

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

高效應電流變避震器之研究

Study on the High Effective Electrorheological Damper

計畫編號：NSC 91-2212-E002-035

執行期限：91年8月1日至92年7月31日

主持人：陳義男 教授 台灣大學工程科學及海洋工程學系

共同主持人：吳聰能 副教授 台灣大學工程科學及海洋工程學系

一、中文摘要

本文以流動式串聯多極板電流變避震器探討提高電流變避震器效應的研究。設計並製造串聯多極板(serial multielectrode)電流變避震器，使用絕緣矽油(silicone oil)及經微波爐處理的太白粉混合調製而成的電流變液進行實驗。

研究結果顯示，串聯多極板之電流變避震器之阻尼力及可控制範圍隨電極板數成比例增加，達到了預期的效果。此種避震器適合用於短或長行程及高阻尼力之減振控制的阻尼器，但較不適合高頻振動的減振阻尼器，故有其限制性。

關鍵詞：電流變液、多極板、電流變閥、阻尼器、避震器

Abstract

This article is about the study on the high effective electrorheological shock absorber using serial multielectrodes. A serial multielectrode electrorheological shock absorber is designed and manufactured, and electrorheological fluid for experiments are prepared by mixing cornstarch with silicone oil.

From experimental results, the damping force and the controllable ratio of serial multielectrode electrorheological shock absorber increase with increasing number of electrodes, but the controllable ratio decreases while frequency increases. Thus, the serial multielectrode electrorheological shock absorber is suitable for requiring high damping force and low frequency.

Keywords : Electrorheological Fluid,
Multielectrode, Shock Absorber
Electrorheological Valve,
Electrorheological Damper,

二、緣由與目的

電流變液(Electro-Rheological Fluids, ERF)可由外加電場改變黏度、降伏剪應力等。它是由容易極化的微米粉末及絕緣液體所均勻混合而成。施加電場後，液體的視黏度(apparent viscosity)會隨電場強度增加而變大，甚至變成塑性體，其反應時間約數微秒。在電場去除後，又可迅速恢復原來的液體狀態[1][2]。由於控制容易、反應快、裝置簡單、耗能低及應用範圍非常廣泛，因此在工業上的應用，極具開發潛力。從40年代Winslow[3]發現以來，引起世界各國無數學者及工業界注目，而相繼投入研究，如離合器、剎車器、引擎減震座、液壓控制閥、阻尼器、油封、軸承、結構減振控制及機電耦合器等[3]。

電流變液的材料種類繁多[3]，但仍未能達到電流變液的商品化，實用性還有待改善，其主要的障礙是缺少適當的材料及對電流變液的一些現象還未完全瞭解，尤其是沈澱問題。從各種應用中，電流變液避震器或阻尼器等減振裝置的研究，顯示出有較佳的效果，主要原因是避震器是應用於抑制振動的系統，而系統的振動可減低電流變液沈澱問題的影響。

在電流變液的電流變效應未能提升之際，為提高電流變避震器或阻尼器可控制的效應，近十年來，有些研究人員使用高黏度電流變油脂(ER grease)的阻尼器、長行程阻尼器或多極板結構阻尼器的研究。例如：Marksmeier等(1997)[4][5]之使用高黏度電流變液之阻尼器，Makris等(1996)[6]設計一並聯多極板電流變閥之阻尼器，陳等(2001)[7]之多極板電流變液阻尼器，Kamath及Werely(1997)[8]設計的電流變阻尼器，Sims等(1999)[9]之長行程阻尼器，Gavin等(1998)[10]模擬分析了各種多極板串聯及並聯或混合串聯與並聯之阻尼器，Lindler等(1999)[11]及Sims等(1999)[9][12]，陳[7][13]之電流變阻尼器等，這些類似的研究，都有其限制及侷限性。

