

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

冷媒流量和熱通量振盪引起之暫態新冷媒和 FC-72

流動沸騰研究(二)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 96-2221-E-009-133-MY3

執行期間：民國 97 年 08 月 01 日 起至民國 98 年 07 月 31 日

計畫主持人：林清發 教授

共同主持人：

計畫參與人員：陳建安 博士生、林永龍 王譯徵 碩士生

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

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

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學機械工程研究所

中 華 民 國 九 十 八 年 五 月 日

冷媒流量和熱通量振盪引起之暫態新冷媒和 FC-72 流動沸騰研究(2/3)

Transient flow boiling of new refrigerants and FC-72 due to refrigerant flow rate and heat flux oscillations (2/3)

計劃編號: NSC 96-2221-E-009-133-MY3

執行期限: 97 年 8 月 1 日至 98 年 7 月 31 日

主持人: 林清發 教授 交通大學機械系

計畫參與人員: 陳建安 博士生、林永龍 王譯徵 碩士生 交通大學機械系

一、中文摘要

在本三年期研究計畫中，我們已建立二套實驗環路來詳細探討隨時間做週期性變化的冷媒流量和熱通量如何影響管流中的流動沸騰熱傳及氣泡特徵。主要針對 HFCs 冷媒(R-134a, R-407C 及 R-410A)在雙套管中與 FC-72 在矩形管中的飽和及次冷態流動沸騰進行實驗。除外，也將對這三種 HFC 冷媒在雙套管中的蒸發熱傳進行量測。雙套管的間隙大小對沸騰和蒸發熱傳的影響將深入探討。同時，我們也將對冷媒流量和熱通量之振幅和週期對暫態流動沸騰的影響作詳細研究。在本年度計畫裡(民國 97 年 8 月至民國 98 年 7 月)，我們已建立研究暫態流動沸騰熱傳之實驗系統(雙套管及矩形管)，並進行系統測試。我們量測 R-407C、R-410A 在同心圓管和 FC-72 在矩形管之流量和熱通量振盪暫態流動沸騰熱傳係數並觀測其暫態流動沸騰現象，來釐清管中之暫態流動沸騰熱傳機制。

關鍵字: 暫態流動沸騰熱傳係數，暫態流動沸騰現象，暫態流動沸騰主要熱傳機制

Abstract

In this three-year research project, two experimental loops have been established to investigate how the imposed time periodic refrigerant flow rate and heat flux oscillations affect the basic channel flow boiling heat transfer and associated bubble characteristics for refrigerants R-134a, R-407C and R-410A and for dielectric coolant FC-72.

Experiments will be conducted for the saturated and subcooled boiling of R-134a, R-407C and R-410A in an annular duct and FC-72 in a rectangular duct. The evaporation heat transfer data of R-134a, R-407C, and R-410A flow in an annular duct will be measured. The effects of the gap size in the annular duct on the transient flow boiling and heat transfer characteristics will be examined in detail. Moreover, the transient flow boiling characteristics affected by the amplitudes and periods of the flow rate and heat flux oscillations will be explored. In this year of the study (August 2008 to July 2009), the experimental system to explore the transient flow boiling in the annular and rectangular ducts have been established. We have measured the transient oscillatory flow boiling heat transfer coefficients of R-407C and R-410A in an annular concentric duct and FC-72 in a rectangular duct and visualized the transient boiling flow phenomena. Meanwhile the dominant heat transfer mechanisms in the transient oscillatory boiling flow will be delineated.

