

電子廠廠務真空泵變頻節能實務

Energy Saving Example of Process Vacuum Pump in Electronic Factory

沈宗福^{1*}、盧江溪²、吳江龍²、詹瑞麟¹、楊竣翔³

¹ 工研院機械所 先進機械技術組 節能機械系統部 工程師

² 工研院機械所 先進機械技術組 節能機械系統部 副工程師

³ 工研院機械所 先進機械技術組 節能機械系統部 經理

摘要：電子廠中半導體與光電廠廠務設施中使用 100 mbar 粗略真空作為製程使用，傳統定速真空泵於壓力達到時，仍然以全速運轉，消耗相當大之電力，新型變頻真空泵於壓力達到時，會降低轉速，相對的消耗電力比傳統定速真空泵少很多，節能一般可達 20 ~ 50%。本文主要針對近年來輔導國內電子廠進行馬達動力系統（真空泵系統）節能改善成為示範廠商的案例，說明改善的評估過程、改善手段與結果，以作為國內廠商導入真空泵系統節能之參考。

Abstract : In electronics factory, semiconductor fab and optoelectronic plant, vacuum degree of 100 mbar is commonly used in process facilities. When a traditional fixed-speed vacuum pump has reached the required vacuum level, e.g. 100 mbar, it is still running at full speed operation, and part of the power is wasted and should be taken into consideration. However new frequency conversion vacuum pumps can reduce the speed and still keep the required vacuum degree. The power consumption of new frequency conversion vacuum pump is much less than the traditional fixed speed vacuum pump, and the energy saving is up to 20 ~ 50%. This paper introduces the cases of energy-saving improvement of vacuum pump systems in domestic electronics factory in recent years. The improvement evaluation process, improvement means and results are described, in order to serve as a reference for domestic manufacturers interested in energy saving of using vacuum pump system.

關鍵詞：高效率馬達、節能、真空、泵

Keywords : High efficiency motor, Energy saving, Vacuum, Pump

前言

經濟部已公告自中華民國 105 年 7 月 1 日起低壓三相鼠籠型感應電動機實施 IE3 效率，不符合效率標準之馬達不允許進口或製造在國內銷售使用 [1]。使用高效率馬達取代傳統馬達，效率可提高 2~8%，而馬達動力系統（如真空泵、風扇、空壓機、泵浦、冰水機系統...）更是節能重要的對象，節能可達 10~50%。

經濟部於中華民國 103 年 8 月 1 日公告「能源用戶訂定節約能源目標及執行計畫規定」[2]，針對契約用電容量超過八百瓩之法人及自然人，

於中華民國 104 年至 108 年之節約能源目標及執行計畫，其平均年節電率應達百分之一以上，廠商基於符合政府要求及實際降低運轉電力成本需求，必須執行節能改善，而廠務使用製程真空系統就是一個節能改善好標的。

真空泵系統節能改善措施

一個空間其中的氣體壓力小於一大氣壓者為真空。真空度可分為粗略真空 (1013~1 mbar)、中度真空 ($1\sim 10^3$ mbar)、高真空 ($10^3\sim 10^7$ mbar)、超高真空 (壓力小於 10^7 mbar) [3]。

電子廠中半導體與光電廠廠務設施中使用 100 mbar 粗略真空作為製程使用，廠務真空系統設計初以最大抽氣量需求加上備用抽氣量計算，故一般設置皆大於實際運轉時需求。

一般廠務真空系統由多台大小馬力真空泵組成，當真空抽氣量需求大時，開多台真空泵，當真空抽氣量需求變小時，逐步關掉真空泵，使系統真空壓力維持在特定使用合理範圍，常見的做法使用 PLC 依據空氣桶之壓力感測器回授信號控制，使真空壓力維持於希望的特定範圍內，譬如說 100 mbar 附近。

真空系統節能改善措施有：

- 適當保養維護
- 使用高效率真空泵
- 使用變頻真空泵
- 多機聯控

早期，變頻技術尚未普及，一般真空泵為定

頻運轉，近年來，變頻技術進步及價格下降使變頻真空泵日漸普及。

定頻真空泵浦在需求變動時，定頻真空泵浦較變頻真空泵浦耗電，因為在需求變小時，定頻真空泵浦仍會固定轉速運轉消耗大量的耗電，相對地，變頻真空泵浦在抽氣量需求變小時，會依需求降低轉速，耗電也會相對地較固定轉速運轉小，如圖 1 所示，X 軸為時間 (time)，Y 軸為抽氣需求 (demand) 與耗電 (kW)，一開始，抽氣需求 (灰色區塊) 小，定頻真空泵浦仍然全速運轉，然而，變頻真空泵浦依抽氣需求調控負載，轉速降低，此時，兩者耗電差異比較如圖一黑色區塊，變頻真空泵浦明顯耗電小了許多；當抽氣需求變大，定頻真空泵浦仍然全速運轉，負載變大，而變頻真空泵浦轉速變高以相對提供增加之抽氣需求負載，當抽氣需求再變大達到真空泵浦最大抽氣能力，定頻真空泵浦仍然全速運轉，負載最大，而變頻

