

介電液 FC-72 在垂直微小渠道的兩相熱流模擬

The Simulation of Two Phase Flow of Dielectric Fluid FC-72 in Vertical Micro Channels

計畫編號：NSC 90-2212-E-009 -071

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 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：陳文忠 交通大學機械工程研究所 研究生

一. 摘要

本計畫首先探討介電液 FC-72 在小間隙間的飽和池沸騰現象。在實驗中，加熱片上方有一壓克力板，兩者形成間隙 (gap)，由所輸入的熱通量 (q'') 及測量到的過熱度 (ΔT) 畫出沸騰曲線。間隙的大小 (S) 有 2.0mm、1.5mm、1.0mm、0.5mm 與無間隙 (開放式)，另外加熱片的角度 (Θ) 有 0° 、 45° 與 90° ，因此本實驗共有 15 組數據。實驗目的在於比較間隙大小與加熱片角度兩者對沸騰曲線的影響。

從實驗結果觀察到較小的間隙在小熱通量時有較佳的熱傳係數 ($h = q''/\Delta T$)，但在較高熱通量與 Θ 等於 0° 時，較大間隙會有較好的熱傳係數，也有較高的臨界熱通量。 Θ 等於 45° 及 90° ， $S = 2.0$ mm 與 1.5mm 時，熱傳係數及臨界熱通量皆趨近或高於開放式。而間隙的大小在 Θ 等於 45° 及 90° 時對熱傳係數的影響不如在 $\Theta = 0^\circ$ 時來得大。

Abstract

The project is devoted to study the saturated pool boiling phenomena of dielectric fluid FC-72 in small gaps. The experimental data including heat flux q'' and overheat ΔT of the heating surface are used to produce boiling curves. An acrylic plate is located above the heating surface to form a gap with widths of four sizes - 2.0、1.5、1.0 and 0.5 mm along with an unconfined condition. There are three different angles, Θ , relative to horizontal of the heating surface at 0° 、 45° 、and 90° . The influences of both the size of gaps and the inclination angles of the heating surface on the boiling curves are investigated in this experiment.

It is observed that heat transfer coefficients are higher in smaller gaps when the heat flux is low. When it comes to the conditions of higher heat fluxes at horizontal heating surface, higher heat transfer coefficients and critical heat fluxes (CHF) happen at larger gaps. While Θ is 45° and 90° and S equals 2.0 and 1.5 mm, heat transfer coefficients and CHF approach to or rise higher than those of the unconfined condition. In general, the influences of gaps are greater when $\Theta = 0^\circ$ than those when Θ equals 45° and 90° .

二. 計畫緣由與目的

直接沉浸式的冷卻是目前被認為最有效的冷卻方法之一，由於許多高功率的電子裝置體積極小，因此研究小間隙的熱傳便日趨重要，而介電液應用於電子系統的散熱被認為十分有效。最早使用浸泡式液冷的記錄可追溯到 1940 年代的軍用電子系統，近年來數位電腦的散熱要求不斷提高，傳統的氣體冷卻方式已無法滿足，因此直接液冷可說是必然趨勢。

1980 年代末期的超級電腦如 Cray-2 與 ETA-10，使用氟碳介電液 FC-77 的沸騰來達到較高的散熱能力。目前被廣泛所知的介電液有 3M 公司生產的 FC-72，FC-87，FC-40，FC-84 等。用這種液體的核沸騰區域中的良好熱傳特性，會比使用空氣作強制對流在效果上好許多。

在許多高密度的平行印刷電路板之間的散熱問題多屬於本論文所欲討論的微小間隙的池沸騰機構，小間隙的池沸騰亦常見於各種熱傳設備，因為熱傳現象不同於一般開放式的池沸騰，所以有進一步研究的必要。而間隙大小與平板角度是這個問題的兩大重要

參數，故探討此二參數與池沸騰熱傳的關係將有很好的參考價值。

三. 文獻回顧

Katto 與 Yokoya [1, 2]以飽和水為工作流體研究小間隙的沸騰熱傳。間隙大小 S 介於 $0.1\text{mm} \sim 10\text{mm}$ ，加熱面為水平銅片，結果發現間隙 $S = 0.2 \sim 0.5\text{mm}$ 時，熱傳係數在較小熱通量時高於開放式的池沸騰熱傳，熱通量較高時，小間隙間的熱傳則低於開放式的池沸騰，如果間隙距離為 0.1mm 時，臨界熱通量不會存在於某一特定的位置。