Keywords: transient flow boiling heat transfer coefficients, transient boiling flow phenomena, heat transfer mechanisms

二、計劃源由與目的

由燃燒化石燃料來產生能量所排放之 CO₂ 氣體已造成嚴重的全球氣候暖化，如何提升各類工程系統的能源使用效率已廣受世界各國重視。近年來由於變頻空調及冷凍系統快速的被開發出來，但相關的暫態熱傳流力問題尚未有

深入的研究。本計畫之目的即在探討冷媒流量與熱通量振盪對管中暫態流動沸騰熱傳特性之影響，釐清主要之熱傳機制。對於沸騰內部本身所引發的不穩定性大致可區分為以下三種型態的研究【1-2】，密度波不穩定性，壓降不穩定性，熱不穩定性。

在長加熱流道中各種液體在流動沸騰情況下的雙相流不穩定在近年來已有一些研究【3,4】。在可靠的操作條件下有壓力、溫度、流量、沸騰起始都可能出現短暫的明顯震盪。最近，一些複雜不穩定的相關特徵已經由實驗測量和理論模式被探討。Kakac 等學者【5】量測冷凍液 R-11 的流動沸騰在長垂直流道中的壓降和溫度震盪。同時，他們採用均質雙相模式伴隨熱力環境假設來預測導致溫度震盪的條件。除此之外，他們也預測震盪的週期和震幅。稍後，Kakac 和他的團隊【6】更注意到密度波震盪的存在會使得壓降的震盪更強烈。此外，drift-flux 模式被使用在他們的數值預測裡。後來他們【7】繼續進行 R-11 在水平圓管(L=106 cm)的研究，利用震盪振幅和週期來判斷系統參數和在穩態中各種震盪的邊界情況下壓降和流量的特徵曲線關係。Comakli 等學者【8】進行類似的長圓管實驗(L=319.5 cm)。他們發現流道的長度對雙相流動力不穩定有很重要的影響。

針對一裝有液體提供緩衝槽之水平沸騰管，Mawasha 等學者【9】使用一個三次非線性且齊性雙相流模式去模仿壓降所造成的震盪，此定性的預測與量測數據一致，後來他們認為管壁熱容的效應是需要考量進去，而且壁溫和熱傳係數是隨著時間變化【10】。

王等人【11】注意到，在一具有緩衝槽且長 7.8m 向上流動之垂直管的次冷態水沸騰起始時會引起此流場壓力和密度波振盪，造成此沸騰起始振盪是因為在成核沸騰起始時突然增加管流壓降以及流率大幅度改變，並且導致管內沸騰起始位置一直變化，因此大規模的流動

震盪會出現。

除此之外，Brutin 等人【12】在最近的研究報告指出，戊烷在一垂直小型矩形管中($D_h=0.889$ mm and $L=50$ & 200 mm)因為壓降造成沸騰不穩定性，而沸騰不穩定受入口流動效應的影響相當明顯【13】，Shuai 等人【14】利用去離水研究小管中的次冷態流動沸騰，發現明顯的壓降震盪。

上面的文獻回顧顯示 steady (statistically stable) flow boiling in channels 過去已有不少的研究，而由沸騰內部之各物理量間之交互作用所引發之 unstable flow boiling 過去也有一些研究，但由外界所控制之冷媒流量及熱通量振盪對管內流動沸騰熱傳和氣泡特徵性之影響則尚未有研究成果報導出來。本研究計畫之目的即是針對管內新冷媒和 FC-72 流動沸騰特性受到 Imposed flow rate 及 heat flux oscillations 之影響作深入探討。

三、結果與討論

去年已完成 R-134a 和 FC-72 在雙套管及矩形管系統中之暫態流動沸騰熱傳量測。今年繼續研究 R-407C、410A 及 FC-72 在雙套管及矩形管系統中流量和熱通量振盪振幅大小及週期對流動沸騰的影響，以下則為流量和熱通量振盪實驗結果。

- (1) 首先，R-407C 和 FC-72 於雙套管及矩形管系統中暫態飽和流動沸騰流量和熱通量振盪振幅及週期影響的時間平均沸騰曲線如圖 1 所示，由圖中可看出流量和熱通量振盪振幅大小及週期，對於時間平均沸騰曲線並無顯著影響，並且與穩態流動沸騰類似。
- (2) 接著，R-407C 的暫態飽和態瞬間壁溫隨時間變化則由圖 2 所示，單相時質通量的增加會使得壁溫有下降的趨勢，但雙相時質通量的增加則會使得壁溫有上升的趨勢，並且量測各個參數對壁溫振盪振幅的影響

