

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 小管中新冷媒流動沸騰熱傳特性和主要機制研究(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2212-E-009-016-

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：林清發

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 24 日

## 小管中新冷媒流動沸騰熱傳特性和主要機制研究(1/3)

### Heat Transfer Characteristics and Dominant Mechanisms in Flow Boiling of New Refrigerant in Small Pipes(1/3)

計劃編號: NSC 90-2212-E-009-016

執行期限: 92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

主持人: 林清發 交通大學機械系

#### 一、中文摘要

本三年期研究計畫主要是利用實驗量測與觀測來探討在小管中之新冷媒流動沸騰的熱傳機制。我們將建立二個測試段，其中一個測試段是由小圓管組成，用來量測流動沸騰熱傳係數，另一個測試段是由外管透明之同心圓管組成，二圓管之間距很小，用來做流動沸騰現象觀測。在本年度計畫裡(民國 92 年 8 月至民國 93 年 7 月)，我們已建立研究小管中流動沸騰熱傳之實驗系統(小圓管組及小間距雙套管)，並進行系統測試及單相實驗。將來我們將量測兩個測試段之流動沸騰熱傳係數及觀測小間距雙套管中之流動沸騰現象，並釐清小管中之流動沸騰熱傳機制。

**關鍵字:** 流動沸騰熱傳係數, 流動沸騰現象, 流動沸騰主要熱傳機制

#### Abstract

A three-year research project is proposed here to investigate the dominant heat transfer mechanisms in the flow boiling of new refrigerant in small channels through experimental measurement of the boiling heat transfer coefficients and observation of the boiling

flow in the channels. Two test sections have been constructed - one with a bank of small circular pipes and another with an annular concentric duct. The gap between the two ducts is small. In this year of the study (August 2003 to July 2004), the experimental system to explore the flow boiling in the small channels have been established. Initial tests of the system and single phase heat transfer measurement have been finished. Then in the second and third years, we will measure the flow boiling heat transfer coefficients in both test sections and visualize the boiling flow phenomena in the annular duct. Meanwhile the dominant heat transfer mechanisms in the boiling flow will be delineated.

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

#### 二、計劃源由與目的

近十多年來由於微小元件與系統快速的被開發出來，相關的熱傳流力問題也廣受國內外學者重視。本計畫之目的即在探討微小管之尺寸大小對管中流

動沸騰熱傳特性之影響，釐清主要之熱傳機制。對於此方面研究大致可區分為以下三種型態的研究【1-13】，大部分採取單一小的圓形或矩形管道來探討熱傳問題【1-5,6-7】，另有一部分則為了配合流場觀測而採用雙套管的模式【8-10】，另外，尚有一部分則為了取得較為平均的數據而採用多排的圓或矩形管道【11-13】。

在探討傳統大管徑的流動沸騰機制中，熱傳遞的方式主要是由於壁面造成之成核沸騰熱傳及氣液介面造成之對流蒸發熱傳。舉例來說，成核沸騰主導的熱傳結果是與熱通量，飽和溫度有關，而對質通率  $G$  較無關連，但對流蒸發所主導的熱傳則恰為相反，與質通率  $G$  及乾度  $x$  有關，與熱通量及飽和溫度無關。但對於管徑逐漸變小，熱傳機制主導權及熱傳係數與傳統大管徑的結果是否有所差異？一般而言，對流熱傳機制主導區在於較高乾度，較低熱通量及壁過熱度區域；反之，成核沸騰熱傳機制主導則在於較高熱通量及壁過熱度，較低乾度情況下，但對於現有大部分文獻中，由於其熱傳係數之結果與熱通量有較強關連性，與質通量及乾度較無關連情況下，而歸於成核沸騰主導之熱傳機制【1-2,4-5,8-10】。但是仍有一部分文獻，則認為在小管中仍然是兩者皆為重要之熱傳機制，而非只有一方把持【11,13】。關於此方面之結論，仍需釐清。

部分學者在研究當管徑變小時，熱傳係數將會提升【3,6,9-11】，如【10】認為當管徑尺寸小於 2mm，熱傳係數將隨管徑變小而增加。而一些學者則發現其壁過熱度與大管結果相比為減小。此意謂蒸發熱傳係數將被增強了

【6,9-10】。【9】解釋為是由於空間造成氣泡易被扭曲增強其紊亂度，並由於其表面張力與摩擦剪應力，使得流體更易濕潤加熱表面，而增強熱傳。【10】則認為剪應力增加將增加氣泡脫離的速率，而更易造成紊流而增強熱傳。

