

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

新壓電式噴墨印頭的開發與模擬

Development and Simulation of a Novel Piezoelectric Inkjet Printhead

計畫編號：88-2212-E-002-025

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：陳炳輝 執行單位：台大機械系

E-mail: phchen@ccms.ntu.edu.tw

一、中英文摘要

本計畫之目的是開發並分析一個新的壓電式噴墨印頭。在不抵觸目前的噴墨印頭專利下，我們將製作出一可操作的單孔式壓電噴墨印頭，並利用理論分析其操作條件使噴墨品質能夠提升。此一壓電印頭的組成零件可分為三部分，分別為壓電材料驅動器；一金屬圓柱體並在其上鑽出噴嘴外型；以及壓電陶瓷驅動電路。當壓電陶瓷受電場作用產生變形後推動墨水再經由噴嘴噴出。

在此一計畫中，也將利用理論分析此一壓電印頭來提升噴墨的品質。噴墨印頭的操作過程大致可分為三部分，一開始是壓電材料變形產生驅動力，其次是在膠囊中的二維壓力波傳遞的過程，最後則是液滴噴出成形三階段。在此將結合壓電振動模式及流場統御方程式進行推導，並藉由實驗觀測並記錄所設計的噴墨印頭液滴噴出過程。

關鍵詞：壓電陶瓷；噴墨印頭

Abstract

The present study aims to develop a new piezoelectric inkjet printhead under the prerequisite of not offending the patents claimed by the major inkjet printer manufacturing companies.

In order to improve the quality of

ejected ink droplet, numerical computations will be conducted to predict the deformation of piezoelectric element under an imposed electrical pulse, the two-dimensional pressure wave motion in the capsule, and the droplet formation process of ejected ink droplet. The deformation of piezoelectric element will be calculated by using a finite-element package called ABAQUS. The wave motion in the capsule and the droplet formation process of ink droplet will be obtained by using finite-difference scheme.

A flow visualization system will be used to observe the droplet ejection process for the prototype of the printhead. To validate the proposed numerical models, a comparison will be made between the numerical prediction and the experimental observation.

Keyword: piezoelectric ceramic; ink jet printhead

三、計畫緣由與目的

近年來，印表機使用者已逐漸要求印表機需具有低噪音和高列印品質等功能，因此傳統的點矩陣式印表機已漸被噴墨印表機和雷射印表機所取代；而噴墨印表機在價格上的優勢及彩色列印的品質並不亞於雷射印表機，故應為未來市場中的主流。噴墨印頭主要應用在黑白及彩色印表機、

傳真機以及繪圖機方面，其噴墨品質的良莠關係到列印品質的好壞；其噴墨速度關係到列印速度的快慢；故噴墨印頭為印表機的關鍵零組件之一。

目前用於電腦週邊設備的噴墨印頭主要有壓電噴墨式印頭和熱氣泡噴墨式印頭。其中壓電噴墨式印頭的驅動方式即是利用壓電材料受到電壓而產生變形來推動墨水自噴嘴噴出。由於壓電式印頭相較於熱氣泡印頭，具有機構反應速度快、列印速度快、噴墨過程不涉及墨水加溫過程、可保持墨水原色、噴墨過程不存在熱應力、噴墨印頭不需隨著墨水用完而更換、列印成本較低等優點，因此已是新開發印頭的主流形式。

在目前的電腦周邊設備中，印表機有相當大的市場需求，但目前在壓電噴墨印頭的專利設計上，已經被少數公司所限制，如 Epson 的壓電式噴墨印頭專利便限制的相當嚴格[1-2]，若不自行設計新型的噴墨印頭，則國內產業將只能停留作為代工組樁的階段，因此在本計畫中將自行設計並製作一噴墨印頭，若證實能有效的操作將尋求與國內之工業界合作，共同開發並大量生產噴墨印頭，以提升國內產業的自製能力。

三、研究方法與進行步驟

本計畫將分成兩部份進行研究，一是製作出單孔壓電式噴墨印頭，二是分析此噴墨印頭操作過程，分別敘述如下：

(一) 製作壓電噴墨印頭：

在本計畫中，預計將製作一單孔壓電式噴墨印頭，其中壓電材料部分將購買目前市面上已有之產品，且必須能提供足夠的變形量作為產生壓力的來源；其次將以精密加工來製作套筒及噴嘴。在噴墨印頭本體製作完成後，將採用自激電路驅動壓電陶瓷產生振動以推出液滴，並利用觀測裝置[3]

記錄噴出過程，以提供作為設計上的修正之用。

(二) 噴墨印頭內部流場分析：

圖一為簡化後壓電噴墨印頭之內部示意圖，對於一具有微小振幅的聲波，速度勢及壓力皆會滿足流場中的波動方程式[4-6]：

$$w_{tt} = c^2 \nabla^2 w \quad (x, y) \in \Omega, t > 0, \nabla w \cdot \hat{n} = 0$$

其中 w 為速度勢；其次考慮壓電陶瓷與彈性層之振動，便可推導出壓電控制桿件之模型：

$$\begin{aligned} & \dots_b w_{tt} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} (EI \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + c_D I \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial t}) + \dots_f w_t(t, x, 0) \\ & = \frac{\partial^2}{\partial x^2} (EI \frac{K^B d_{31}}{T} \sum_{i=1}^s u_i(t) [H(x-r_{i1}) - H(x-r_{i2})]) \\ & + f(t, x) \quad 0 < x < a, t > 0 \end{aligned}$$

