

論文編號：6746

論文標題：以矽控整流控制技術應用於製程機具之節能效率提升  
-以密煉機為例

著者：詹致嘉<sup>1</sup>、莊賀喬<sup>1</sup>、翁偉彬<sup>2</sup>、陳良宇<sup>2</sup>、楊竣傑<sup>2</sup>

單位：<sup>1</sup> 國立台北科技大學，機電整合所  
<sup>2</sup> 亞得力科技股份有限公司

亞得力科技股份有限公司  
Ya De Li Technology Co. Ltd.



## 摘要

本研究中，我們以矽控整流控制技術成功地開發應用於製程機具的節能效率提升，主要的工作原理是先透過檢測欲節電之機具迴路(含電壓變化等資訊)，並採用矽控整流器元件(SCR)，依據馬達負載變化量來控制SCR觸發角度，控制電流合理下降以符合馬達最適當之電壓輸出(提供最佳扭力輸出)，達到節電效果。主要的控制技術在使馬達的輸出功率可隨著製程負載的變化而改變；因此在低負載時節電率高，反之當高負載時則有效提供扭力需求，有效降低流動電費且不影響製程轉速，相較於市場上所研發的節能設備，此裝置僅在設備外加掛無須另加任何感測器。因此，所開發之技術具自動偵測負載變化情形，其主要可應用的機台通常具有無法改變轉速、有明顯輕重載變化者，如：塑膠原料混合機、廠房內空壓機及各式恆頻的製程設備等。

本文中以某塑膠有限公司廠內具有攪拌功能的密煉機為實例說明，依據運轉中的實測電壓值與電流值作量測，在市電模式下為382V/132A，配合此控制的節能模式下為379V/106A，整體節能效率約20.4%，除控制技術開發之外，也針對欲節電之機具提供旁路保護功能，包括三相電源欠相、高低電壓、電流超載等保護機制以防止馬達燒掉。

## 1. 前言

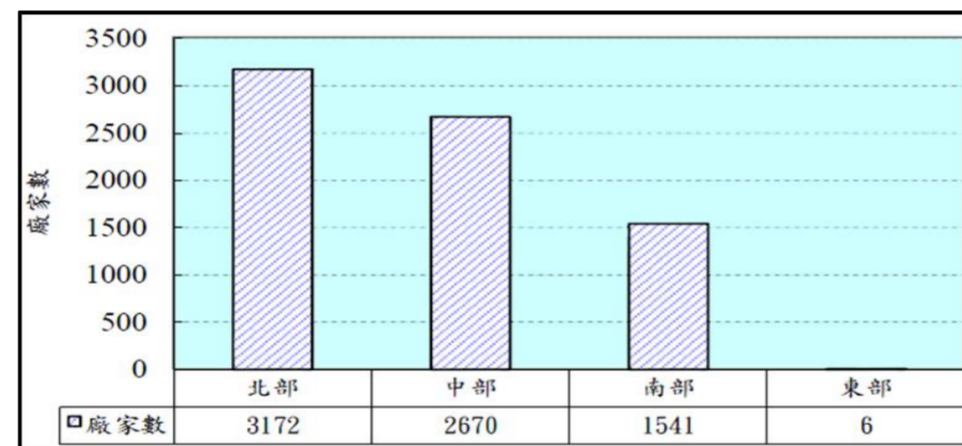
現今隨著工業迅速發展，機械製造產業需求的劇增及台灣生產技術能力的提升，各產業直接用於生產的機械設備及輔助設備相當廣泛，其範圍包括產業機械的半導體設備、橡膠機械、動力機械的引擎發動機、渦輪機及用於產業製程中的各式工具機等。根據經濟部截至101年為止的數據統計，國內機械工業登記營運中工廠家數高達79,439家，由摘錄自各行業營運中工廠家數統計中如表一，橡膠及機械設備業佔整體約26%，可知相關產業在國內佔有相當高的比例；而從塑膠業廠商分佈的統計如圖一，北部與中部縣市為最多的地區，顯示我國大部分橡膠業廠商大多分佈在中部以北的地區。