響，如圖 3 所示。

- (3) 最後，FC-72 的暫態飽和態瞬間壁溫隨時間變化則由圖 4 所示，熱通量的增加會使得壁溫有上升的趨勢，而由此圖所示之 FC-72 暫態瞬間熱傳係數可看出有相同的趨勢。

四、計劃成果自評

R-407C、410A 在雙套管以及 FC-72 在矩形管系統中之流量和熱通量振盪暫態雙相熱傳實驗及觀測已完成，並正透過觀測雙套管及矩形管雙相流動沸騰現象來深入探討流量和熱通量振盪之熱傳特性及主導的熱傳機制。

五、參考文獻

1. S. Kakac, B. Bon, A Review of two-phase flow dynamic instabilities in tube boiling systems, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 51 (2008) 399-433.
2. L. Tadrist, Review on two-phase flow instabilities in narrow spaces, *International Journal of Heat and Fluid Flow* 28 (2007) 54-62.
3. T. Otsuji, A. Kurosawa, Critical heat flux of forced convection boiling in an oscillating acceleration field : I – general trends, *Nuclear Engineering and Design* 71(1982)15-26.
4. T. Otsuji, A. Kurosawa, Critical heat flux of forced convection boiling in an oscillating acceleration field : II – contribution of flow oscillation, *Nuclear Engineering and Design* 76(1983)13-21.
5. S. Kakac, T.N. Veziroglu, M.M. Padki, L.Q. Fu, X.J. Chen, Investigation of thermal instabilities in a forced convection upward boiling system, *Experimental Thermal and Fluid Science* 3(1990)191-201.
6. M.M. Padki, H.T. Liu, Kakac, Two-phase flow pressure-drop type and thermal oscillations, *International Journal of Heat and Fluid Flow* 12(1991)240-248.
7. Y. Ding, S. Kakac, X.J. Chen, Dynamic instabilities of boiling two-phase flow in a single horizontal channel, *Experimental Thermal and Fluid Science* 11(1995)327-342.
8. O. Comakli, S. Karsli, M. Yilmaz, Experimental investigation of two phase flow instabilities in a horizontal in-tube boiling system, *Energy Conversion and Management* 43(2002)249-268
9. P.R. Mawasha, R.J. Gross, Periodic oscillations in a horizontal single boiling channel with thermal wall capacity, *International Journal of Heat and Fluid Flow* 22(2001)643-649.
10. P.R. Mawasha, R.J. Gross, D.D. Quinn, Pressure-drop oscillations in a horizontal single boiling channel, *Heat Transfer Engineering* 22(2001)26-34.
11. Q. wang, X.J. Chen, S. kakac, Y. Ding, Boiling onset oscillation : a new type of dynamic instability in a forced-convection upflow boiling system, *International Journal of Heat and Fluid Flow* 17(1996)418-423.
12. D. Brutin, F. Topin, L. Tadrist, Experimental study of unsteady convective boiling in heated minichannels, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 46(2003)2957-2965.
13. D. Brutin, L. Tadrist, Pressure drop and heat transfer analysis of flow boiling in a minichannel : influence of the inlet condition on two-phase flow stability, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 47(2004)2365-2377.
14. J. Shuai, R. Kulenovic, M. Groll, Pressure drop oscillations and flow patterns for flow boiling of water in narrow channel, *Proceedings of International Conference on Energy and the Environment, Shanghai, China, May 22-24, 2003.*