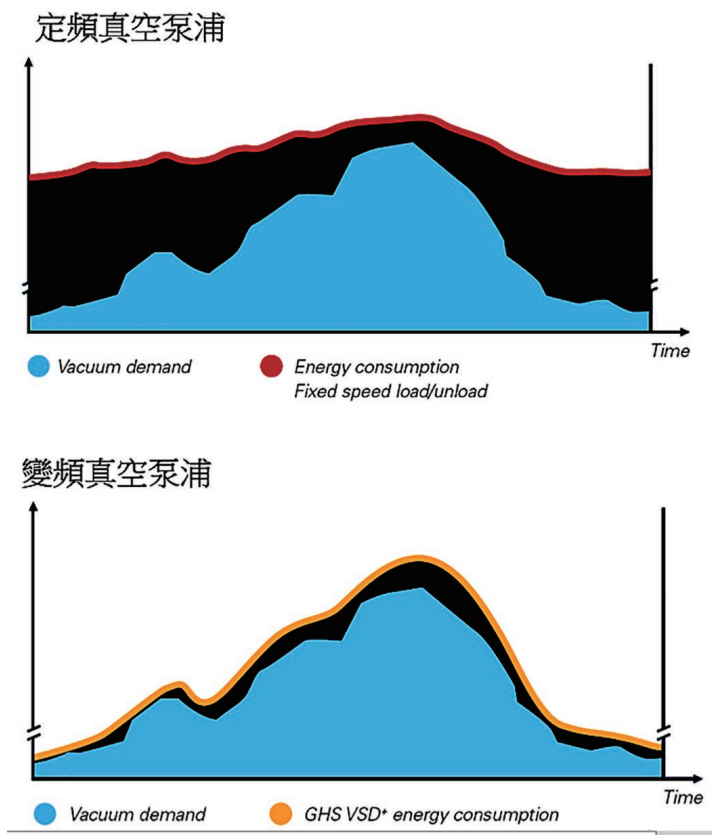


圖 1 定頻真空泵浦 (上) 與變頻真空泵浦 (下) 耗電特性圖 [4]

表 1 A 光電公司真空泵浦基本規格

年份	品牌	型號	型式	馬力	出風量	現況運轉
2002 年	QUINCY	QSVI-20	定頻	20	319 CFM	備機
2006 年	QUINCY	QSVI-20	定頻	20	319 CFM	備機
2006 年	QUINCY	QSVI-20	定頻	20	319 CFM	常態運轉
2010 年	QUINCY	QSVB-25	定頻	25	365 CFM	常態運轉
2010 年	QUINCY	QSVB-50	定頻	50	730 CFM	常態運轉

真空泵浦轉速變最高以提供最大抽氣需求，此時，兩者耗電差異不明顯。也就是說，定頻真空泵浦維持定速運轉，當最大抽氣負載時，耗電最大，抽氣負載變小時，速度不變，耗電只有稍微變小，而變頻真空泵浦於最大抽氣負載時耗電最大，抽氣負載變小時，速度變慢，耗電明顯變小。

所以，當抽氣需求小於真空泵浦最大抽氣能力時，定頻真空泵浦改為變頻真空泵浦，藉由變頻+轉子技術+進氣調控閥控制改善，一般可有高至 20 ~ 50% 之節能空間，依不同負載條件下，節能空間不一樣！

進氣調控閥主要使用於啟動時微開進氣閥使啟動電流最小化，專利轉子技術配合小馬力高轉速馬達運作，節省保養費用，變頻控制技術配合前端製程需求控制負載，可有效地改變轉速以降低耗電。

變頻真空泵浦較定頻真空泵浦省電有三大方面：

- 採用高效率新機取代舊機提升單機效率，舊機原本效率較差且長年使用，效率更是衰退。
- 採用變頻取代定頻，在真空壓力需求到達

時，抽氣負載變小，變頻運轉較定頻省電。

- 採用變頻控制，當需求真空壓力達到需求時，真空壓力值比較穩定，不會過度真空，因為真空壓力越低越耗電。

以下，以去年 (107) 工研院執行能源局「馬達動力機械效率管理政策執行與基準訂定研究」計畫實際執行一個節能輔導示範案例說明。

案例：真空泵系統變頻節能改善案例

■ 改善前狀況說明

(1) A 光電公司原有 5 部 QUINCY 定頻製程真空泵浦如表 1 所示，正常使用 1 台 20 hp Quincy 牌型號 QSVI-20 定頻真空泵浦、1 台 25 hp Quincy 牌型號 QSVI-25 定頻真空泵浦與 1 台 50 hp Quincy 牌型號 QSVI-50 定頻真空泵浦共 3 台常態運轉，另外 2 台年份較舊，當備機使用。

