面圖，圖中FAB的部分為生產線，意即主要生產設備裝置的樓層，亦為整個無塵室中，潔淨等級及正壓要求最高之區域；Sub-FAB一般作為迴風層使用，並將生產相關的輔助設備如：真空泵、水氣化及藥供設備等設置於該區域。迴風道裝置有乾盤管，用於將循環氣流冷卻降溫，待氣流回到天花板上之迴風空間後，氣流再經由FFU吸入下方的FAB，進行週而復始的循環。

圖1-2、安裝於無塵室天花板上之FFU



二、FFU之發展的趨勢

1990年代初期，因FFU較以往的無塵室軸流風機系統具備更高的系統穩定度，同時更便於安裝，進而逐漸取代軸流風機系統，開始成為無塵室設計的主流。早期以AC FFU為主流，1200x1200mm尺寸之AC FFU整機的效率約介於40~45%。

隨著DC直流無刷馬達的普及化，以及運轉效能大幅提升，並結合轉速可以調整及監控等多項優點，於2000年起，DC FFU亦逐漸受到市場的認同；同時，隨著製程設備的大型化及無塵室高度的提升，FFU風量亦隨之放大，以維持足夠的循環風量及換氣次數。FFU靜壓的部分，則受到製程線徑縮小的影響，生產過程中對於空氣中的氣體分子污染物更加重視，故需於FFU裝設化學濾網，來控制氣體分子污染物的濃度，使得FFU全靜壓的要求亦隨之提高。同時，DC FFU的整機效率，亦隨著功率半導體晶片、直流無刷馬達等關鍵元件效率的提升，以及FFU廠商導入CFD計算流體力學軟體，進行箱體流場與風扇葉片之設計而逐年提高，如圖2-1所示。截至今日，1200x1200mm DC FFU之整機效率已可超過60%以上。FFU發展的趨勢彙整如表2-1所示。

圖2-1、FFU葉片與箱體之導入流體力學軟體設計

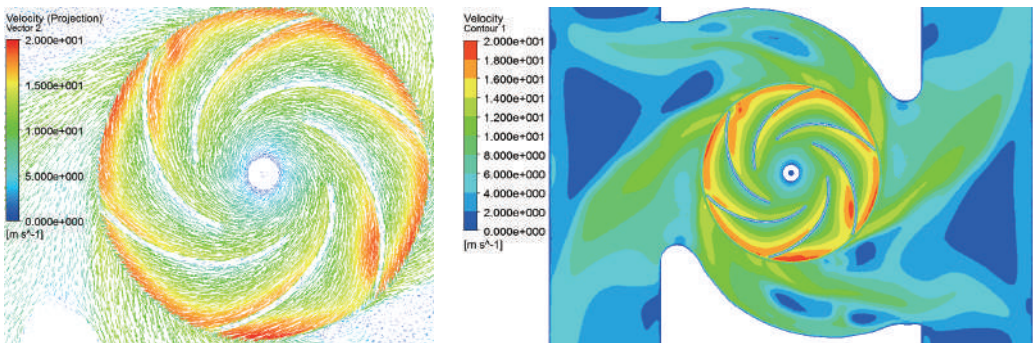


表2-1、FFU發展趨勢彙整表

發展時程	1990~2000年	2001~2010年	2011~2015年	2016~2020年	2021年
AC/DC FFU	AC FFU	DC FFU	DC FFU	DC FFU	DC FFU
風量與靜壓需求	中風量運轉 風量：30CMM 靜壓：TSP180Pa-220Pa	中風量運轉 風量：30CMM 靜壓：TSP180Pa-250Pa	高風量運轉 風量：39CMM 靜壓：TSP180Pa-270Pa	高風量運轉 風量：39CMM 靜壓：TSP180Pa-270Pa	高風量高靜壓運轉 風量：39CMM 靜壓：TSP180Pa-300Pa
FFU整機效率	40-45%	48-50%	50-55%	55-58%	60-62%

由表2-1中可見，早期所使用的AC FFU與現今所使用的DC FFU效率之落差達到15~20%以上，試以風量30CMM，全靜壓200Pa之運轉條件計算，若可將舊型的AC FFU效率由40%提升至50%，單台FFU之耗電量約可降低50W(相當於節約20%耗電)，若以無塵室365天每天24小時運轉的條件(電費每度2.3元)計算，單台FFU一年可節省上千元之電費，若加計整廠FFU數量，將可有效節約數十萬至數百萬之可觀電費。

