

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

變轉速四連桿機構運動與動力特性整合設計與測試

Kinematic/Dynamic Design and Testing for Variable-speed Four-Bar Linkage Mechanisms

計畫編號：NSC 89-2212-E-168-009

執行期限：88 年 10 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

主持人：陳維仁 崑山科技大學機械工程系

計畫參與人員：謝明君 崑山科技大學共同科

一、中文摘要

本研究將四連桿機構之動力源以變轉速運轉，使原四連桿機構在尺寸不改變之原則下可以達到不同的運動輸出要求。另外，變轉速會產生與傳統等轉速機構不同的搖撼力，同時馬達需要高功率、高扭矩才能使載具沿所要求的轉速軌跡運轉。對此，本計畫以轉速與桿件幾何尺度（含動力特性）之同時設計來解決此等動力問題。

本計畫概分為兩部份：第一部份為運動與動力整合設計，主要是對變轉速四連桿機構設計出一套通用型的連桿幾何尺寸、相關動力參數、以及對應之馬達轉速函數設計準則，使其在所需之運動時序之要求下可以滿足降低搖撼力之目的外，亦得以降低馬達所需驅動轉矩；第二部份為實驗載具之實作與測試，亦即採用適當之控制方法，將第一部份的轉速設計成果以實驗方式驗證其可行性。

Abstract

This project uses a variable-input-speed method to drive a 4-bar-linkage mechanism to meet various output motion characteristics. In addition, this approach may need a high capacity servomotor to generate sufficiently large torque to vary the input speed of an industrial mechanism. And, the shaking force resulting from the varying speed input is different from those of traditional constant speed input mechanisms. We improve this problem by a combined approach with dynamic characteristics and input speed design of the

4-bar linkage mechanisms.

The first part of this project is the integrated design of kinematic and dynamic problems. Its purpose is to derive general criteria for the selection of 4-bar linkage geometry, its corresponding dynamic parameters, and the useful input speed trajectories for reducing the shaking force and driving torque of the 4-bar linkage mechanisms. The second part is to design, build and test the derived linkage hardware, based on suitable control algorithm, for proving the feasibility of the proposed methodology.

二、計畫緣起與目的

一般具連續運轉特性之四連桿機構，其動力源大都是馬達，且在設計時均假設馬達作等轉速輸入，藉由桿長尺寸的設計來滿足所需之運動輸出。若是所要求的輸出運動在時序上有所改變，往往必須重新進行尺寸合成才能達到要求。然而若能藉由伺服控制之方法設計馬達以變轉速運轉，則機構將增大設計上的自由度，使機構在不需改變尺寸之原則下，達到不同之運動特性要求。

本計畫期望研究出一套系統化的方法，用以產出通用型的四連桿機構輸入動力源轉速函數，藉由此轉速函數之運轉，使連桿機構在不改變機構尺寸原則下，可達到通用性之函數產生之運動輸出要求；然而欲使此機構得以實際應用在實際產業機械上，則必須進一步考慮到動力之要求。因此，本計畫擬提出一個具體方案，用以解決因變轉速所延伸出之動力問題。

過去多年來，與變轉速機構相關之文獻不多。顏鴻森等人[1-4]致力於以變轉速方法消除凸輪從動件運動特性之不連續性，及降低從動件之加速度與馬達所需轉矩峰值的研究；Hsu 和 Chen [5] 則進一步討論以變轉速的方法降低凸輪運轉所需之轉矩峰值。姚 [6] 更以最佳控制理論導出得以改善凸輪從動件系統運動特性以及抑制其殘餘振動的轉速軌跡 Yan 和 Chen [7-8]則將理論再推廣運用於連桿機構上。Fung 和 Chen [9] 亦提出一種將馬達、控制器、以及機構視為非線性耦合系統的構想，同時利用變結構控制法來產生機構運動控制與振動抑制的效果。Herman、Straete、以及 Schutter [10]也利用等轉速、變轉速混合式凸輪機構，降低伺服馬達所需之尖峰動力；而 Connor 等[11]則利用變轉速五連桿機構探討路徑產生之方法 Perju 和 Lovasz [12]提出以可變桿長之方法設計四連桿機構之函數產生器 Yossifon 等人[13]設計並製作出螺桿型多用途沖床，其原型機直接將伺服馬達透過螺桿機構驅動衝壓平台，藉著控制伺服馬達之位置與轉速來達到衝壓動作所需之運動特性。然而，缺乏連桿機構所具有之機械利益，馬達需有很大的扭矩才能使衝壓平台沿所欲之軌跡運動。近年來，Yossifon 等人[14-16]利用交流伺服馬達的特性使沖床得以產生等衝壓力之衝壓作動過程；陳[17]則更以變轉速的方法對現有的一般型沖床升級，使之成為多功能之沖床。