其中 QSVI-20 與 QSVI-50 抽氣量為 319 ACFM + 730 ACFM = 1049 ACFM (= 1782 m³/h)，每年運轉 8,760 小時，每度電 2.5 元。

經 2018/8/28 現場使用 FLUKE 1736 電力計量測，Quincy 牌 QSVI-20、QSVI-50 定頻真空泵浦持壓時平均耗電（功率）共為 47.76 kW(18.64 kW + 29.12 kW，如圖 2、圖 3 所示)。其中，QSVI-20 為皮帶傳動，2006 年份，噪音很大，耗電大於額定值，異常！

■ 改善措施：

1. 購入 1 台 50 hp Atlas Copco GHS 1900

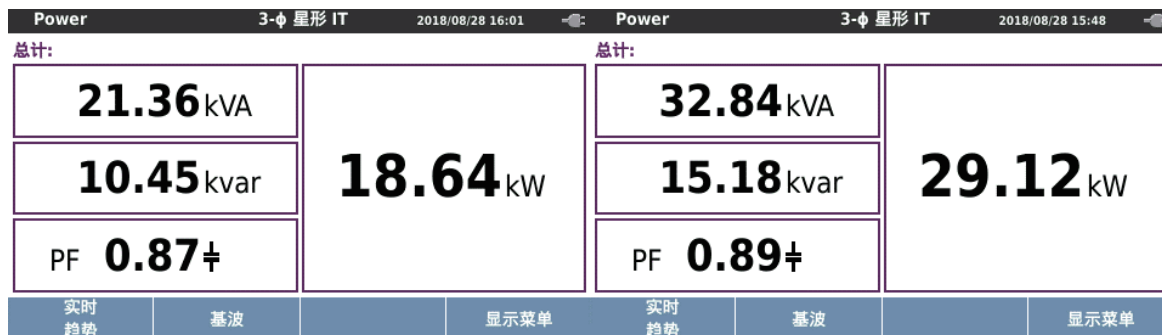


圖 2 QSVI-20 泵浦耗電量測

圖 3 QSVI-50 泵浦耗電量測



圖 4 Atlas Copco GHS 1900 VSD+ 真空泵外觀圖

VSD+ 高效率變頻之真空泵浦如圖 4 所示，取代原來效率較低之 20hp QSVI-20 與 50hp QSVI-50 真空泵浦。

新 Atlas Copco GHS 1900 VSD+ 高效率之變頻真空泵浦規格如表 2。

■ 改善結果

在持壓在 100 mbar 條件下，實際更新效率較低之 20hp QSVI-20 與 50hp QSVI-50 真空泵浦為 1 台 50hp Atlas Copco GHS 1900 VSD+ 高效率變頻之真空泵浦，改善前，2 台抽氣量 319 ACFM + 730 ACFM = 1049 ACFM (= 1782 m³/h)，持壓時

耗電 47.76 kW。

2018/12/19 現場使用 FLUKE 1736 電力計量測，改善後 20hp QSVI-20 與 50hp QSVI-50 真空泵關閉，改開新 50hp Atlas Copco GHS 1900 VSD 高效率變頻之真空泵浦平均負載只需 11.26 kW 如圖 5 所示，約只有使用 66% 負載如圖 6，Atlas Copco GHS 1900 VSD+ 控制面板顯示），仍有 34% 的負載未使用，顯示抽氣性能與變頻效果非常理想。

■ 節能效益及節能比率

在持壓在 100 mbar 條件下，改善前，2 台抽氣量 319 ACFM + 730 ACFM = 1049 ACFM (= 1782 m³/h) 為耗電 18.64 kW + 29.12 kW = 47.76 kW。

改善後 Atlas Copco GHS 1900 VSD 高效率變頻真空泵浦於持壓在 100 mbar 時只需 11.26 kW。

年運轉時間 = 8,760 h/年

- (1) 每年節能效益：(47.76-11.26)kW* 8,760 h/年 = 319,740 kWh/年。
- (2) 節 能 費 用：319,740 kWh/年 * 2.5 元 / kWh = 799,350 元/年。(電價以 1 度 2.5 元計算)
- (3) 抑低 CO₂ 排放量：169,142 kg/年 ((105 年 CO₂ 換算值，每 kW-h 為 0.529 kg)

表 2 新高效率之變頻真空泵浦規格 [3]