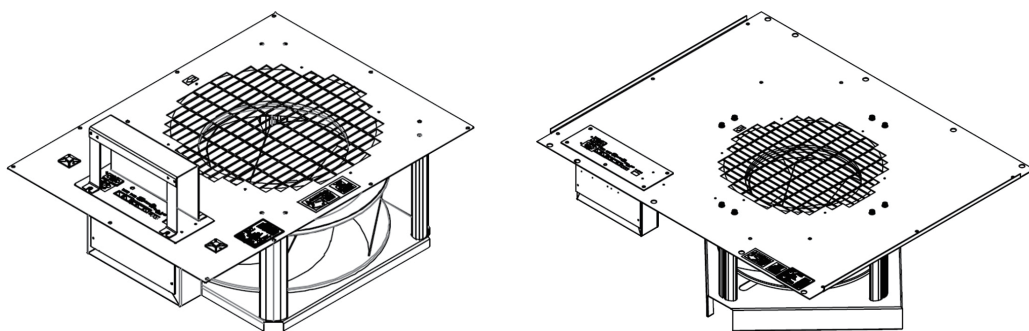
三、不影響無塵室稼動之DC風機更換工法與FFU效率量測介紹

誠如上述，早期建置的AC FFU若可整機更換為DC FFU，即可提升10~15%的整機效率，相當於節約20~30%之運轉電費。綜觀台灣電子產業從半導體業到光電業，目前仍在無塵室內運轉之AC FFU粗估數量約有二十萬台以上，若以每台FFU降低50W之耗電計算，約可減少10,000瓩之耗電量，相當於一座台泥彰濱太陽能發電廠之裝置容量(資料來源：經濟部能源局網站)。除了每年節約兩億元之電費，同時更可減少約48,500噸之碳排放，其效益不容小覷。

然因大部分FFU之拆裝皆須由無塵室內部進行，受限於無塵室內產線之高稼動率及可能造成環境的汙染，一般業主仍以生產為最優先考量，並無法輕易地將舊有的AC FFU汰換成DC FFU；即使多數電子廠每年皆會安排時間進行歲修，然因歲修時間短暫，修繕及更換的項目與系統繁多，往往仍以排除故障為優先。

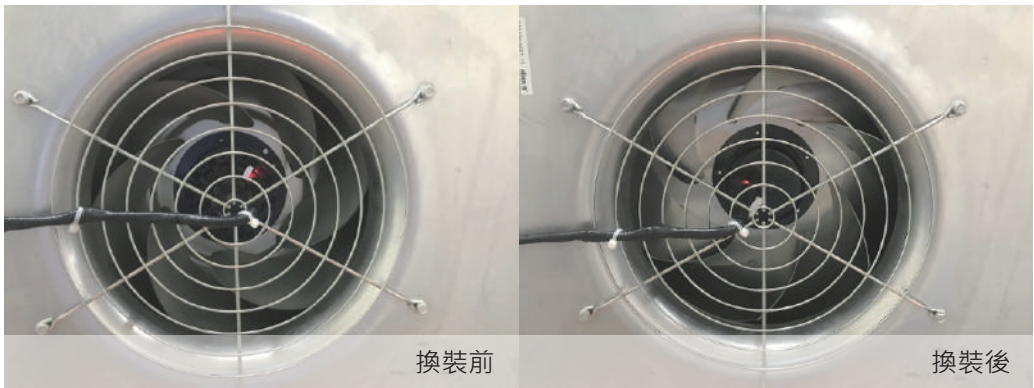
為了兼顧無塵室之正常運作及降低AC FFU之能源損耗，奇立實業提供在不拆除AC FFU之箱體及濾網的前提下，透過預先於工廠裝配完成之DC風機模組的解決方案。透過預組裝的風機模組，可於無塵室天花板上方逐台進行AC FFU風機之置換，將原本耗能之AC風機更換為DC風機。整個更換的過程於無塵室天花板上方進行，保留既有AC FFU之箱體及濾網，可大幅降低購置整台DC FFU之費用，亦符合循環經濟理念“減少投入、減少浪費、減少廢棄”之理念。更換過程中，因無塵室內部之壓力大於天花板上方，因此無須擔心施工過程之粉塵微粒掉落於產線，使環境受到汙染。且因每台風機模組皆為量身訂製(如圖3-1)，現場作業僅需進行簡易之螺絲拆裝即可，單台FFU置換風機的時間約在10分鐘內即可完成，完成後即刻送電運轉，無塵室當中仍可維持正常之稼動與生產。