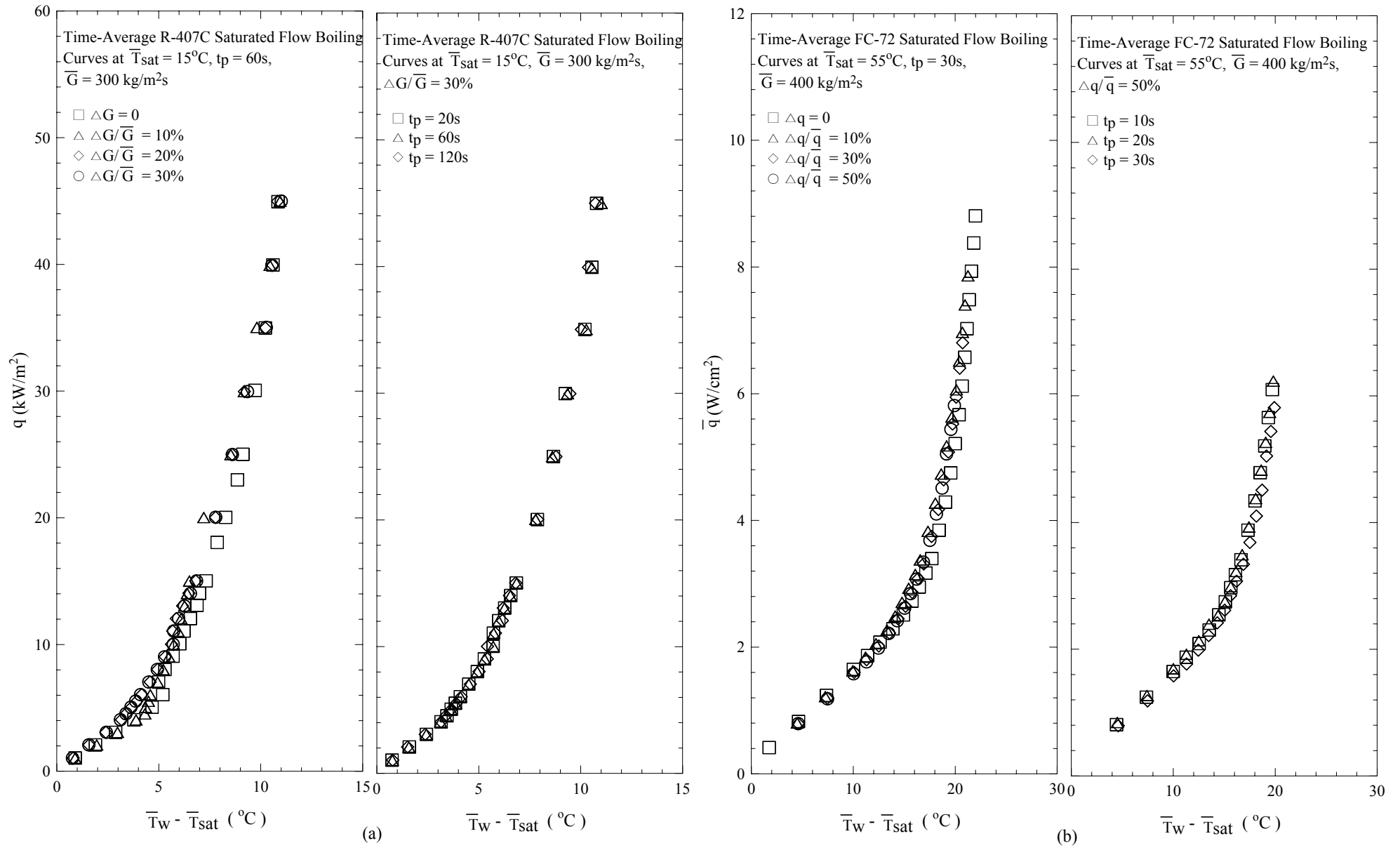


Fig. 1 Time-average R-407C (a) and FC-72 (b) flow boiling curves for various $\Delta G/\bar{G}$ and t_p .