Machine type	Nominal Displacement		Ultimate Pressure	Oil quantity		Noise level range	Permissible ambient temperature range	Inlet / Outlet connection Size		Shaft power	
	m ³ /hr	cfm	mbar(a)	litres	gallons	dB(A)	°C			kW	hp
GHS 350 VSD+	400	240	0.35	16	4.2	51-65	0~46	DN80 (PN6)	2 ½" bsp	5.5	7.5
GHS 585 VSD+	560	330	0.35	16	4.2	51-68	0~46	DN80 (PN6)	2 ½" bsp	7.5	10
GHS 730 VSD+	730	430	0.35	16	4.2	51-73	0~46	DN80 (PN6)	2 ½" bsp	11	15
GHS 900 VSD+	870	510	0.35	16	4.2	51-76	0~46	DN80 (PN6)	2 ½" bsp	15	20
GHS 1300 VSD+	1300	765	0.35	40	10.5	65-75	0~46	DN150 (PN10)	DN100 (PN10)	22	30
GHS 1600 VSD+	1600	942	0.35	40	10.5	65-79	0~46	DN150 (PN10)	DN100 (PN10)	30	40
GHS 1900 VSD+	1900	1119	0.35	40	10.5	65-80	0~46	DN150 (PN10)	DN100 (PN10)	37	50

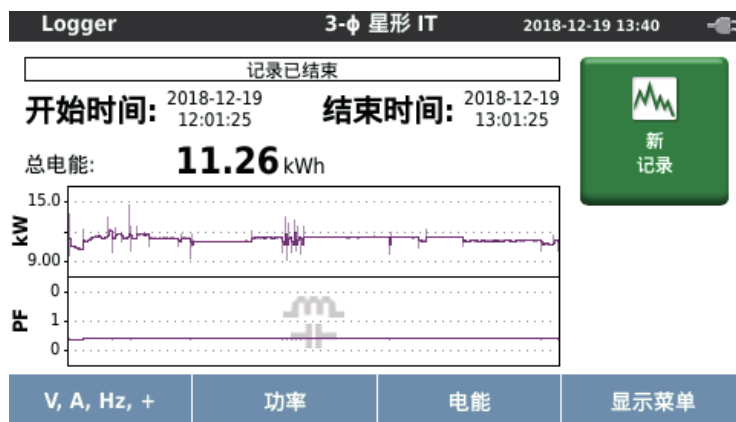


圖 5 改善後新 50 hp VSD 新機耗能量測

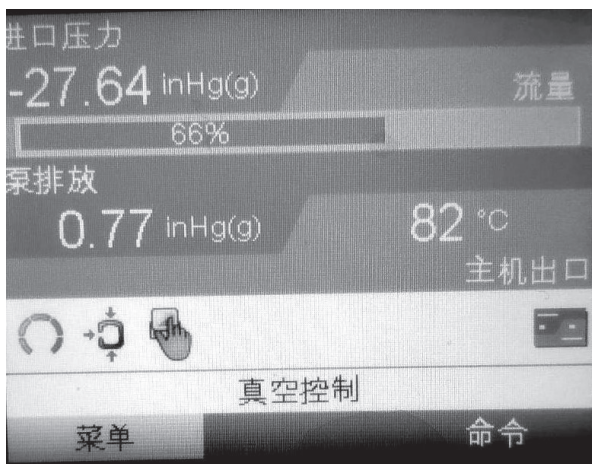


圖 6 改善後新 50 hp VSD 新機控制面板顯示運轉狀況

(4) 節能比率 = $(47.76 - 11.26) \text{ kW} = 47.76 \text{ kW} = 36.5 \text{ kW} / 47.76 \text{ kW} = 76.4\%$ 。

(本案節能比率較高，一般改善案為 20~50% 之節能量)

(5) 投入成本：1,105,000 元。

(6) 簡易回收年限 $1,105,000 \text{ 元} / 799,350 \text{ 元} / \text{年} = 1.38 \text{ 年}$ 。

結論

製程定頻真空泵運轉時，當達到需求真空壓力時其抽氣需求遠小於額定抽氣量，此時馬達仍以全速運轉消耗相當大電力，若以高效率變頻真空泵取代定頻真空泵一般有 20~50% 之節能量，值得推廣。

誌謝

本文為經濟部能源局計畫成果（計畫代號 J453CK1300），特此感謝。

參考資料

- [1] 低壓三相鼠籠型感應電動機（含安裝於特定設備之一部者）能源效率基準、效率標示及檢查方式 https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/Law/Content.aspx?menu_id=1038
- [2] 能源用戶訂定節約能源目標及執行計畫規定 https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/Law/Content.aspx?menu_id=2340
- [3] 真空技術精華，蘇青森（五南圖書出版股份有限公司 2009）
- [4] Atlas Copco GHS 350-1900 VSD+ series 型錄 <https://www.atlascopco.com/en-uk/vacuum-solutions/products/oil-sealed-vacuum-pumps/oil-sealed-screw-pumps-with-vsd-technology>