

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

探討非牛頓黏彈性流體的熱流特性

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2212-E-009-017-

執行期間：92 年 08 月 01 日至 93 年 07 月 31 日

執行單位：國立交通大學機械工程研究所

計畫主持人：盧定昶

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 8 月 19 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

探討非牛頓黏彈性流體的熱流特性

計畫類別：V個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC - 92 - 2212 - E - 009 - 017

執行期間：92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人：盧定昶 教授

共同主持人：

計畫參與人員：許家棟 交通大學機械工程研究所 研究生

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：交通大學機械工程學系

中 華 民 國 93 年 7 月 20 日

探討非牛頓黏彈性流體的熱流特性

Investigation of Thermal Hydraulic Characteristics of Non-Newtonian Viscoelastic Fluids

計畫編號：NSC 92-2212-E-009 -017

執行期限：92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

主持人：盧定昶 交通大學機械工程學系 教授

共同主持人：

計畫參與人員：許家棟 交通大學機械工程研究所 研究生

一. 摘要

本文主要是在量測水-聚丙醯胺黏彈性流體的黏滯係數與熱傳導係數，並對不同的水溶液濃度、溫度及剪切率作探討，以求出其所對應的關係式。實驗結果發現，當流體溫度及剪切率上升時，聚丙醯胺水溶液的黏滯係數會隨之下降，而熱傳導係數則隨之上升。此外，當水溶液的濃度較高時，其輕剪力流體特性較明顯，且黏滯係數較高，但熱傳導係數較低；當濃度降低時，則輕剪力流體特性較不明顯，黏滯係數較低，但熱傳導係數較高。因此若要將聚丙醯胺水溶液使用於熱傳增強上，又不欲增加流動時的壓力差降，應使用濃度較低的聚丙醯胺水溶液。

Abstract

In this thesis, the viscosity and the thermal conductivity of viscoelastic water-polyacrylamide fluids were investigated experimentally by examining the effects of polymer concentration, fluid temperature and shear rate. Present results showed that when fluid temperature and shear rate increased, the viscosity would decline and the thermal conductivity would rise. Moreover, the viscoelastic water-polyacrylamide fluid at higher polymer concentration showed the shear thinning characteristics with higher viscosity and lower thermal conductivity. On the contrary, the viscoelastic water-polyacrylamide fluid at low polymer concentrations showed the Newtonian fluid properties with lower viscosity and higher thermal conductivity. As a result, it is suggested that lower concentration viscoelastic water-polyacrylamide fluids would be beneficial to obtain better heat enhancement practical cooling applications and lower pressure drop in some.

二. 計畫緣由與目的

近幾年來由於半導體生產技術突飛猛進，積體電路內元件密度愈來愈高，相對的單位面積內的產熱量也是直線上升，隨著電子元件功率密度的提高，散熱系統成為一個重要的課題。不良的散熱系統會使電子元件引起訊號互相干擾，進而使其效能大幅劣化。針對未來高功率密度電子元件的散熱，傳統的散熱元件如冷板（cold plate）已無法滿足要求，因此開發新的散熱技術，如表面增加散熱片、衝擊噴流（impinging jet）以及特殊的熱交換器等，都不失為可行的解決方法。而應用非牛頓流體（如含有高分子聚合物的水溶液等）為熱傳介質，正是其中之一種選擇。由於非牛頓流體具有黏滯係數隨剪切率變化的特性，故使非牛頓流體產生與牛頓流體相異的流場，而因流場的不同亦使溫度場產生變化，造成熱傳增強的效果。

三. 文獻回顧

本實驗所研究的聚丙醯胺水溶液為高分子非牛頓流體，與一般牛頓流體最大的不同在於它具有黏彈性特質。由於這種特質，會導致此類流體在層流（laminar flow）流動時，因剪應力的作用而產生正向力差，造成與牛頓流體不同的流場，促使溫度場產生變化，進而產生熱傳增強的效果。此外，由於加入水中的高分子具有黏性性質，使水溶液的黏度增加，流動時的阻力增加，造成壓力差值高於未加高分子的純水溶液。因此為了取得較佳的熱傳效果及較低的壓力差值，所以本實驗將探討聚丙醯胺水溶液的黏滯特性及熱傳特性。本節將分別回顧黏滯係數（viscosity）量測實驗與熱傳導係數（thermal conductivity）量測實驗二方面有關的文獻。