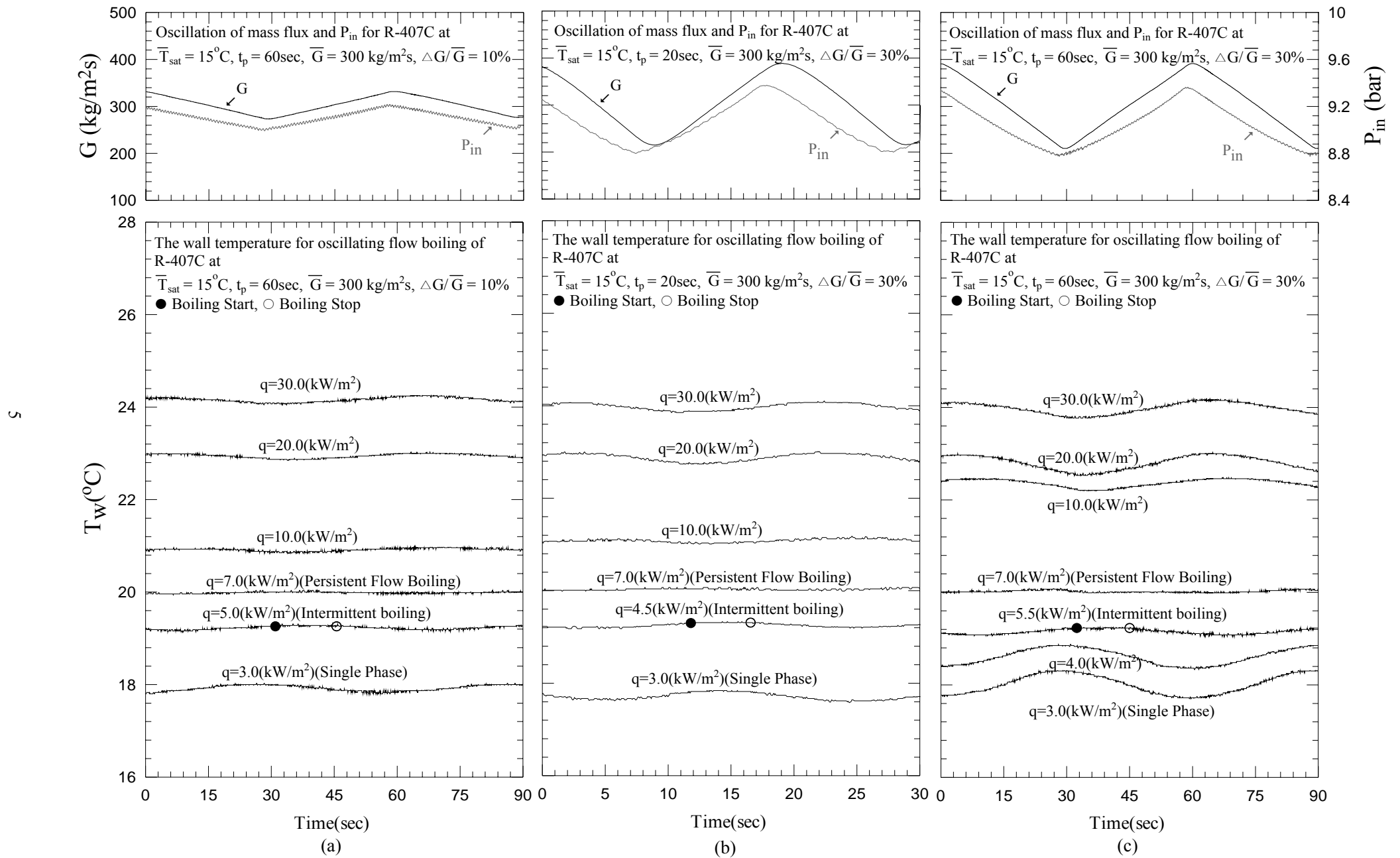


Fig. 2 Time variations of imposed R-407C mass flux and wall temperature at $z = 80\text{ mm}$ for various q , $\Delta G/\bar{G}$ and t_p .