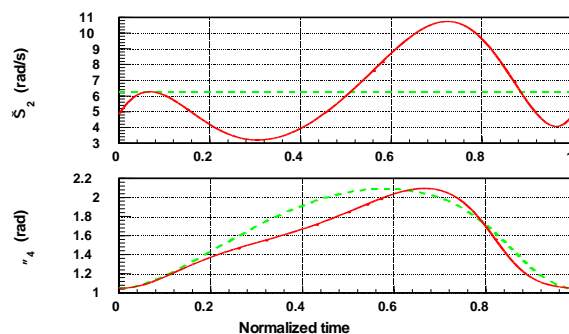
本計畫的將變轉速伺服系統概念再推廣到四連桿機構，產出通用型的四連桿機構輸入動力源轉速函數，藉由此轉速函數之運轉，使連桿機構在不改變機構尺寸原則下，達到可適應任意時序之函數產生之功能。再者，本計畫進一步將機構變轉速所產生的動力問題作分析與歸納，以最佳化之方法探討出伺服連桿機構之適用連桿尺寸、質量、以及慣性矩，藉以降低機構所產生之搖撼力與搖撼力矩；同時更進一步依動力的考量設計出能同時滿足所需運動

特性與降低輸入轉矩之轉速函數，並規畫適當的應用載具，將構想實作成雛型機，並且採用適當之控制理論，由此建立實驗系統以測試此方法之可行性，以為將來工業應用之理論依據。

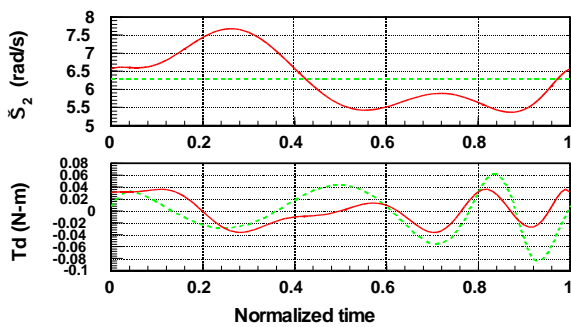
三、結果與討論

本計畫探討變轉速輸入可能對四連桿機構輸出運動所造成的便利性與多功能性。接著推導出四連桿機構之輸入與輸出桿件之運動特性與動力特性方程式，作為分析之基礎。然後提出一套以 Bezier 曲線為核心之轉速設計的方法，並經由最佳化之程序，求出該 Bezier 曲線之控制點參數。此方法理論上對於任意所需之輸出運動特性，皆能獲得對應的可用輸入轉速函數。再者，四連桿機構之動力平衡問題已有許多學者提出相當出色的平衡方法。不同於其他研究方法，本計畫改以變轉速為手段，在不改變原有四連桿機構之幾何尺寸與配重之條件下，僅靠改變轉速的方法就能得到輸入扭矩或搖撼力的改善。再者，進一步以簡單的質量重分配法、配合變轉速法來改善四連桿機構之動力特性。

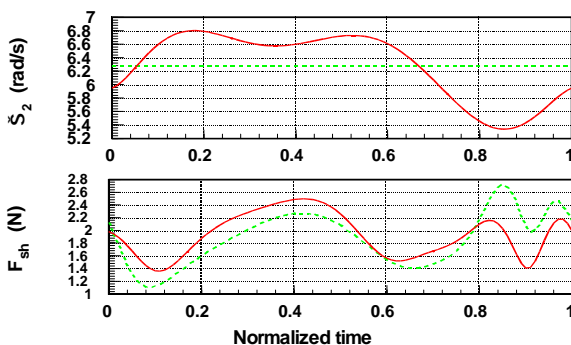
在實務上本計畫利用二維自由度的 PID 轉速控制方法，使得變轉速的理念得以付諸實現。為了進一步說明本方法的應用時機與運用對策，共提出了包含輸出桿件之函數產生(圖一)、扭矩降低(圖二)、以及搖撼力的改善(圖三)等實例來具體表現其實用性。最後並實作出一伺服四連桿機構之原型機系統(圖四)，透過實驗的方式驗證了本研究之可行性。



圖一 變轉速四連桿機構作為函數產生器



圖二 變轉速四連桿機構使扭矩降低



圖三 變轉速四連桿機構改善搖撼力



圖四 變轉速連桿機構原型機測試系統

綜觀計畫全案，可以獲致以下幾點結論：

1. 以 Bezier 曲線為核心的轉速函數，由於具有可連續微分之連續性及方便易調之便利性，相當適合描述變轉速機構之所需輸入運動特性。
2. 經由最佳化的過程，不但可以用目標函數將滑件的運動(如加速度)或動力特性(如搖撼力)，同時還可用限制條件的作法，讓機構的輸出運動達到期望之設計要求(如函數產生)。
3. 若是所期望的輸出桿件之運動特性與原先等轉速時的運動特性相較，其變化