在黏滯係數量測方面，從 1953 年，哈佛大學在 ASME【1】【2】的贊助下對多種潤滑劑進行黏滯係數量測之後，各種不同的方法即不斷的被運用於量測流體在不同溫度、壓力下的黏滯特性。

Yoo et al.【3】使用毛細管式 (capillary) 流變儀及落球式 (falling ball) 流變儀來量測聚丙醯胺 (poly-acrylamide, AP-273) 水溶液在不同濃度及不同剪切率時其黏滯係數與剪切率之間的關係。因毛細管流變儀只能量測剪切率在 10^2 s^{-1} 以上的黏滯係數，所以另外用落球式流變儀來量測剪切率在 10^2 s^{-1} 以下的黏滯係數。其量測結果發現，黏滯係數會隨著濃度的增加而上升，視黏滯係數隨著剪切率增加而呈遞減形式，並且趨向某一定值。

在熱傳導係數量測方面，自 1973 年，Cocci and Picot【4】對非牛頓流體 Dow200 進行熱傳導係數量測後，便產生許多不同的方法，應用於量測流體在不同剪切率下的熱傳導係數。

此外，Loulou et al.【5】利用圓錐-平板式 (cone and plate) 的方法，量測在低剪切率時，Carbopol 水溶液的熱傳導係數變化。而 Chaliche et al.【6】也應用同樣方式，量測剪切率為 50 s^{-1} 以下時，羧甲基纖維素 (CMC) 水溶液的熱傳導係數。稍後，Lee and Irvine【7】使用同軸圓柱 (coaxial cylinder) 旋轉的方式，製造庫第流去量測羧甲基纖維素 (CMC) 水溶液及聚丙醯胺 (poly-acrylamide, AP-273) 水溶液的熱傳導係數與剪切率之變化。Loulou et al.【5】、Chaliche et al.【6】和 Lee and Irvine【7】等皆發現高分子流體的熱傳導係數將隨剪切率上升而增加，且在低濃度時較為明顯。

關於本實驗較詳細的資料見碩士論文【8】。

四. 實驗設備

本研究所使用的工作流體為聚丙醯胺水溶液，是由高分子聚丙醯胺搭配去離子水混合而成，調配濃度分別為 1000、1500 及 2000wppm。

在黏滯係數量測方面，其實驗設備如圖一所示，是由流變儀系統、電腦及恆溫槽所組成。利用流變儀系統量測出高分子水溶液的剪應力及剪切率，代入幂次法則中即可求

出黏滯係數。

而在熱傳導係數量測方面，其實驗設備如圖二所示，是由加熱系統、測試區、轉動系統、環控恆溫系統及數據擷取系統所組成。測試區的剖面圖如圖三所示，分轉動外筒、工作流體區、固定內筒及加熱裝置，利用轉動外筒及固定內筒所埋設的熱電偶，量測工作流體區的壁面溫度，代入傅立葉熱傳導方程式，即可求得高分子水溶液的熱傳導係數。

關於實驗系統，較詳細的資料見碩士論文【8】。

五. 結果與討論

本實驗分成二部分。第一部分是利用旋轉式流變儀量測水-聚丙醯胺黏彈性流體在不同剪切率時黏滯係數的變化，並求出不同濃度及溫度下黏滯係數與剪切率的關係式；第二部分則是使用同軸圓柱旋轉法量測水-聚丙醯胺黏彈性流體在不同剪切率下熱傳導係數的變化，並探討在不同濃度及溫度下熱傳導係數對剪切率的關係式。二者的結果可作為研究此類高分子水溶液相關流力及熱傳分析的重要參考數據。

在黏滯係數量測方面，由圖四、五、六可知，在相同的流體溫度下，當聚丙醯胺水溶液的濃度為 2000 和 1500wppm 時，水溶液將具有輕剪力流體的特性，且當水溶液的濃度越高，其輕剪力流體的特性越明顯，黏滯係數隨剪切率的增加而下降的趨勢更為顯著，黏滯係數也較高；但當水溶液的濃度為 1000wppm 時，其水溶液的特性則近似為牛頓流體，無輕剪力流體的特性，且黏滯係數較低。而在不同的流體溫度下，當流體溫度升高，聚丙醯胺水溶液的輕剪力流體特性將逐漸消失，趨近於牛頓流體，且黏滯係數會隨溫度的上升而下降。