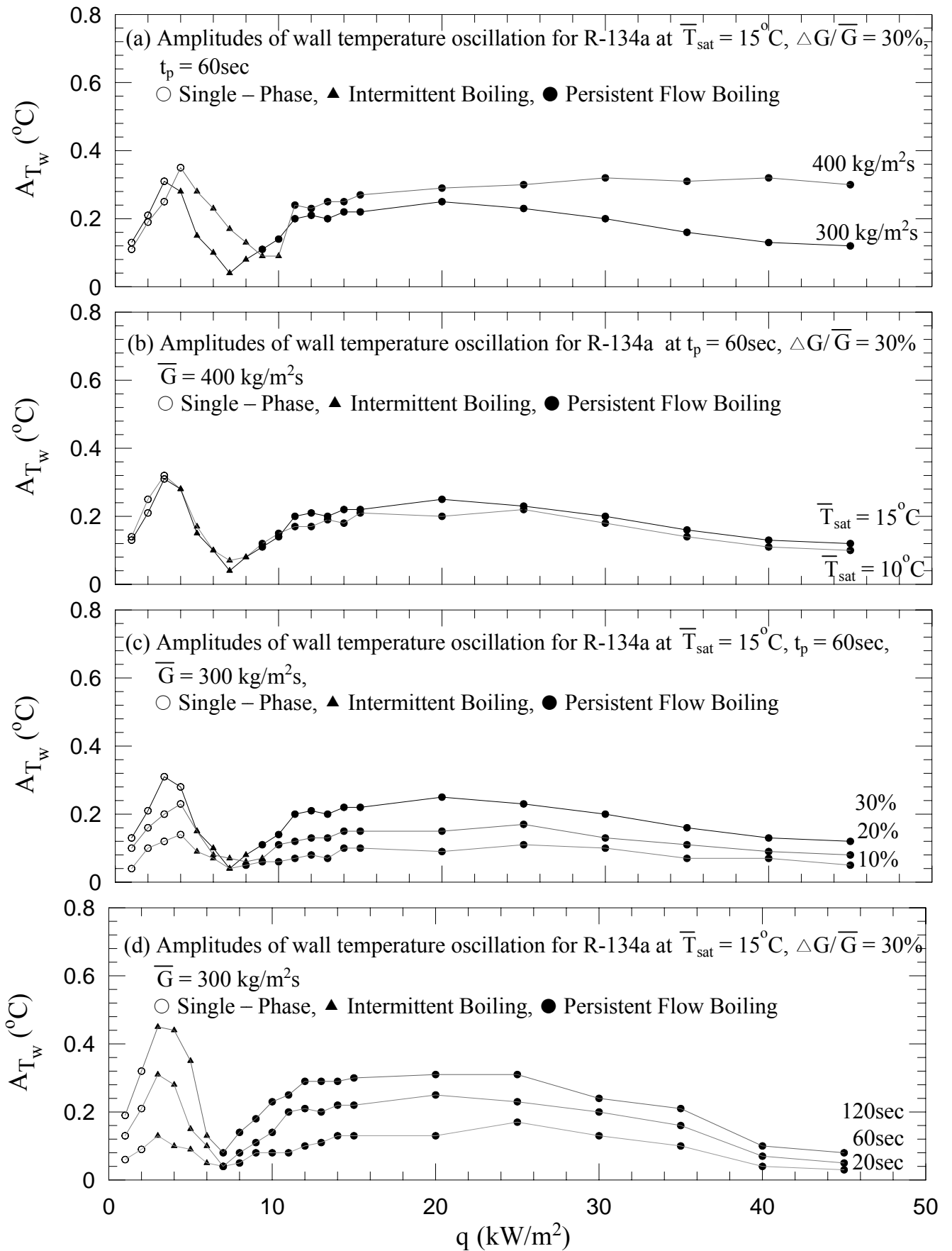


Fig. 3 Variations of amplitudes of heated wall temperature with imposed heat flux for various refrigerant mass fluxes (a), saturated temperatures (b), amplitudes of mass flux oscillation (c), and periods of mass flux oscillation (d).