為了探討高效應電流變阻尼器的特性，設計並製造流動模式三層電極板串聯之電流變阻尼器，進行分析及實驗。實驗用之電流變液使用矽油及太白粉調製而

成，最後實驗結果顯示，達到了預期的效果。

三、串聯多極板電流變阻尼器的分析

流動式電流變阻尼器是由電流變阻及壓缸組成，電流變阻尼器的阻尼力主要由活塞上部的伸張室及下部的壓縮室之間的壓降 ΔP 及小部分的摩擦阻力 F_{fs} 、節流口的阻尼力 F_{ro} 、氣室 (air chamber) 壓力變化的阻尼力所產生，即

$$F = A(\Delta P) + F_{fs} + F_{ro} + F_g \quad (1)$$

$$F_{fs} = f_{fs} |\dot{y}|^\phi$$

$$F_{ro} = A \left(\frac{\rho^* A_r^2}{2(C_d^* A_o)^2} \right) \dot{y}^2$$

$$F_g = A_{rod} \left[\frac{kx_0}{A_{air}} + k \left(\frac{A_{rod}}{A_{air}^2} \right) y + \frac{P_i V_i}{[V_i - (y - y_0) A_{rod}]^2} \right] + A_{rod} \left[\left(\frac{128 \mu l_a A_{rod}}{\pi d_a^4} \right) \dot{y} \right]$$

A 為壓縮行程時活塞承受壓力的截面積， A_{rod} 為活塞桿的截面積， A_o 為節流口的面積， A_r 為拉伸行程時活塞承受壓力的截面積， A_{air} 為氣室浮動活瓣承受壓力的截面積， μ 為流體的黏度， P_i 及 V_i 為氣室初始壓力及容積， y_0 為氣室浮動活瓣初始位置， y 為活瓣位移變化， \dot{y} 為活瓣運動的速度， d_a 為流入氣室阻流口直徑， l_a 為流入氣室阻流口長度， x_0 為氣室內彈簧預壓量， f_{fs} 為動摩擦係數， ϕ 為指數， C_d 為流量的係數，壓降 ΔP 是由流經環管狀間隙的壓降 ΔP_v 及電流變效應產生的壓降 ΔP_e 所合成的，由簡化的式子(2)式來表示 [6]：

$$\Delta P = \Delta P_v + \Delta P_e = \left(\frac{12 \mu L}{bh^3} \right) Q + \left(\frac{2L}{h} \right) \tau_y \quad (2)$$

為了提高電流變效應的可控制範圍，可從增加電極長度 L ，或減小電極間隙 h 來達成。但減小 h 時，將使 ΔP_v 的增加量遠大於 ΔP_e 的增加量，而使電流變效應的控制範圍相對變小。但電極長度 L 過長，會有使用上空間的限制，故採用串聯式多極板電流變阻尼器。串聯式 n 層多極板的壓降可用下式表示 [7]：

$$\Delta P = 12 \mu L \left(\frac{1}{\pi d_1 h^3} + \frac{1}{\pi d_2 h^3} + \dots + \frac{1}{\pi d_n h^3} \right) Q \quad (3)$$

$$+ \frac{2nL}{h} \tau_y$$

串聯多極板電流變液阻尼器示意圖如圖 1。

四、實驗及分析

由以上的分析，設計並製作三層電極串聯電流變液阻尼器，其製作零件圖如圖 2。阻尼器的性能通常以阻尼力-位移(F-D)及阻尼力-速度(F-V)圖來表示，其性能測試使用液壓動態測試機來測試。電流變阻尼器特性測試裝置圖如圖 3，測試振幅固定為 ± 1.5 cm。圖 4 為模擬與實驗之三層電極串聯的 F-D 及 F-V 性能圖，測試頻率 1Hz。