Katsuta 與 Nagata [3]用兩片垂直銅片，其中一片為加熱片，工作流體為飽和水，來進行池沸騰研究，發現間隙介於 $1 \sim 2\text{mm}$ 時有熱傳加強的效果。

Xia [4]以飽和 R-113 為工作流體，加熱面為垂直陶瓷平板附著一層氧化矽，實驗觀察間隙大小對池沸騰熱傳的影響，發現當間隙大於 3mm 時，流動方式類似在垂直管道向上流動的強制熱對流沸騰。當間隙小於 3mm 時，熱傳效果較開放式的池沸騰佳，但臨界熱通量 (CHF) 會降低。

Nowell, Bharnani 和 Jaeger [5] 以 FC-72 為工作流體，垂直有鱗片的加熱片來研究間隙大小對沸騰熱傳的影響，間隙大小為 $6, 4, 2, 1\text{mm}$ ，發現間隙大小為 1mm 時，熱傳效果接近開放式的池沸騰，其餘皆較差，文中並以虹吸效應 (thermosyphon) 解釋實驗結果。

Misale, Guglielmini, Frogheri 與 Bergles [6]以兩種鱗片的加熱面及以 FC-72 為工作流體，以間隙 2mm 與 0.5mm 來研究小間隙時的沸騰熱傳，實驗發現加熱面呈垂直時，間隙大小對沸騰熱傳無太大影響，而加熱面為水平時，小間隙會對沸騰熱傳有負面影響，且臨界熱通量也會下降。

關於本實驗，較詳細的資料見碩士論文 [7]。

四. 實驗設備

本研究所使用的工作流體為介電液 FC-72 在一大氣壓下的沸點為 56.6°C ，臨界溫度為 178°C 。

整個實驗系統由加熱系統、測試容器、冷凝系統、環控恆溫系統及數據擷取系統五

大部分，如圖 1 所示。

所使用的加熱裝置 (測試片) 如圖 2 所示。銅片面積為 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 厚度 2mm 的光滑面，距底面 1mm 處理有兩根直徑 0.5mm E-type 熱電偶，熱電偶量到的溫度 T_i 須要以傅立葉 (Fourier) 一維熱傳導定律修正至測試片表面溫度 T_w

$$T_w = T_i - \frac{QL}{kA}$$

L 為熱電偶至測試板面的距離。

由電源供應器可讀出熱通量 (q'')，再由測試片表面溫度減去 FC-72 的飽和溫度而得過熱度 ΔT ，以 q'' 及 ΔT 即可畫出沸騰曲線。

五. 結果與討論

圖 3 是水平加熱面、四種間隙時的沸騰曲線，在熱通量小於 20 kW/m^2 時，間隙 2.0mm 時的熱傳係數最差，超過 20 kW/m^2 後，間隙 2.0mm 時的熱傳係數成為最高者。在圖 4 中可見在四種間隙時，直到臨界熱通量之前，熱傳係數都高於開放式的。臨界熱通量的大小順序為開放式、間隙 2.0mm 、間隙 1.0mm 、間隙 1.5mm 及間隙 0.5mm ，但在間隙 0.5mm 、 1.0mm 與 1.5mm 時臨界熱通量的差距很小。開放式時的臨界熱通量遠高於有間隙的臨界熱通量。

圖 5 是加熱面角度 45° ，四種間隙與開放式時的沸騰曲線，在熱通量低於 60 kW/m^2 ，間隙 0.5mm 時的熱傳係數最高，間隙 1.5mm 與 2.0mm 時的熱傳係數皆高於開放式的，而間隙 2.0mm 時的臨界熱通量還高於開放式的。

圖 6 為加熱面角度 90° ，四種間隙與開放式時的沸騰曲線，趨勢大致與加熱面角度 45° 時的相似，但間隙 1.5mm 與 2.0mm 時的臨界熱通量皆高於開放式的。

從這些結果可以歸納出，在小熱通量下，最小的間隙 (0.5mm) 有最好的熱傳係數，在較大的熱通量時，較大間隙有較好的熱傳係數， $\Theta = 0^\circ$ 時，有間隙的臨界熱通量比開放式的低很多，而當 $\Theta = 45^\circ$ 與 90° 時，當 $S = 0.5$ 與 1.0mm ，臨界熱通量雖然低於開放式的，但並不像水平加熱時被抑制得那麼低，當 $S = 1.5\text{mm}$ 與 2.0mm 時，臨界熱通量甚至趨近或高於開放式的。