對於橡膠業而言，攪拌設備是製程中不可或缺的部分，尤其以化工、飼料、食品加工及其他橡膠製品業等領域在製造過程中有非常廣泛的應用，可攪拌肥料、燃料等粉狀物料，或使兩種不同物料依照需求的不同達到分散及均勻混合，但也相對的產生輸出功率的消耗，為了因應節能減碳為國際間最受關注的議題，市面上針對耗能設備採用許多不同的節能手法，其中以利用變頻器改變頻率原理控制馬達轉速達到節能目的，大量運用在各個場合，或以更換高效能馬達為選擇，將舊設備汰換為高效率設備被認為是直接有效的方式，這些方式雖然在節能效果上有提升，但對於生產效率與成本的考量會有極大的影響。

本研究將會採用耗能設備所產生的數據，正確的針對能源消耗情形做管理控制，在不影響設備在製程轉速的運作狀態下採外掛式裝置，大幅降低所需成本，利用智慧型的控制技術，讓其做最佳的功率輸出，並以實際數據比較做驗證，產生節能效果。

項	目	97年	98年	99年	101年	單位：家	
						佔比(%)	平均年增率(%)
總	計	77,640	77,331	78,005	79,439	100.0	0.9
按行業別分							
橡膠製品製造業		1,029	1,022	1,026	1,073	1.4	2.3
塑膠製品製造業		6,709	6,678	6,739	6,836	8.6	0.7
機械設備製造業		12,957	12,939	12,882	12,964	16.3	0.3

表一



圖一

## 2. 市面上節能方式

目前市場上現有的密煉機，在變頻器尚未廣泛應用前國內廠商大都採用傳統馬達定頻恆速的通用型密煉機，其在出廠前將是設置好固定轉速參數，降低了其對物料變化的應對性能，在整個加工過程中，包括投入塑料膠、分批加入大料、混合等不同階段，驅動系統直接通過減速機直接拖動密煉機轉子運動，而當物料需要多次添加時，需要反覆停機啟動，將會處於高耗能狀態而造成了以下問題：

### • 啟動電流大：

密煉機在固定頻率下啟動時，瞬間電流高達正常運行6~10倍，同時啟動時力矩過大容易對馬達造成損壞。

### • 傳統馬達裝置

密煉機採用減速箱作為傳動裝置，減速機減速比單一，所以密煉機只能根據製定配方做混煉，如果需要更換配方，則需要對減速機進行改裝，使之適應更改後配方的速度，這樣會使生產週期延長，降低生產效率，減少用戶效益。

### • 高耗能

密煉機長時間處於高轉速的運轉下，相對的消耗龐大的電力。

而實際生產過程中，許多區間可以降低轉速運行，在滿足密煉機負載要求和動態特性的同時，為了達到使密煉機具有調速的功能，市場上大部分都提出加裝變頻器以達到節能方案，以調整頻率之變化來控制馬達轉速，其主要乃是根據馬達轉速公式即：

$$N = \frac{120f}{P} (1 - S)$$

N：轉速(rpm) P：馬達極數  
F：頻率(Hz) S：馬達之轉差率

除傳統式馬達之外，目前市場上採用的節能方式應用於密煉機上包括：

- 1.將原有設備馬達更換為具有速度控制的馬達，如：伺服馬達、步進馬達等。
- 2.採用外掛式變頻器於設備上。
- 3.附有規格符合變頻器的馬達。

上述方式具有下列優點：

- 1.由於馬達在低負載時以較低轉速運轉，所產生的機械噪音較低相對的軸承壽命較長。
- 2.因變頻器具有緩啟動(Soft Start)功能，所以會降低瞬間啟動電流。
- 3.系統控制較傳統(on-off)穩定。