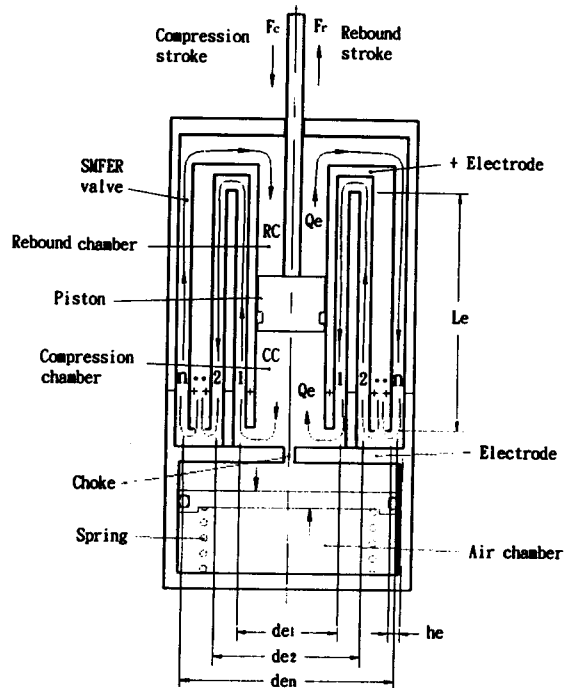


圖 1 串聯多極板電流變阻尼器

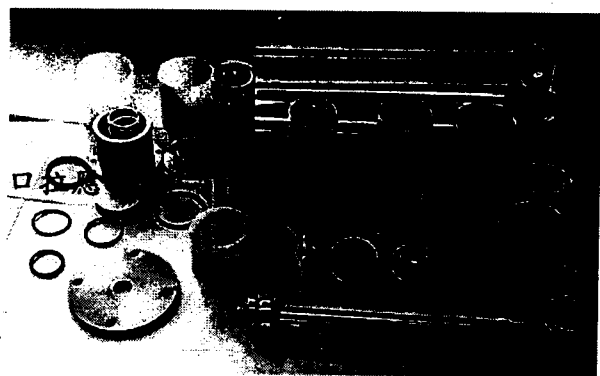


圖 2 串聯多極板電流變阻尼器製作零件圖

圖 5 為阻尼力與電場及電極板數的關係圖，測試頻率 1Hz，由圖顯示，阻尼力隨電極板數的增加而增加。由圖 6 顯示，可控制率(電流變效應產生的可控制阻尼力與零電場阻尼力的比值)也隨電極板數的增加而增加，顯示了預期的效果。但由圖 7 顯示，可控制率隨電極板數的增加而