相當劇烈時，則所需進行的輸入桿件轉速變異量也會較大。此時所需之馬達馬力與扭矩需求會較大，而控制難度也會相對提高。

4. 因為可以調整閉迴路轉移函數的零點，二維自由度的 PID 控制器，已足夠提供本研究變轉速伺服連桿機構之有效控制；利用命令提前的方法，更增進了本系統對於期望運動之準確性。
5. 實際變轉速伺服機構之實現，可以依照本計畫中所提之 DSP 數位訊號處理器為主體的系統來實施。

四、計畫結果自評

於計畫書中所提預定完成的工作項目如下：

1. 發展出一套系統化之方法以建立連桿傳動機構之輸入轉速通用型函數。
2. 完成連桿傳動機構運動特性與動力特性之最佳化。
3. 建立實驗裝置及選用與分析控制方法。
4. 完成機構離型機系統鑑定。
5. 發展出標準化可變轉速連桿傳動機構之控制軟體。
6. 完成離型機系統測試。

檢視本年度之工作成果，其中第 5 項之軟體標準化，由於其與機構本體、伺服馬達 驅動器 以及相關感測迴授元件有關，較難有一標準化之通用程式可用，因此僅能提供一可行之控制器架構。其他如 1、2、3、4、6 等項目皆已如期完成。

在學術上將投稿期刊，同時預期可以申請相關之專利，以及將來與廠商作後續之技術移轉。

五、參考文獻

1. Yan, H. S., Hsu, M. H., Fong, M. K. and Hsieh, W. H., "A Kinematic Approach for Eliminating the Discontinuity of Motion Characteristics of Cam-Follower Systems", *Journal of Applied*

- Mechanisms & Robotics*, Vol. 1, No. 2, March 1994.
2. Yan, H. S. and Fong, M. K., "Approach for Reducing the Peak Acceleration of Cam-Follower Systems Using a B-Spline Representation", *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, Vol. 15, No. 1, pp. 48-55, February 1994.
 3. Yan, H. S., Tsai, M. C. and Hsu M. H., "An Experimental Study of the Effects of Cam Speed on Cam-Follower Systems", *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 31, No. 4, pp. 397-412, 1996.
 4. Yan, H. S., Tsai, M. C. and Hsu M. H., "A Variavle-Speed Method for Improving Motion Characteristics of Cam-Follower Systems", *Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design*, Vol. 118, pp. 250-258, June, 1996.
 5. Hsu, M. H., Chen, W. R., "On the Design of Speed Function for Improving Torque Characteristics of Cam-Follower Systems," *Tenth World Congress on the Theory of Machine and Mechanisms*, Oulu, Vol. 1, pp. 272-277, 1999
 6. 姚燕安, 1999年1月, 凸輪機構的主動控制, 博士論文, 天津大學機械工程學院。
 7. Yan, H. S and Chen, W. R., "On the output motion characteristics of variable speed input servo-controlled slider-crank mechanisms," Vol. 35, No. 4, pp. 541-561, *Mechanism and Machine Theory*, 2000
 8. Yan, H. S and Chen, W. R., "A variable input speed approach for improving the output motion characteristics of Watt-type presses," Vol. 40, No. 5, pp. 675-690, *Int. J. Mach. Tools Manufact*, 2000.
 9. Fung, R. F. and Chen, C. K., 1998, "Vibration suppression and motion control of a non-linearly coupled flexible quick-return mechanism driven by a PM synchronous servo motor," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 212, No.4, pp. 721-42.
 10. Herman J., Straete, V. D. and Schutter, J. D., "Hybrid Cam Mechanism", *IEEE/ASME Transtactions on Mechatronics*, Vol. 1, No. 4, pp. 284-289, December 1996.
 11. Connor, A. M., Douglas, S. S. and Gilmartin, M. J., "The Synthesis of Hybrid Five-Bar Path Generating Mechanisms Using Genetic Algorithms", *IEE, 1995, Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications*, pp. 213-318, September 1995.
 12. Perju, D. and Lovasz, E. C., "The synthesis optimisation of the mechanisms with variable link length," *Proceedings of the 9th World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms*, Minalo, Vol. 1, pp. 43-46., 1995
 13. Yossifon, S., Messerly, D., Kropp, E., Shivpuri, R., and Altan, T., 1991, "A servo motor driven multi-action press for sheet metal forming," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 31, No. 3, pp. 345-359.
 14. Yossifon, S. and Shivpuri, R., 1993a, "Analysis and comparison of selected rotary linkage drives for mechanical press," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 33, No. 2, pp. 175-192.
 15. Yossifon, S. and Shivpuri, R., 1993b, "Optimization of a double knuckle linkage drive with constant mechanical advantage for mechanical presses," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 33, No. 2, pp. 193-208.
 16. Yossifon, S. and Shivpuri, R., 1993c, "Design considerations for the electric servomotor driven 30 ton double knuckle press for precision forming," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 33, No. 2, pp. 209-222.
 17. 陳維仁, 1999年7月, 具曲柄輸入滑件輸出變轉速連桿機構之研究, 博士論文, 國立成功大學機械工程學系。