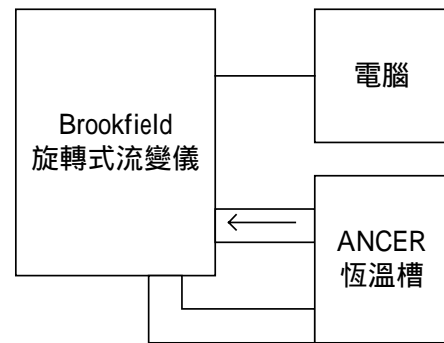
在熱傳導係數量測方面，由圖七、八、九可知，在相同的流體溫度下，當聚丙醯胺水溶液的濃度降低時，其熱傳導係數隨剪切率增加而上升的趨勢較明顯，且熱傳導係數將隨水溶液濃度的下降而增加。而在不同的流體溫度下，當流體溫度上升時，其熱傳導係數隨剪切率的上升而增加的趨勢較為顯著，且水溶液的熱傳導係數將隨流體溫度的上升而提高。

六. 計畫成果自評

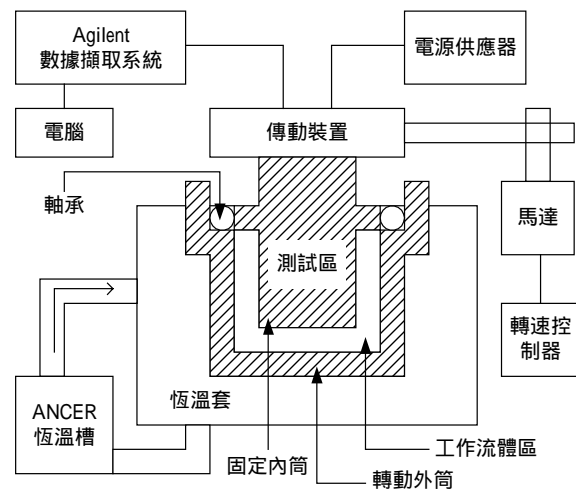
經由實驗結果可以得知，當聚丙醯胺水溶液的濃度越高時，其黏滯係數越高，輕剪力流體特性較明顯，但熱傳導係數較低，且隨剪切率增加而上升的幅度較小；當聚丙醯胺水溶液的濃度越低時，雖然輕剪力流體特性較不顯著，但黏滯係數較小，熱傳導係數較高，且熱傳導係數隨剪切率增加而上升的幅度較大。因此，若要將聚丙醯胺水溶液使用於熱傳增強上，又不想增加流動時的壓力差降的話，應使用濃度較低的聚丙醯胺水溶液。

七. 參考文獻

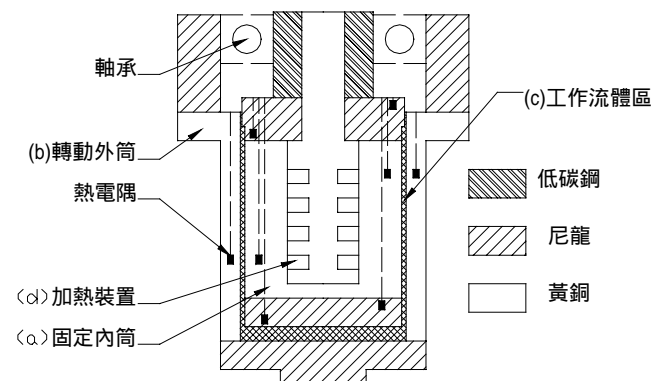
- [1] ASME PRESSURE VISCOSITY REPORT, VOL I ASME, NEW YORK, 1953.
- [2] ASME PRESSURE VISCOSITY REPORT, VOL II ASME, NEW YORK, 1953.
- [3] Yoo, S. S., Jeon, C. Y., and Cho, Y. I., 1994, "Determination of the Characteristic and Diffusion Times of Polyacrylamide Solutions Using Falling Balls and Needles", Int. J. Heat Mass Transfer 39, p.113-122.
- [4] Cocci, A. A., and Picot, J. J. C., 1973, "Rate of Strain Effect on the Thermal Conductivity of a Polymer Liquid", Polym. Eng. Sci. 13, p.337-341.
- [5] Loulou, T., Peerhossaini, H., and Bardon, J. P., 1992, "Etude Experimentale de la Conductivite Thermique de Fluides Non-Newtonians Sous Cisaillement Application aux Solutions de Carbopol 940", Int. J. Heat Mass Transfer 35, p.2557-2562.
- [6] Chaliche, M., Delaunay, D., and Bardon, J. P., 1994, "Transfer de Chaleur Dans une Configuration Cone-Plateau et Mesure de la Conductivite Thermique en Presence d'une Vitesse de Cisaillement", Int. J. Heat Mass Transfer 37, p.2381-2389.
- [7] Lee, D. Y., Irvine, T. F., 1997, "Shear Rate Dependent Thermal Conductivity Measurements of Non-Newtonian Fluids", Experimental Thermal and Fluid Science 15, p.16-24.
- [8] 許家棟, 2004, "Viscosity and Thermal Conductivity Measurements of Viscoelastic Water-Polyacrylamide Fluids", 國立交通大學機械工程研究所碩士論文.



