

以恆速控制技術應用於機具提升節能效率

莊賀喬^{1*}、張魁元¹、詹致嘉¹、翁偉彬²、李政達²

¹ 國立臺北科技大學 機電整合研究所

² 亞得力科技股份有限公司

E-mail: hchuang@mail.ntut.edu.tw

摘要

本研究將使用一種恆速的控制技術應用在製程機具上，依據電動機負載變化量利用最佳化控制觸發 SCR (Silicon Controlled Rectifier, SCR) 閘流體元件進行相位角度的改變，使電流合理下降以符合電動機最適當之電壓輸出並提供機具最佳扭力輸出，輸出功率可以隨著製程負載的變化而改變；因此在低負載時可以節省不需要浪費的電力，反之當機具高負載運轉時則有效提供扭力需求，有效降低流動耗能。而本技術不影響原本的機具運轉狀態，相較於使用變頻器為節能方法，不但未改變電動機轉速，且僅在設備外掛一個控制裝置。本研究實際應用於石材廠內的拉鋸機，以是否使用本研究控制技術下進行驗證比較如：運轉電流、平均消耗功率與 24 小時耗能度數節能率分別達到 20%、38.87% 與 48.36%，拉鋸機設備每天以 24 小時運轉，以運轉天數 350 天估計，一年預計可以節省耗能度數約為 187,915kWh，減少碳排放量約為 97,903kg。因此，相較於耗能設備常使用變頻器為節能的方式，本研究具有自動偵測負載變化能力，其主要可應用在製程中不能改變轉速之設備，提升整體電動機運轉效率並產生節能效果，未來更能廣泛運用到各種行業上，達到產業升級的作用。

關鍵詞：製程機具，負載變化，節能效益，恆速控制。

1. 前言

全球在節能減碳潮流以及日益增加的能源需求狀況下，提高能源效益為降低成本的主要關鍵。根據經濟部統計[1]，2001 年到 2014 年間，國內電力使用量由 1805 億度成長至 2501 億度。若依據台電公司 104 年統計 91 年度至 104 年度之年報整理之歷年售電量成長分析，可知電力佔 70.4%，電燈佔 29.6%，若製造業用電

中約有 70% 的電力是耗用在電動機系統上，即電動機系統將耗用近五成的國內用電量，因此提高電動機系統之能源效率是節約能源的有效方式之一。針對電力耗能龐大者提升其能源使用率，將是有效且能明顯展現節能成果，此亦是近幾年經濟部能源局列為節約能源工作重點及推動高效率電動機之主因，因此如何有效使用電力最重要就是針對電力系統訂出標準並做到能源管理[2]。

電動機節能技術近年來已被廣泛地運用，這也使節能議題受到重視，其中又以採用變頻器為節能措施最受矚目，許多產業將變頻技術應用於電動機提升節能效率[3]，也被認為為最直接有效之節能控制之方法，國內各工業部門製程之加壓供水泵、冷卻風扇、建築之空調冷卻水泵、水塔風扇等，以上設備系統導入變頻器利用改變設備電動機轉速控制負載大小運轉，而目前現有節約能源技術包括汰換為高效率電動機，以及裝設電容器提高功率因素已經被廣泛的討論，但仍有很大的改善空間。

綜括上述的實際案例，變頻控制的應用確實能減少不必要的電力浪費，但對於工業上製程生產線中的設備，加裝變頻器為節能方式衍生出最大問題為製程整體時間，變頻器因改變電動機轉速間接影響製程生產效率，對重視生產效率的產業而言，必為影響的因素，因此本研究提出一種恆速的節能技術運用在製程機具上，與裝設變頻器相較之下，除了接線上簡單且回收期較短，並針對電力進行耗能分析，以實際數據驗證節能的效益。

2. 實驗方法

2.1 控制核心

本研究設計之恆速控制系統是以固態啟動器為基本結構，並使用型號 18F45K22 單晶片微處理器作為整個系統的控制運算中心，實現提高電動機節能效益的功能，而會以單晶片微處

理器為基礎作為電動機驅動控制系統，主要為當在外部接上周邊介面元件，能依照設計者所撰寫程式執行運作，除了能提高系統穩定性外，軟體編譯上也較易於修正，相較於純固態啟動控制有明顯的實際效益。為了不影響原先的電動機，採用外掛式的接線方式如圖 1 所示，實線為一般電動機接線方式，從台電電源供應端經過配電盤後，再連接上電動機。虛線為經恆速控制下的接線方式，不需更換原有設備與操作方式，其最大優點為設有旁路保護機制，因為此技術設有兩種迴路，當恆速控制出現故障訊號時，可以轉換為市電模式回到原先運轉狀態。