Bonjour, Clause, 與 Lallemand [8] 發現

氣泡的合併會使微液膜的範圍增加，熱傳係數也相應的增加，如圖 7 所示，小間隙也許能夠促進氣泡的合併，所以在小熱通量時會有較高的熱傳係數，如圖 8 所示，但在高熱通量時，小間隙會阻止流體的補充，因此熱傳係數低於開放式的。

六. 計畫成果自評

此次實驗以觀察及比較小間隙間的池沸騰熱傳，實驗資料可大致歸納出小間隙對池沸騰的影響，對往後介電液 FC-72 在微小渠道的流動沸騰實驗具有參考價值。本實驗的進度達到要求，並妥善運用經費，沒有延期及超支。

七. 參考文獻

- [1] Katto, Y. and Yokoya, S., 1996, "Experimental Study of Nucleate Pool Boiling in Case of Making Interference-Plate Approach to the Heating Surface", Third International Heat Transfer Conference, pp.219-227.
- [2] Katto, Y.; Yokoyo, S. and Teraoka, K., 1977, "Nucleate and Transition Boiling in a Narrow Space between Two Horizontal, Parallel Disk Surfaces, Bull", JSME20, v.143, pp.638-643.
- [3] Katsuta, M. and Nagata, K., 1992, "Boiling Induced Heat Transfer Enhancement Using a Narrow Space", Proc.Eng, Fondation Conf, Pool and External Flow Boiling, pp.381-386.
- [4] Xia, C.; Guo, Z. and Hu, W., 1992, "Mechanism of Boiling Heat Transfer in Narrow Channels", in Proc, 28th Nat Heat Trans. Conf, pp.111-119.
- [5] Nowell, Jr.; R. M., Bhavnani; S. H. and Jaeger, R. C., 1995, "Effect of Channel Width on Pool Boiling from a Microconfigured Heat Sink", IEEE Trans. Comp., Packaging, and Manufact Technol, v.18, No. 3, pp. 534-539.
- [6] Misale, M.; Guglielmini, G.; Frogheri, M. and Bergles, A. E., 1999, "FC-72 Pool Boiling from Finned Surfaces Placed in a Narrow Channel: Preliminary Results", Heat and Mass Transfer, v.34, pp.449-452.
- [7] 陳文忠, 2002, "Study of Pool Boiling of Dielectric Fluid FC-72 Between Two Plates", 國立交通大學機械工程研究所碩

士論文.

- [8] Bonjour, Jocelyn, Clausse, Marc and Lallemand, 2000, "Experimental Study of The Coalescence Phenomenon during Nucleate Pool Boiling", Experimental Thermal and Fluid Science, v.20, pp. 180-187.