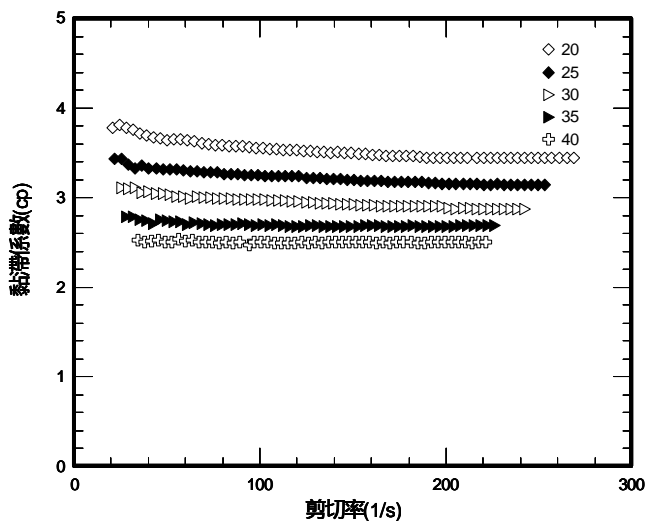
圖一 黏滯係數量測設備示意圖



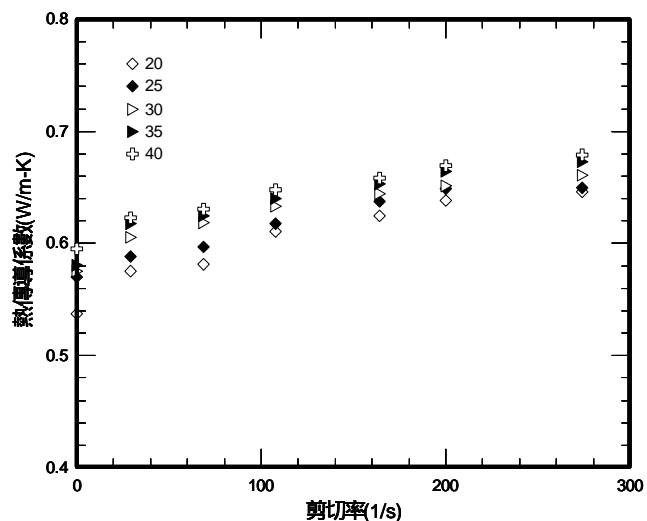
圖二 熱傳導係數量測設備示意圖



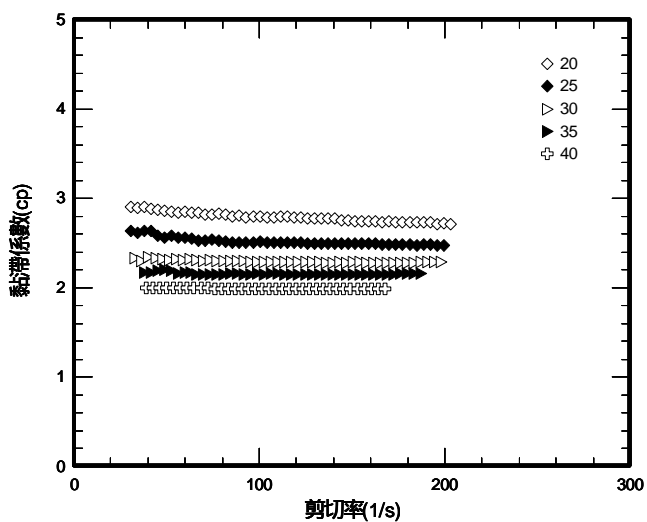
圖三 測試區剖面圖



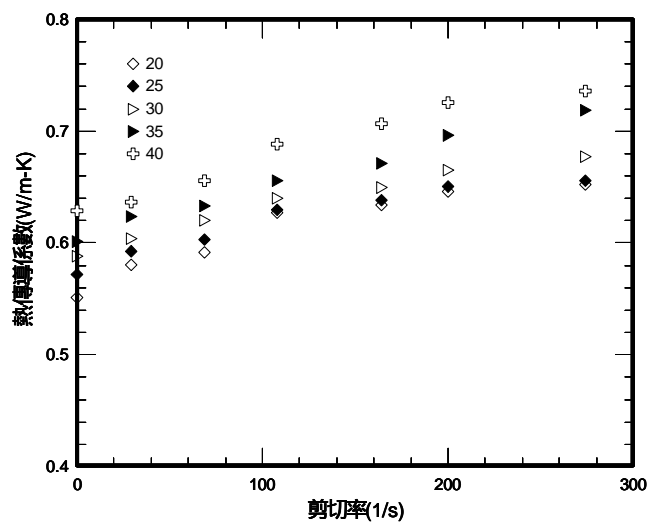
圖四 水溶液濃度為 2000wppm 時的黏滯係數-剪切率關係圖