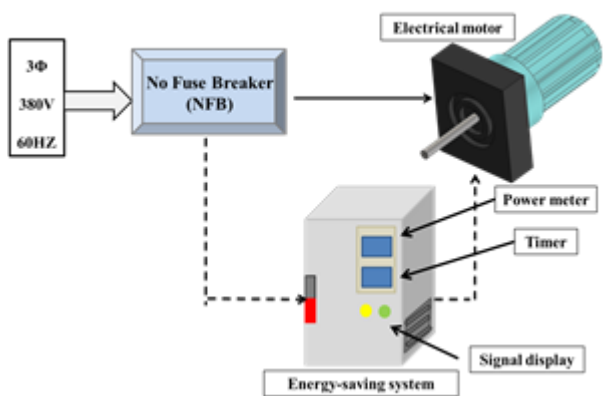


圖 1 接線示意圖

2.2 節能原理

本技術原理為透過控制信號的輸入，去控制在主迴路中的矽控整流器 (SCR)，改變主迴路中電壓的導通與關斷，達到調節電壓或功率的目的，只要延後 SCR 的觸發時間，即可降低負載功率，提前觸發則可增加功率，因此可以利用每一個交流正弦波的半個週期（正半週期或負半週期）內通過控制觸發脈衝的相位，調整導通時間或關斷時間的比例來達到改變輸出電壓平均值的目的，如果在半週內較早觸發，輸出電壓有效值較高，如果觸發時間較晚，只有一小部分的波形可以通過，使輸出電壓有效值較低，藉著控制 SCR 的輸出電壓，就可控制電動機的運轉，其控制流程圖如圖 2 所示，經由比流器以迴路方式檢測當下運轉電壓及電流數值，重載到輕載的電流變化量為最主要的訊號，並間接調整三相輸出波形，因能依據製程

機具的負載變化而隨時改變電動機當下的輸出達到節能效益，再由系統控制板根據當下回饋訊號決定開啟觸發整 SCR，在 1/1000 秒內自動偵測機具 $\Delta V/\Delta I$ 的負載變化調整三相電力設備，提供設備最適當電壓與扭力輸出，並控制電流合理下降以符合電動機最適當之電壓輸出。

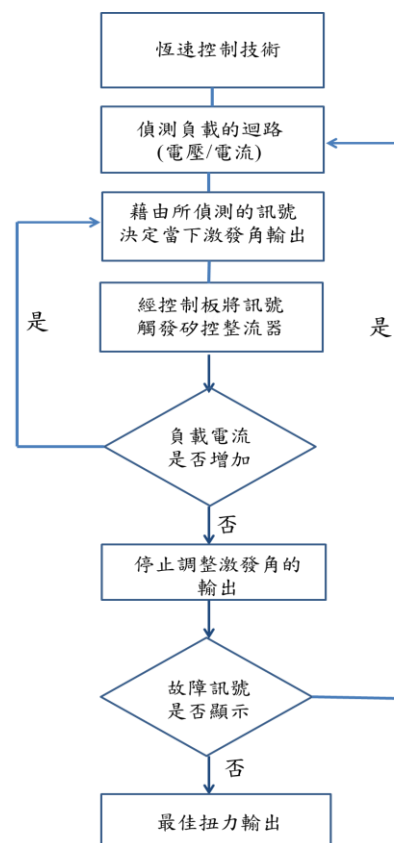


圖 2 控制邏輯流程圖

而節電原理主要根據三相平均消耗功率如式 1：

$$P = \sqrt{3} \times E \times I \times \cos \theta \quad (1)$$

P：消耗功率(W)

E：電壓 (V)

I：電流 (A)

$\cos \theta$ ：功率因數

當電壓值隨著電流值的浮動進行調整，消耗功率值即隨著電壓與電流的變化而變動，而經過本研究技術控制下功率因數改變的起伏不大，對整體輸出功率影響不大。當機具負載需要全功率或者是輕載輸出狀態下，能短時間內