下降，這也可由式(3)得知，當測試頻率增加，即流經電極間隙流道的流量增加，使在零電場的阻尼力增加，但電流變效應的阻尼力沒增加所致。

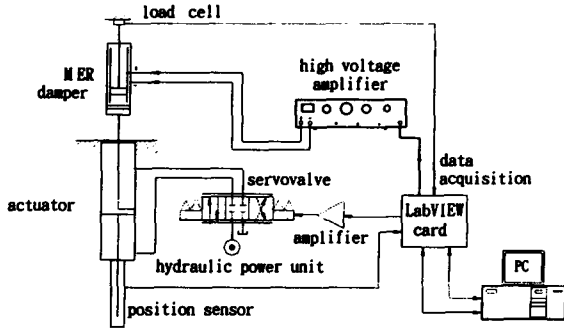


圖 3 電流變阻尼器特性測試裝置圖

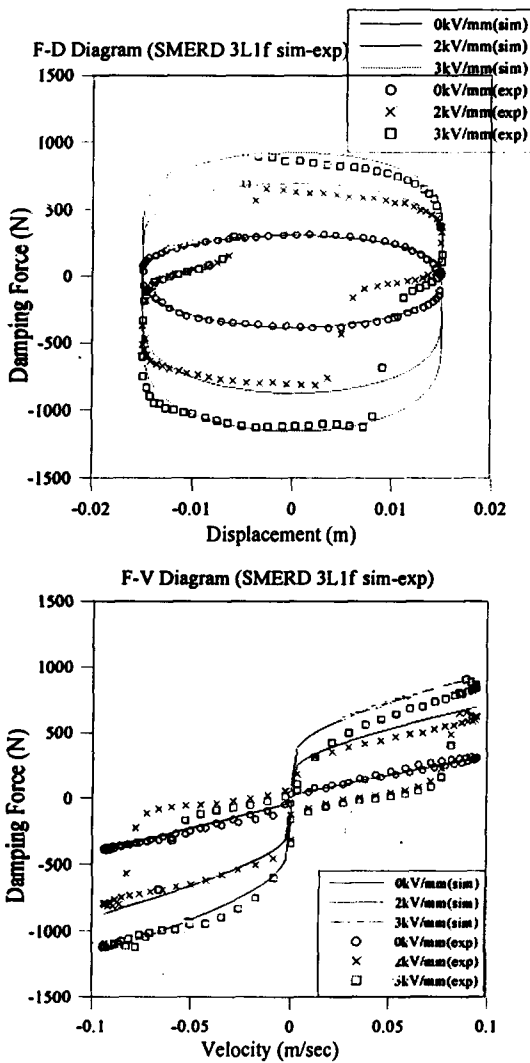
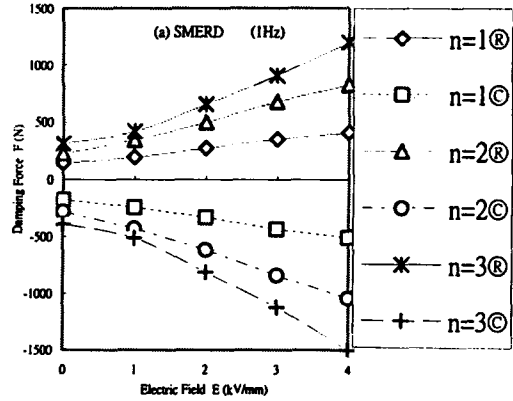
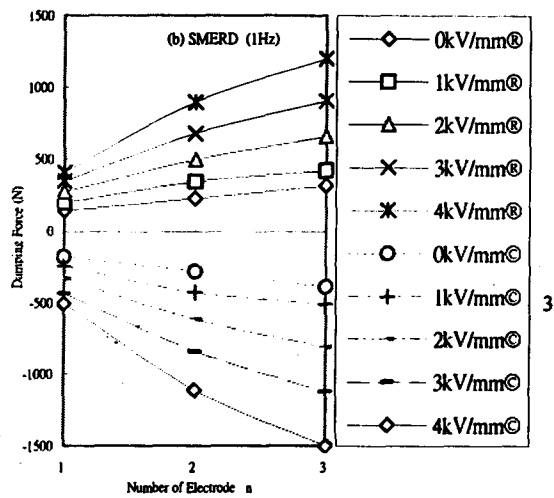


圖 4 模擬與實驗之串聯多極板電流變阻尼器特性圖(三層電極板，測試頻率 1Hz)



(a) 阻尼力與電場的關係圖



(b) 阻尼力與電極板數的關係圖

圖 5 阻尼力與電場及電極板數的關係圖 (測試頻率 1Hz, ⊕: 拉伸行程, ⊙: 壓縮行程)

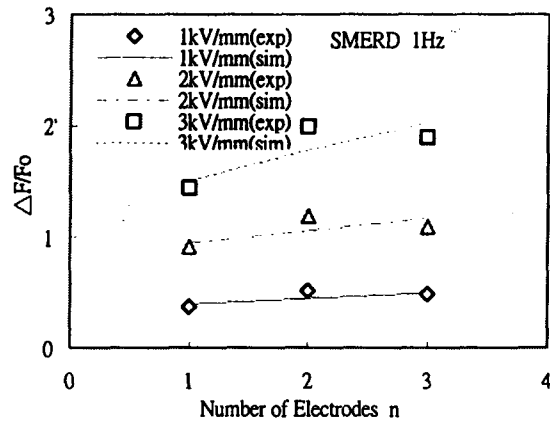


圖 6 可控制率與電極板數的關係圖(測試頻率 1Hz, exp=實驗, sim=模擬)