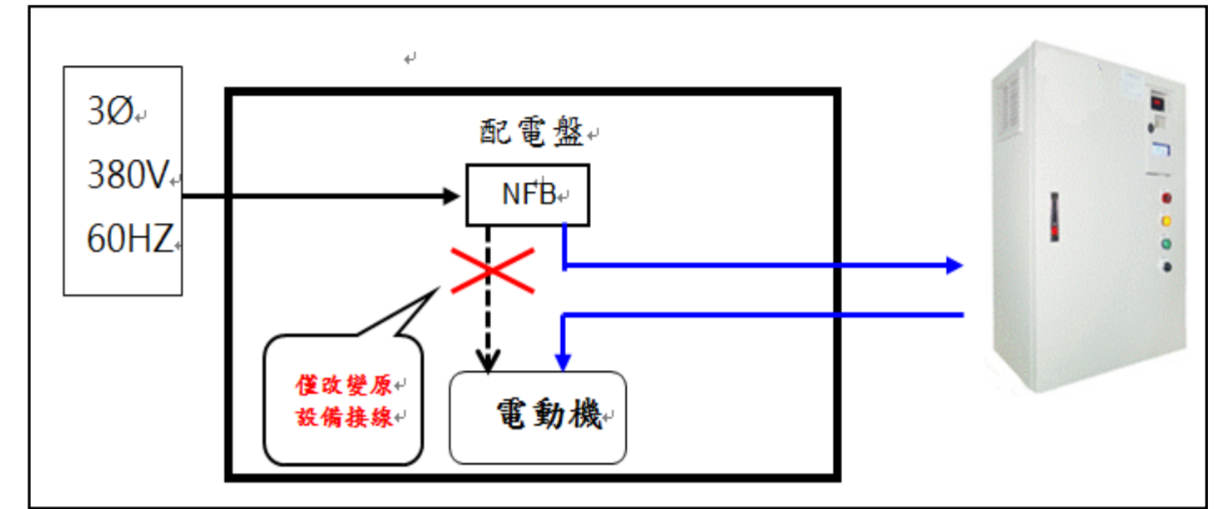
### 缺點：

- 1.更換具有調速功能的馬達實際所需成本高。
- 2.維護要求高：因變頻器結構較複雜，部件經長期工作後其性能會逐漸降低，因此要經常更換；當維護不及時，進而縮短設備的使用壽命。
- 3.保護機制：當變頻器故障時，當沒有相對應的保護裝置時會影響機台作動。

而對於密煉機此類製程設備，衍生出最大缺點則是工作時間，變頻器因利用調整頻率改變轉速，導致延長生產時間，進而影響整體的製程生產效率，對重視生產效率的產業而言，必為影響的因素。