偵測出當下功率因數值，進而判斷出如何最佳化控制供給電動機使用。

2.3 節能效益

本研究的驗證方式將紀錄以電動機在同樣的運轉時間下為標準，所採集的數據包括電壓、電流、有效功率、用電度數，為了得到完整的數據變化，並用計算公式如式 2 準確的計算出節能效益。

$$\text{節能率} = \frac{(\text{未經恆速控制耗能} - \text{恆速控制耗能})}{(\text{未經恆速控制耗能})} \times 100\% \quad (2)$$

而電力耗能將以電力品質分析儀以即時記錄的方式 2 秒為一筆紀錄如圖 3 與圖 4 所示，連接電腦同步即時監控以確保數據的準確性，因此可以詳細的觀察負載設備用電狀況。

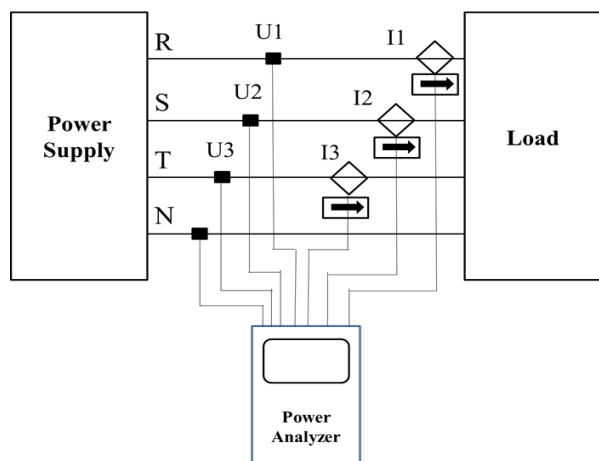


圖 3 電力品質分析儀接線圖



圖 4 電腦同步紀錄實照

2.4 實例驗證

由於天然石材為重要的建築材料且廣泛應用於許多領域[4]，石材製品需求量大增，根據預測指出，到 2025 年全球石材的採集量將到達 4.4 億萬噸[5]，造成石材加工廠數量不斷提升，而切割程序在石材加工製程中為重要的一部分，所使用的製程切割設備必須負擔相當大的電力成本[6]，如果將變頻控制應用於此切割設備上，將產生切割製程時間上的延誤，因此本研究提出一種恆速的節能技術運用在石材廠內切割設備，與裝設變頻器相較之下，除了接線上簡單且回收期較短，並針對電力進行耗能分析，以實際數據驗證節能的效益。

本研究將以石材廠內的拉鋸機作為實驗負載如圖 5 所示，拉鋸機其規格為 150HP 感應電動機，因石材行業大部分的加工設備馬力數都在 75HP~250HP，因此本研究為接近市場需求選擇使用 150HP 電動機。該設備有一顆主電動機如圖 5(a)所示，提供動力給予切割作動與一顆泵浦如圖 5(b)所示，進行抽取動作供應切割時所需要的鋼砂。主電動機通過傳動皮帶如圖 5(c)所示，傳動到直徑為約 4 公尺左右的運轉大輪上如圖 5(d)所示，再經過大輪上的偏心輪和一個長臂如圖 5(e)帶動一組排鋸，通過偏心輪的轉動帶動前鋸執行前後運動做切割程序，主要目的為將立方體的大石塊分切割成若干個厚度均勻的石板。

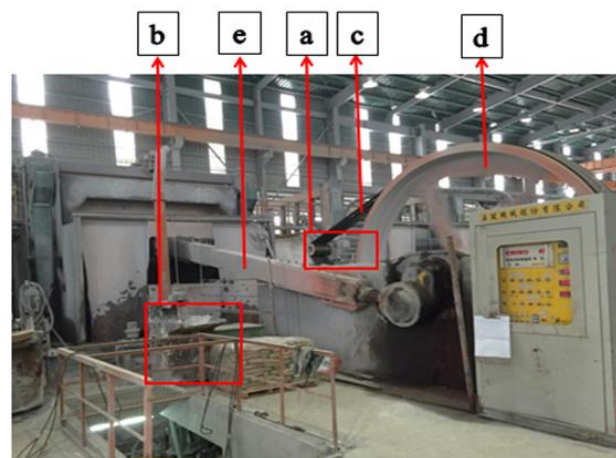


圖 5 石材廠拉鋸機

- (a)主電動機(b)抽取鋼砂用泵浦(c)傳動皮帶
(d)運轉大輪(e)帶動用長臂

如圖 6 所示為拉鋸機在原先的實際運轉模式下，以每兩秒紀錄一筆的功率因數值，在輕重負載的變化下所得到功率因數值介於 0.4-0.6 之間，因石材在每個部份硬度都不盡相同，因此在進行切割動作時，當鏈鋸接觸到石材時所施給的力都不同，所以當下消耗功率的幅度變化相當大。由此可得知運轉中電力耗能中，平均運轉效率偏低且產生的無效功率偏高，導致有絕大部分的電力是浪費的。