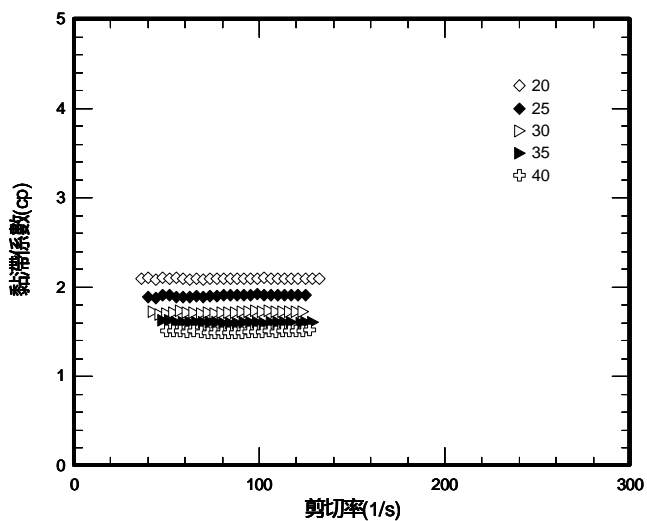
圖七 水溶液濃度為 2000wppm 時的熱傳導係數-剪切率關係圖



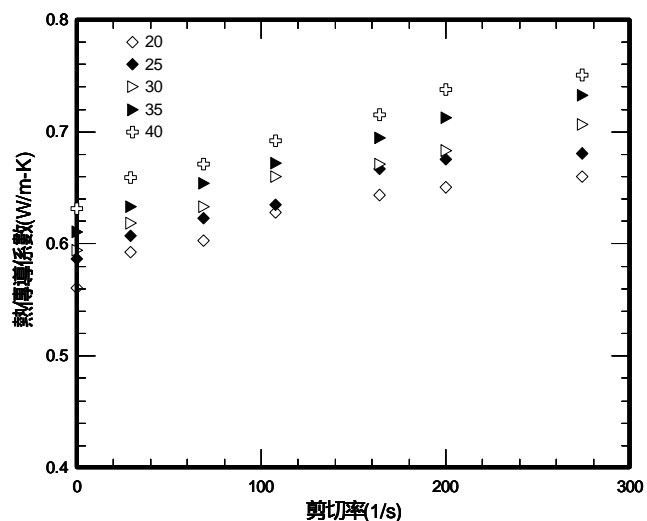
圖五 水溶液濃度為 1500wppm 時的黏滯係數-剪切率關係圖



圖八 水溶液濃度為 1500wppm 時的熱傳導係數-剪切率關係圖



圖六 水溶液濃度為 1000wppm 時的黏滯係數-剪切率關係圖



圖九 水溶液濃度為 1000wppm 時的熱傳導係數-剪切率關係圖