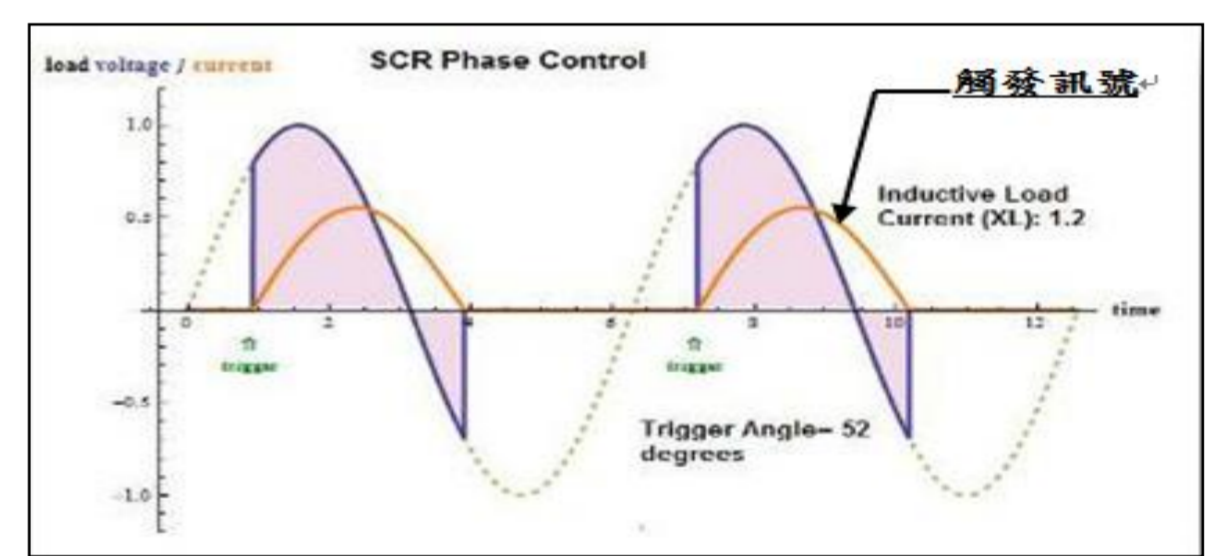
## 3. 矽控整流技術

本研究針對市面上對於製程設備上產生延誤生產時間上的問題做改善，並研發出採用外掛式的節電裝置如圖二，不需更換原有設備與操作方式，根據設備實際負載需求，在1/100秒內自動偵測 $\Delta V/\Delta I$ 的負載變化，以矽控整流方式使用數位晶片精確控制輸出，調整三相電力設備輸出，提供設備最適當電壓與扭力輸出，並控制電流合理下降，以達到節電效果。利用矽控整流設備特點是恆頻、變壓、變流，工作原理是透過檢測迴路方式控制開流體，由控制系統決定開關觸發功率開關組件(SCR、開流體)，自動偵測負載變化情形調整三相波形，改變電壓與電流輸出，提供設備最適當的輸出，其特點除了柔啟動功能可避免大電流啟動，在優化控制上能漸進的提升扭力，和緩而不分段的加速，減少設備在馬達起停階段所承受的壓力，並針對欲節電之機具提供旁路保護功能，包括三相電源欠相、高低電壓、電流超載等保護機制。



圖二 節電裝置示意圖

並快速偵測馬達實際的電壓、電流變化，利用相位滯後情形，以模式預測需要切割相角的大小，準確控制馬達應投入的電壓及電流，精準控制馬達的輸出扭力，並使之與負載扭力完美匹配，使用於每一個交流的正弦波如圖三，改變正弦波每個正半波和負半波的導通角來控制電壓的大小，使電壓值隨著負載變化，電流亦會依照實際需求而調降，所減少的區塊則為可以節電的部分。