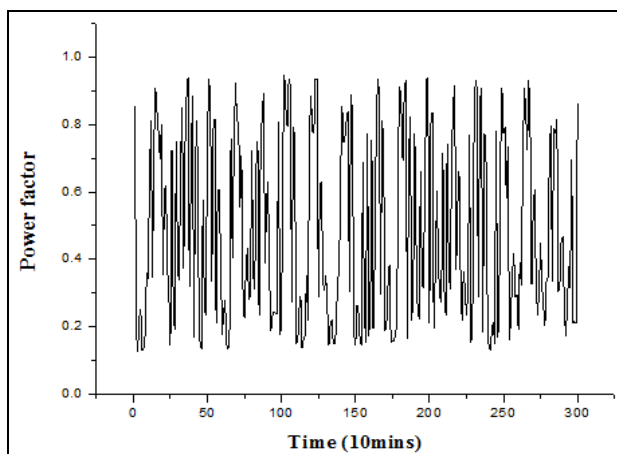


圖 6 拉鋸機運轉功率因素

圖 7 與圖 8 分別為拉鋸機運轉中電壓、電流隨時間的變化圖。拉鋸機運轉的電動機所用電壓為 380V，由圖 7 可以發現實際輸出電壓會因電源端給電時，為了避免送電時產生的損耗及用電尖峰期間的低電壓而有所浮動。而當進行恆速控制時，電壓也會隨著電動機原先的電壓輸出變化做改變，平均電壓減少了約 2-4V，假設將電壓控制的過低會使電動機的運轉電流反而升高，達不到節能效益。而從圖 8 的電流變化中可以發現原本拉鋸機的負載變化相當大，因為電壓合理的下降沒有造成異常的上升，反而運轉電流大幅度的減低，在合理化的控制並無影響拉鋸機運轉之下，與沒有使用恆速控制的狀況比較下，節省約 15-20% 的用電量。

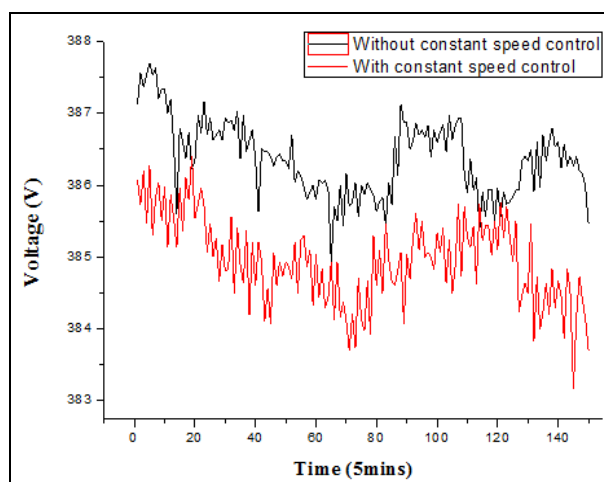


圖 7 電壓變化圖

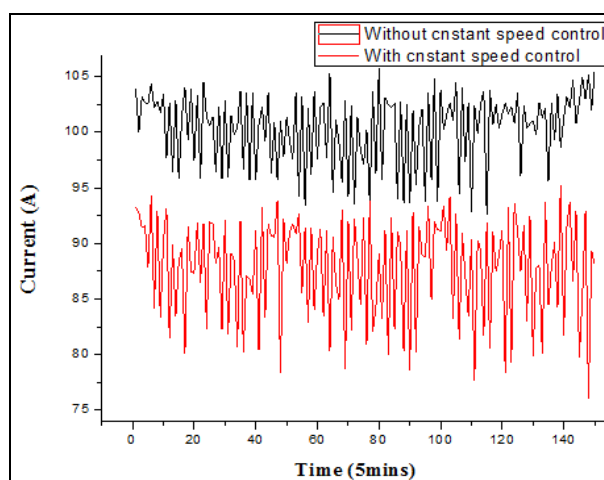


圖 8 電流變化圖

圖 9 為拉鋸機在運轉中的實功率，由於電流為影響機具負載消耗功率的主要參數，而由圖 8 得到運轉電流大幅度的降低，而電壓也在控制之下減低，因此實功率隨之降低。而當拉鋸機運轉於輕載的狀態時，因不需要過多電力需求即可達到運作目的，因此當原先拉鋸機整體運行中的平均實功率落於 10 kW -30kW，使用恆速控制技術後，整體運行中的平均實功率減少落於 2kW-10kW，相較於在重載時產生的節電效益較高。