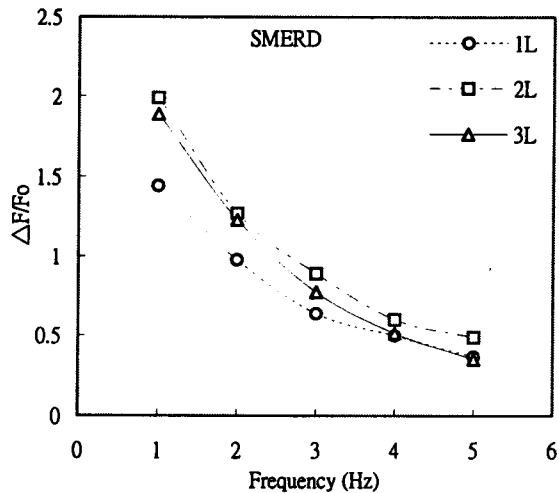


圖 7 可控制率與測試頻率的關係圖

五、結論

由以上分析及模擬與實驗的結果，可綜合下列結論：

1. 串聯多極板電流變阻尼器阻尼力及可控制率會隨電極數成正比例增加。
2. 串聯多極板電流變阻尼器阻尼力的可控制率會隨測試頻率增加而下降，因為流體的黏滯阻力會隨頻率的增加而增加所造成的。
3. 由模擬與實驗測試結果相互驗證得知，理論推導之數學模型可以用來預估多極板電流變阻尼器之性能。
4. 串聯式多極板電流變阻尼器若應用於減振控制，將會很好的抑制振動效果。

六、參考文獻

- [1] Halsey, T.C. and Martin, J.E., 1993, "Electrorheological Fluids", Scientific American, pp42-49.
- [2] Block, H. and Kelly, J.P., 1988, "Electro-rheology", J. Phys. D: Appl. Phys. 21, pp1661-1677.
- [3] Weiss, K.D., Carlson, J.D. and Coulter, J.P., 1993, "Material Aspects of Electrorheological Systems", J. of Int. Material Systems and Structures Vol.4, pp13-34.
- [4] Marksmeier, T.M., Gordaninejad, F., Wang, E.L. and Stipanovic, A., 1997, "Design and Performance of an Electrorheological Grease Shock Absorber", The 6th Int. Conf. On ERF/MRS and Their Applications, 22-25 July 1997, Yonezawa, Japan.
- [5] Marksmeier, T.M., Wang, E.L. and Gordaninejad, 1998, "Theoretical and Experimental Studies of an ER Grease Shock Absorber", J. of Intelligent Material Systems and Structures, Vol.9, pp693-703.
- [6] Makris, N., Burton, S.A., Hill, D. and Jordan, M., 1996, "Analysis and Design of ER damper for Seismic Protection of Structures", Journal of Engineering Mechanics, pp1003-1011.
- [7] 陳義男, 吳聰能, 郭振華, 郭文化, 2001, 多極板電流變閥應用於避震器之研究, 中國化學物理學報, Vol.14, No.5, pp633-636.
- [8] Kamath, G.M. and Wereley, N.M., 1997, "A Nonlinear Viscoelastic-Plastic Model for ER Fluids", Smart Materials and Structures, Vol.6, pp351-359.
- [9] Sims, N.D., Stanway, R., Peel, D.J., Bullough, W.A. and Johnson, A.R., 1999, "Controllable Viscous Damping: an Experimental Study of an ER Long-stroke damper under Proportional Feedback Control", Smart Materials and Structures, Vol.8, pp601-615.
- [10] Gavin, H.P., 1998, "Design Method for High-force ER Dampers", Smart Materials and Structures, Vol.7, pp664-673.
- [11] Linder, J. and Wereley, N.M., 1999, "Analysis and Testing of ER Bypass Damper", J. of Intelligent Material Systems and Structures, Vol.10, pp363-376.
- [12] Sims, N.D., Peel, D.J., Stanway, R., Johnson, A.R. and Bullough, W.A., 2000, "The ER Long-stroke Damper: A New Modelling Technique with Experimental Validation", J. Sound and Vibration, Vol.229, No.2, pp207-227.
- [13] 陳義男, 吳聰能, 郭文化, 張宜傑, 2001, 多層電極板電流變阻尼器之研究, 中國機械工程學會, 第十八屆全國學術研討會論文集, Vol.2, pp419-426.
- [14] Munson, B.R., Young, D.F. and Okiishi, T.H., 1994, "Fundamentals of Fluid Mechanics," John Miley & Sons, 2/e.
- [15] Wolff-Jesse, C., and Fees, G., 1998, "Examination of Flow Behaviour of ERF in the Flow Mode", Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol.212, Part I, 1998, pp159-17.