圖三 相位角控制圖

依據馬達負載變化量來控制電流合理下降以符合馬達最適當之電壓輸出，達到節電效果，主要乃是根據交流平均功率公式：

$$P = \sqrt{3} E \times I \times \cos \theta$$

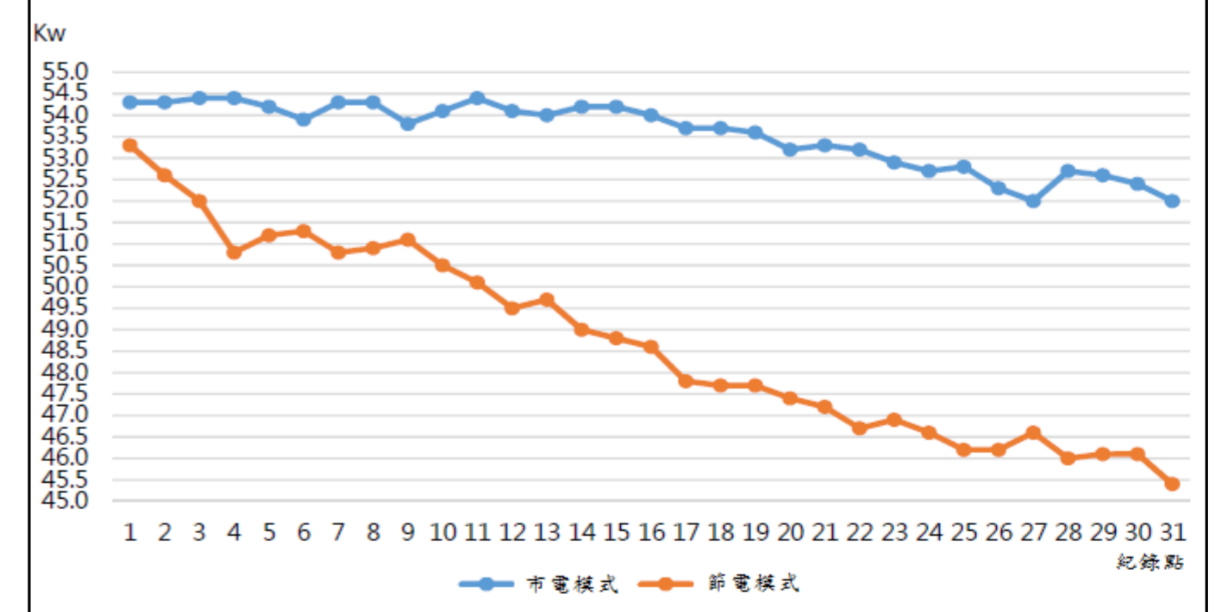
P：功率(瓦特) E：電壓 I：電流  $\cos \theta$ ：功率因數

電壓(E)值隨著電流(I)值的浮動做調整，當然功率(P)值就隨著電壓與電流的調降而變動，而功率因數改變的起伏很小，對整體輸出功率影響不大。當負載全功率輸出狀態下，節能設備會由負載功率所計算最佳的電壓值供應給負載。當在負載輕載狀態下，節能設備就會在極短時間內偵測出當下功率因數值，即電壓與電流相互呈現的相角差Cosine值與負載率的高低而判斷出應該提供多少電壓供電機使用。

## 4. 實測驗證

將本研究裝置應用於某塑膠有限公司廠內的密煉機為實例，做實際的量測比較市電和節電模式的差別，並計算出節電率。設備主要透過Y- $\Delta$ 降壓啟動驅動馬達，馬達為150HP由皮帶帶動減速齒輪，將塑膠原料進行適當攪拌與加工，全時間運轉。並將電錶裝設於節電設備端進行度數記錄，使用電流勾表量測電流及電力分析儀量測用電狀態，因此在進行驗證時，能更即時精準計算節能效益數值。

經過輸出功率的實際量測，測量出31個紀錄點，每一紀錄點為6秒，如圖四所示為密煉機在市電(藍色)與節電(橘色)模式下的功率變化曲線，兩曲線間的落差空間表示產生的節電效益甚大。



圖四 功率變化曲線

而電力鉤錶量測出運轉中的實測電壓值與電流值，在市電與節電模式下分別為382V/132A與379V/106A，並依據交流電功率公式分別為78.6kwh及62.6kwh，經確認在節電模式下的密煉機不影響生產效能後，利用節電率公式(市電模式度數-節電模式度數)/(市電模式度數)得到整體節電率為20.4%。

並統計出效益分析，經現場的紀錄與確認密煉機生產能力無誤後，設備在一個週期生產下，節電模式較市電模式減少2度用電，1小時生產能力約6個週期，每小時約減少12度用電，並依照廠內實際運轉天數及時數，確認設備運轉24小時、1個月工作24天，單度電價3.86元，可推估約可節省26,680元/月。

## 5. 結論

本研究在不影響整體製程生產效能下有效的降低流動電費，相較於市場上所採用的變頻器方式，結構上較簡單且所需耗費成本也較低，性價比相對之下較高且有完善的保護機制，在密煉機此實例中整體節電率高達20.4%，所節省的電費相當可觀，節電效益提升許多，對於無法改變轉速、但有明顯負載變化的製程機具而言，產生節電的價值性。