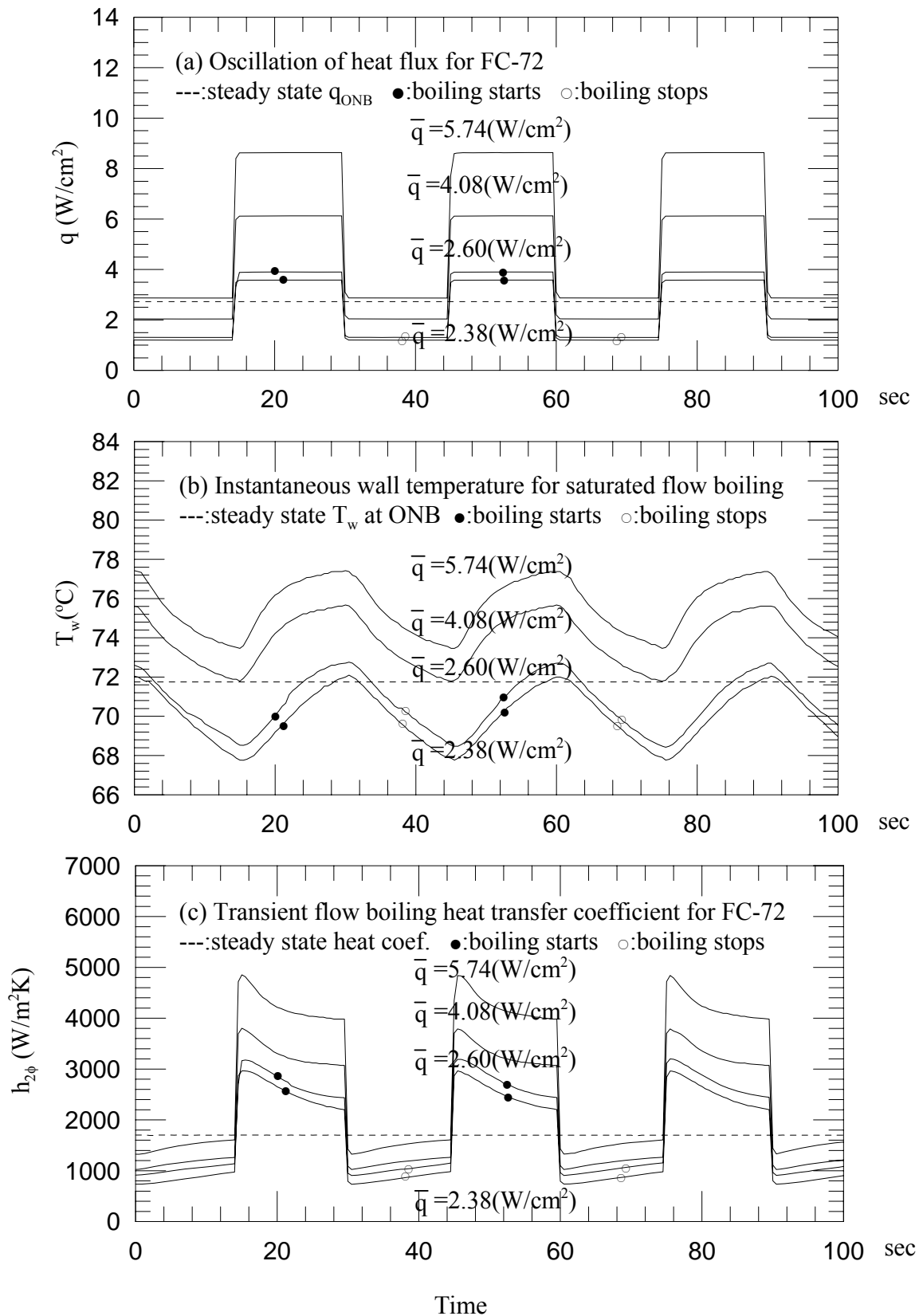


Fig. 4 Time variations of (a) imposed heat flux at $\Delta q/\bar{q} = \pm 50\%$, (b) copper plate temperature and (c) heat transfer coefficient in transient oscillatory FC-72 saturated flow boiling for various mean imposed heat fluxes for $G = 400 \text{ kg}/\text{m}^2\text{s}$ with $t_p = 30 \text{ sec}$. (transient flow boiling $\bar{q}_{\text{ONB}} = 2.38 \text{ W}/\text{cm}^2$)