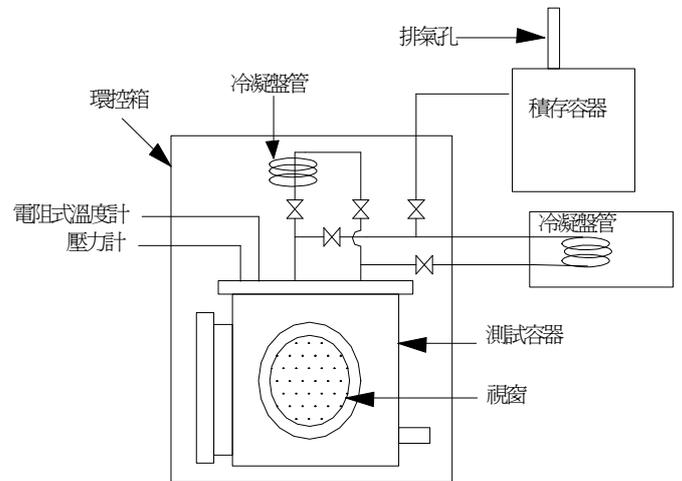


圖 1. 系統圖

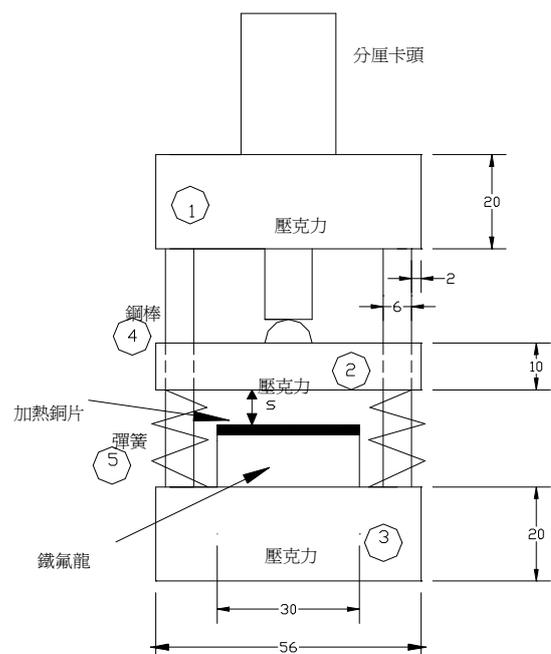


圖 2. 加熱裝置

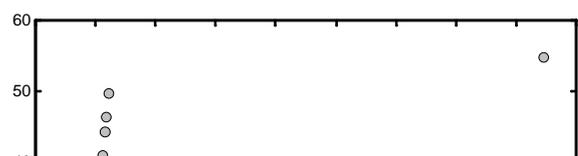


圖 3. $\Theta = 0$ 時四種間隙時的沸騰曲線

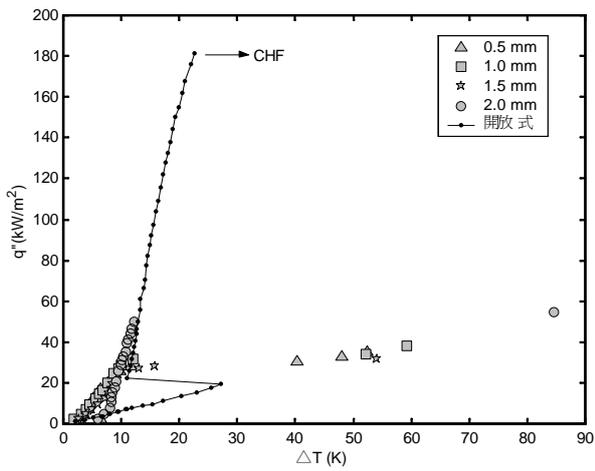


圖 4. $\Theta = 0$ 時四種間隙與開放式時的沸騰曲線

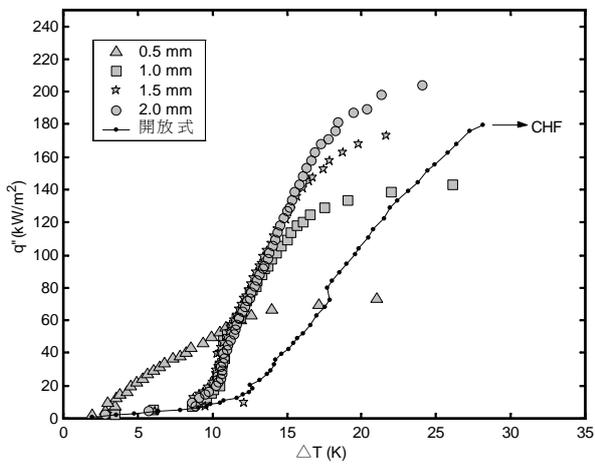


圖 5. $\Theta = 45$ 時四種間隙與開放式時的沸騰曲線

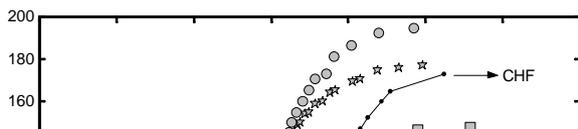


圖 6. $\Theta = 90$ 時四種間隙與開放式時的沸騰曲線

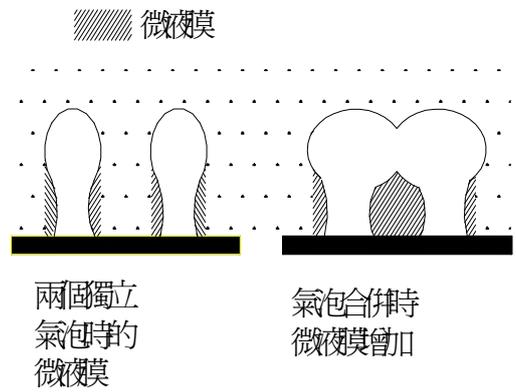


圖 7. 兩氣泡間的關係對微液膜的影響

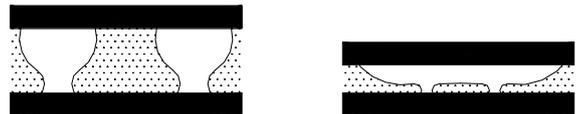


圖 8. 小間隙促進氣泡合併