圖3-1、依據不同尺寸AC FFU量身訂製之DC風機模組



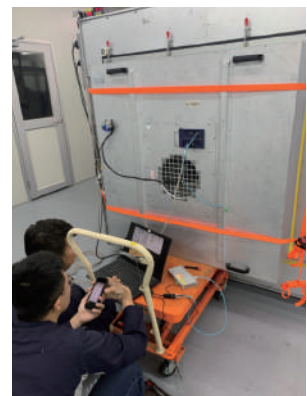
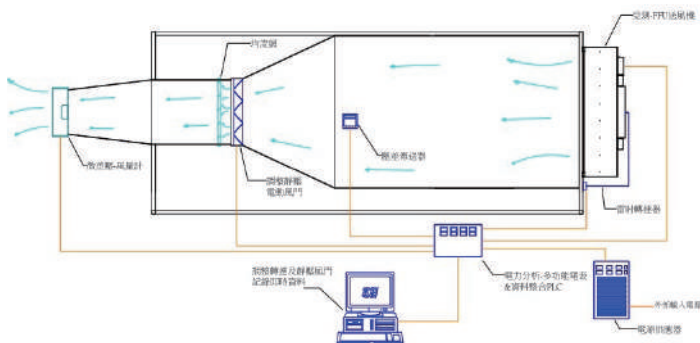
為使上述作業順利進行，需先由使用端提供AC FFU之樣品一台，透過對於實際尺寸、性能、轉向(速)、螺絲孔位之了解，選用足以匹配原有AC FFU之DC風機，於工廠進行模組化的組裝，並實際安裝於FFU之箱體後進行相關測試比對，以了解其密合度、性能與效率。換裝前後之比對如圖3-2所示，由照片中可以看出更換後之完整度及密合度幾乎與原機相同。

圖3-2、AC FFU換裝DC風機之實際案例比對



同時，為確保AC FFU更換DC風機後之性能，工廠換裝DC風機後之FFU，皆會裝置於符合ANSI/AMCA 210-07 Fig.15標準，安裝方式TYPE A之風洞進行量測，藉由量測FFU風量/全靜壓性能曲線，確保DC風機性能足以滿足需求，並提供相同測試條件下更換風機前後之性能差異比對，如圖3-3及3-4所示。

圖3-3、符合ANSI/AMCA 210-07 Fig.15標準TYPE A之風洞(左圖)
圖3-4 風機換裝前後皆進行風洞測試(右圖)



四、AC FFU更換DC風機之節能效益及回收年限-以案例說明

案例一：面板廠1200x1200mm AC FFU更換DC風機

1. 專案概況：業主使用之德系品牌AC FFU已運轉超過20餘年，除面臨故障率偏高之情況外，原廠亦不再提供後續維修服務。業主除亟欲尋找替代之服務廠商外，亦希望能逐步汰換耗能之AC FFU，但礙於無塵室持續處於高稼動率之生產狀態，而遲遲無法進行改善。
2. 規格：需求風量：36CMM，全靜壓：210Pa。
3. 效益與回收年限：經過業主提供樣品機進行實際風洞測試後，原本AC FFU於上述運轉點效率僅有26.2%，耗電量488W(如表4-1所示)。經更換為DC風機之後，在相同之運轉條件下，耗電量275W(如表4-2所示)。單台FFU於更換風機後，可降低213W之耗電量(節電43.6%)。若以整年度計算，單台FFU即可節約4300元左右之電費(以電費每度2.3元計算)，效益十分可觀。若以該案1200x1200mm FFU DC風機模組之價格與安裝費用約10,000元計算(相關費用視需求風量靜壓、更換台數、現場安裝空間、箱體材質與堪用程度而異)，回收年限約為2.32年。