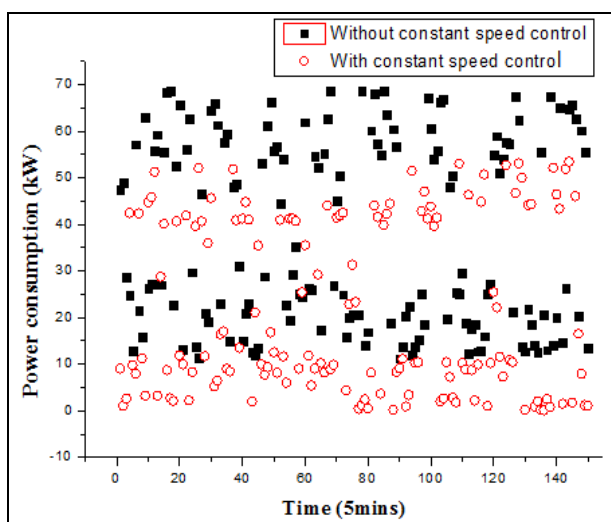


圖 9 有效功率變化圖

在預估節能效益部分，表 1 為拉鋸機使用恆速技術後長時間的耗能比較，30 分鐘內平均消耗功率節能率達到 38.87%，並比較拉鋸機運轉時的累積耗能量，在 24 小時的對比下進行量測得到 48.36% 的節能率，依據經濟部能源局公告的電力排放係數，每度電將會產生 0.521 公斤的二氧化碳，以拉鋸機使用本研究恆速控制技術後當運轉時間為 24 小時可以達到 48.36% 的節能效益時，預計將能減少 279.72 公斤的二氧化碳排放量。

表 1 拉鋸機運轉累積耗能

	Without	With	Energy-saving rate
Average (30mins)	37.2774kW	22.7847kW	38.87%
24hours	1110.2kWh	573.3kWh	48.36%

3. 結論

本研究在不影響整體製程生產效能的條件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，本控制技術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設計完善的保護機制。由研究中的數據可得

知，因每台電動機的耗能特性不盡相同，因此節能效益上會有所差異，而在應用於石材業的拉鋸機此實例中，在不改變整體生產效率及確保電動機在正常狀況運轉下，耗能度數的對比之下整體平均節能率至少達到 30%，所節省下的電費相當可觀，節電效益提升許多。

4. 致謝

本研究能夠完成，首先感謝科技部計畫的補助(MOST-104-2622-E-027-022-CC3)。除此之外也很感謝亞得力科技股份有限公司(Ya De Li Technology Co. Ltd.) 的支持與協助，使本研究得以順利進行。

5. 參考文獻

- [1] 經濟部能源局，“電力消費統計表”，2014。
- [2] A. McKane, R. Williams, W. Perry, T. Li, "Setting the standard for industrial energy efficiency", *Proceedings of EEMODS '07*, Report Number LNBL-63417, Topic 9: Industrial Management Issues, Paper # 070.
- [3] R. Saidur, S. Mekhilef, M.B. Ali, A. Safari, H.A. Mohamed, "Applications of variable speed drive (VSD) in electrical motors energy savings", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) pp.543-550.
- [4] S.W. Bai, J.S. Zhang, Z. Wang, "A methodology for evaluating cleaner production in the stone processing industry: case study of a Shandong stone processing firm", *Journal of Cleaner Production* 102 (2015) pp.461-476.
- [5] S. Gunasekaran, G. Manicandan, *Feasibility Study for Setting Standards in Natural Stone Sector in Rajasthan* (2009) ISBN: 978-81-904564-6-3.
- [6] M. Yurdakul, H. Akdas, "Analysis of the Industrial Cutting Process of Natural Building Stones: Evaluation of Electric Power Consumption", *Journal of Testing and Evaluation* 42 (2014) pp.1-11.