邊界條件及啟始條件則如下所述：

$$\frac{\partial w}{\partial y}(t, x, 0) = -w_t(t, x) \quad 0 < x < a, t > 0$$

$$w(t, 0) = \frac{\partial w}{\partial x}(t, 0) = w(t, a) = \frac{\partial w}{\partial x}(t, a) \quad t > 0$$

$$w(0, x, y) = w_0(x, y) \quad \ddot{o}_i(0, x, y) = w_i(x, y)$$

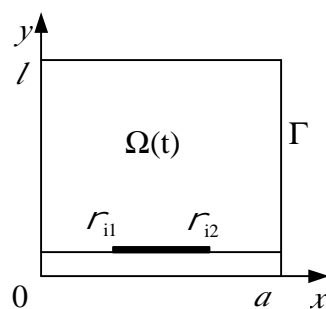
$$w(0, x, y) = w_0(x, y) \quad w_t(0, x, y) = w_1(x, y)$$

對於以上之統御方程式，可利用加權餘量法推導出下式：

$$\int_{\Omega} q_j \left(\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - c^2 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) d\Omega = 0$$

$$\begin{aligned} & \int_{\Gamma_0} p_j \left(\dots_b w_{tt} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} (EI \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + c_D I \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial t}) + \dots_f w_t(t, x, 0) \right. \\ & \left. - \frac{\partial^2}{\partial x^2} (EI \frac{K^B d_{31}}{T} \sum_{i=1}^s u_i(t) [H(x-r_{i1}) - H(x-r_{i2})]) \right. \\ & \left. - f(t, x) \right) d\Gamma = 0 \end{aligned}$$

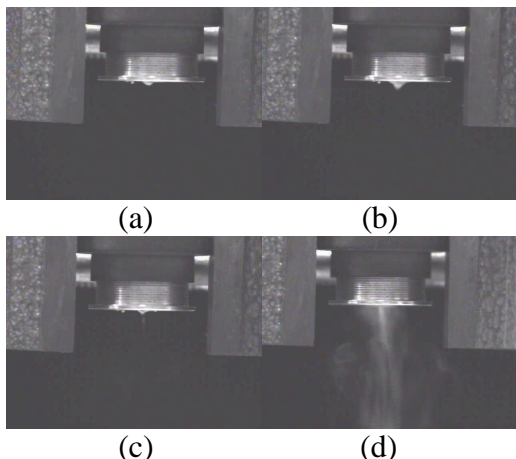
在時間上，則使用半離散法處理，最後即可得出近似解。



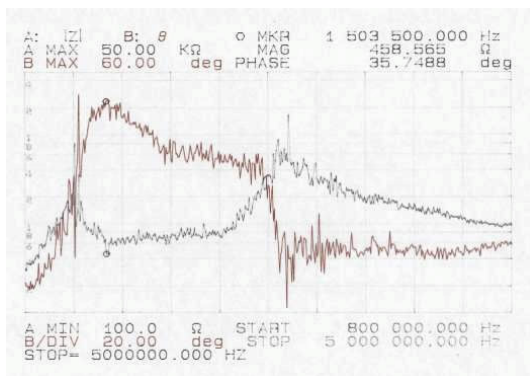
圖一、壓電印頭內部示意圖

四、結果與討論

本計畫利用放電加工製作出壓電噴墨印頭主體與控制電路，再經由電荷耦合裝置攝影機 (Charge-coupled device, CCD camera) 配合影像擷取卡拍攝並紀錄噴墨印頭墨滴噴出之結果。圖二為拍攝之結果，圖二中(a)(b)(c)為液體逐漸噴出之過程，圖二中(d)則是液體持續噴出後之情形。圖三則為利用 HP4194 進行壓電陶瓷阻抗量測。由於在此我們是利用自激電路控制壓電陶瓷之振動模態，因此目前所改變的變數為驅動電壓，經由實驗所測得，我們所製作之壓電噴墨印頭之適當操作電壓為 $\pm 20V$ ，振動之頻率約為 1.5MHz。



圖二、墨滴噴出結果



圖三、壓電陶瓷阻抗量測圖

五、計畫成果自評

在本研究中利用壓電陶瓷配合放

電加工已做出一初步印頭模型，經測試後的確能夠將墨滴噴出，但受限於控制電路之設計，故無法準確控制液滴之噴出現象；在數值模擬方面則持續進行中，在未來則希望能夠將尺寸再加以縮小，並配合電路設計，以達到實用標準。

六、參考文獻

- [1] Diehl Glaeser Hiltl & Partner, Ink jet recording head. *EP Patent No.* 0723867A2, 1993.
- [2] Diah, Hermann O. Th., Dr. et al., Ink jet recording head. *EP Patent No.* 0573055A2, 1993.
- [3] Ping-Hei Chen, Wen-Cheng Chen, and S.-H. Chang, "Bubble Growth and Ink Ejection Process of a Thermal Ink Jet Printhead," *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 39, pp. 683-695, 1997.
- [4] H.T. Banks, R.J. Silcox, and R.C. Smith, "Modeling and Control of Acoustic Structure Interaction Problems Via Piezoceramic Actuators: 2-D Numerical Examples," *ASME, J. of Vibration and Acoustics*, Vol. 116, pp. 386-396, 1994.
- [5] N.N. Rogacheva, Chung Cheng Chou, and Shuo Hung Chang, "Electromechanical Analysis of a Symmetric Piezoelectric / Elastic Laminate Structure: Theory and Experiment," *IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 45, pp. 285-294, 1998.
- [6] P.M. Morse and K.U. Ingard, *Theoretical Acoustics*, McGraw-Hill, New York, 1968.
- [7] 劉欣怡, 86, "壓電噴墨印頭液滴形成過程之研究", 國立台灣大學機械工程研究所。