表4-1、AC FFU更換風機前之測試數據

RPM	1313	1310	1317	1315	1308	1313	1316	1316	1326	1332	1335	1330	1343	1357	1357	1366	1366	1375	1377	1383
Q(CMM)	36.7	36	34.7	34.3	33.6	32.3	31.8	31.1	30.4	29.9	29.2	28.8	28.4	27.7	27.3	26.3	25.3	24.8	23.7	23
HP(W)	487	488	488	486	488	486	486	486	486	484	485	484	483	482	480	482	480	479	479	477
Ps(Pa)	206	213	224	233	243	256	263	272	283	293	303	312	323	336	342	353	363	372	384	392
S.EF(%)	25.9	26.2	26.5	27.4	27.9	28.3	28.7	29.0	29.5	30.1	30.4	30.9	31.6	32.2	32.4	32.1	31.9	32.1	31.7	31.5
ITHD(%)	5.25	5.28	5.25	5.28	5.31	5.25	5.31	5.19	5.12	5.31	4.75	5.34	5.37	5.41	5.28	5.37	5.34	5.41	5.34	5.41

表4-2、AC FFU更換為DC風機後之測試數據

項次 Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
現在轉速 Speed(RPM)	1152	1150	1153	1150	1151	1153	1152	1151	1148	1148	1150	1148	1150	1148	1152	1152	1152	1152	1151	1151
風量 Air volume(CMM)	45.6	44.1	43.4	42.1	41.1	40.2	39	37.6	36.2	35.3	34	32.3	30.8	29.3	28.8	26.9	25.2	22.9	20.1	14.5
瓦數 Wattage(W)	268	272	274	275	278	281	279	277	275	274	273	269	266	264	263	255	252	242	230	203
風壓 Pressure(Pa)	132	143	152	163	173	183	192	204	214	222	232	243	253	266	273	282	293	303	312	323
電壓 Voltage(V)	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	221	220	221	221	221	221	221
電流 Current(A)	1.23	1.24	1.25	1.25	1.27	1.28	1.27	1.26	1.25	1.25	1.24	1.23	1.22	1.2	1.2	1.16	1.14	1.1	1.04	0.93
功率因數 Power Factor(%)	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
風門開度 Throttle opening(%)	53	50	48	45	43	41	39	37	35	34	32	30	28	26	25	23	21	18	15	10
整機效率 S.EF(%)	37.5	38.6	40.2	41.6	42.6	43.6	44.7	46.1	46.9	47.7	48.2	48.6	48.9	49.3	49.8	49.5	48.9	47.8	45.5	38.5
電流諧波 Current harmonics(%)	2.05	2.22	1.69	1.78	2.19	2.06	1.85	1.93	2.02	2.03	1.66	2.03	2.16	1.98	2.08	2.39	2.16	2.09	2.02	2.33
電壓諧波 Voltage harmonics(%)	0.41	0.38	0.36	0.42	0.45	0.42	0.44	0.41	0.43	0.37	0.36	0.41	0.42	0.35	0.41	0.45	0.39	0.38	0.39	0.32

案例二：封測廠1200x900mm AC FFU更換DC風機

1. 專案概況：業主使用之台系AC FFU運轉近15年，因公司要求廠務單位每年提出全廠降低2%運轉費用之節能改善方案，業主希望透過AC FFU效率提升，達到公司設定之年度目標，並以每年編列固定預算的方式進行計畫性汰換。
2. 規格：需求風量：24.2CMM，全靜壓：255Pa。
3. 效益與回收年限：經測試原AC FFU於上述運轉點效率為38%，耗電量272W(如表3-3所示)。經更換DC風機後，相同之運轉條件下之耗電量218W(如表3-4所示)。更換後可降低54W之耗電量(節電19.9%)，整年度單台FFU即可節約近1088元之電費(電費每度2.3元計算)。該案係沿用既有之扇葉，馬達與控制器模組之價格約5,000元計算(無安裝費用，業主工程師自行更換)，回收年限約為4.6年。

表4-3、AC FFU更換風機前之測試數據

項次 Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
現在轉速 Speed(RPM)	1003	1006	1002	1010	1001	1002	1001	998	1002	1007	1005	1007	1008	1012	1011	1022	1021	1030	1033	1043
風量 Air volume(CMM)	32.4	31.3	30.4	29.3	28.9	27.9	26.6	25.9	25.2	24.2	23.6	22.6	22	20.7	19.9	18.9	18.2	17.2	16.2	14.7
瓦數 Wattage(W)	273	275	275	275	274	270	272	271	272	272	270	268	268	266	264	262	261	257	252	249
風壓 Pressure(Pa)	162	174	184	196	202	213	227	236	244	256	264	278	282	296	304	316	326	336	346	358
電壓 Voltage(V)	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	278
電流 Current(A)	1	1	1.01	1.01	1	0.99	1	1	1	1	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.97	0.95	0.94	0.93
功率因數 Power Factor(%)	0.99	0.98	0.99	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97
風門開度 Throttle opening(%)	36	34	32	30	29	27	25	24	23	21	20	18	17	15	14	13	12	11	10	9
整機效率 S.EF(%)	32	33.1	33.9	34.8	35.6	36.7	37	37.5	37.7	38	38.5	39	38.6	38.4	38.2	38	37.8	37.5	37	35.2
電流諧波 Current harmonics(%)	7.62	7.72	7.34	7.69	7.47	7.72	7.59	7.47	7.28	7.53	7.62	7.59	7.66	7.41	7.66	7.81	7.72	8	8.12	8.25
電壓諧波 Voltage harmonics(%)	0.21	0.21	0.27	0.2	0.2	0.22	0.23	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.24	0.24	0.23	0.22	0.26	0.24	0.24	0.26

表4-4、AC FFU更換為DC風機後之測試數

項次 Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
現在轉速 Speed(RPM)	1001	998	996	996	1000	996	1001	997	996	998	998	1000	1000	996	1000	997	996	1000	998	1001
風量 Air volume(CMM)	35.2	34	33	31.8	31.4	30.4	29.4	28.7	27.6	26.7	26	25.3	24.2	23	21.4	20.2	19.2	17.7	16.6	13.7
瓦數 Wattage(W)	211	213	214	217	216	215	219	218	218	217	218	219	218	214	211	209	205	199	194	184
風壓 Pressure(Pa)	132	146	156	166	172	183	196	203	214	224	234	242	254	264	276	286	293	306	313	326
電壓 Voltage(V)	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	278
電流 Current(A)	0.77	0.78	0.78	0.8	0.79	0.79	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.78	0.77	0.77	0.75	0.73	0.71	0.68
功率因數 Power Factor(%)	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
風門開度 Throttle opening(%)	42	39	37	35	34	32	30	29	27	25	24	23	21	19	17	15	14	12	11	9
整機效率 S.EF(%)	36.8	38.9	40.2	40.6	41.6	43.1	43.9	44.5	45.2	45.9	46.4	46.6	47	47.4	46.6	46.1	45.7	45.3	44.6	40.5
電流諧波 Current harmonics(%)	2.87	3.05	3.06	3.05	3.14	3.28	2.84	3.02	3.05	3.17	3.06	2.87	3.11	3.23	3.14	3.27	3.3	2.89	2.77	2.92
電壓諧波 Voltage harmonics(%)	0.25	0.27	0.24	0.28	0.26	0.24	0.28	0.24	0.24	0.25	0.24	0.24	0.23	0.3	0.27	0.24	0.23	0.22	0.23	0.21

五、結論

AC FFU單台的耗電量約0.25kW~0.5kW，往往因為耗電量小，在節能改善的選項中，並不受青睞。且相對於冰水主機、空壓機等大型設備，在設計階段即有N+1的配置(即使一台故障，整個系統還是可以正常運轉)，因此節能改善的優先對象，皆會從汰換老舊的冰水主機或空壓機等設備著手，除了可以有立竿見影的效果，也可以在不影響大系統運作的原則下，逐步汰換完成。此外，礙於以往對於AC FFU更換為DC FFU之作法，仍停留在需要整台FFU之拆換，因此大部分業主為避免影響生產，往往不願意輕易嘗試。

筆者希望透過本文的介紹，達到拋磚引玉的效果，將AC FFU在保留箱體且不影響生產的前提下，更換DC風機的作法及節能效益透過本刊進一步與業界先進的分享。運行多年之AC FFU在更換DC風機後，除了可以有效的節約20~40%之運轉費用外，因FFU核心之馬達、軸承、控制器皆同步更新，因此，整台FFU之壽命亦得以延續，間接保障了未來無塵室之運轉及生產良率。同時，若可輔以能源績效保證工程(ESPC) 或結合經濟部能源局的節能績效保證專案，相信可以促使更多的業主提高更換的意願。透過更多業界先進的投入，共同達到節能減碳目的，並為能源供應吃緊的現況盡綿薄的一份心力。

運轉中之電子廠房無塵室
AC FFU更換DC風機之作法及效益評估

張智凱 / Scott Chang

TOPWELL

www.topwell-pes.com.tw