在小管之壓降研究的文獻回顧方面，首先是 Yang 等人【14】對 R-12 冷媒在矩形管道 ( $D_h = 2.64$  mm) 與鰭管 ( $D_i = 1.56$  mm) 所做的雙相流動和單相絕熱流動研究。在實驗中雙相壓降會伴隨著流體的質量流率與蒸汽乾度提昇而上升，並且發現鰭管中之摩擦壓降並沒有受到表面張力明顯的影響。但是可以理解的是，在大部份的實驗中鰭管之壓降是較高於平滑管的。在之後的研究中，他們【15】針對 R-134a 冷媒、水和空氣在小管 ( $D_i = 0.173$  to 4.01 mm) 中所做的壓降實驗，發現 R-134a 冷媒在小管中之單相壓降結果可以符合 Blasius 方程式和 Poiseuille 方程式。在純冷媒與混合物在水平毛細管 ( $D_i = 1.2$  to 1.6 mm) 的研究方面，Chang 等人【16】實驗得到雙相壓降主要是因管壁摩擦而造成的摩擦壓降與流體比容改變所造成流動加速而產生的加速壓降。在高液體流率下，均質流 (homogeneous flow model) 的計算模式能夠適當地計算雙相壓降。Tong 等人【17】研究探討水在小管 ( $D_i = 1.05$  to 2.44 mm) 內高過冷狀態下的沸騰流動壓降，結果顯示單相和雙相壓降會隨著質量通率和長度對直徑之比例的提昇而提高，而隨著內徑尺寸的變大而降低。在進出口水溫的影響方面，單相流相對於雙相流所受的影響比較明顯。Tran 等人【18】實驗探討 R-134a、R-12、R-113 冷媒在兩種尺寸的圓管 ( $D_i = 2.46$  and 2.92 mm) 與矩形管道 ( $D_h = 2.40$  mm) 內

的流動沸騰壓降。實驗數據顯示傳統大管的經驗公式並不適用於小管。

經由以上的文獻回顧可以清楚得知，新冷媒在小管內的蒸發熱傳與壓降實驗研究是相當少的，尤其是相關之沸騰在小管中之特殊現象尚未深入瞭解。由以上文獻得知，小管熱傳和壓降相關文獻雖不少，但仍多有分歧尚待釐清與深入探討。

### 三、結果與討論

- (1) 所建立的用來量測流動沸騰熱傳係數之小圓管組系統示意圖如圖一所示，測試段是由 28 根內徑為 2mm 外徑為 3mm 之銅圓管橫向並排而成，如圖二所示。管排之上下方各放置一片厚銅板，在其上下方並加上直流電加熱器，提供冷媒沸騰所需之加熱量。
- (2) 所建立用來觀測冷媒流動沸騰現象及量測流動沸騰熱傳係數之實驗系統冷媒環路，如圖三所示，此系統與圖一類似，只有測試段改為雙套管。此雙套管之內管為一直流電加熱之銅管，外管為透明之玻璃管，以利流動沸騰現象觀測（圖四）。兩管間之間距將測試 3 種，預計為 2.0mm，1.5mm 和 1.0mm。
- (3) 初步測試所得之小圓管組及雙套管之單相熱傳係數數據與 Dittus-Boelter and Gnielinski correlations 之比較如圖五及圖六所示，結果顯示對 2.0 mm 小圓管組而言，單相熱傳係數較符合 Dittus-Boelter correlations，對間隙為 2.0 mm 及 1.0 mm 的雙套管的單相熱傳係數之比較，當間隙變小時，但並未有較符合 Dittus-Boelter 或 Gnielinski

correlations 之趨勢。

### 四、計劃成果自評

小圓管組及雙套管系統及測試段業已建立完成，並完成初步之單相熱傳實驗，將進行雙相流動沸騰熱傳實驗及觀測雙相流動沸騰現象，因此未來將可釐清與深入探討小管中之熱傳和壓降特性及主導的熱傳機制。

### 五、參考文獻

1. Y. Fujita, Y. Yang, N. Fujita, Flow boiling heat transfer and pressure drop in uniformly heated small tubes, Proceedings of the Twelfth International Heat Transfer Conference 3 (2002) 743-748.
2. G. M. Lazarek and S. H. Black, Evaporative heat transfer, pressure drop and critical heat flux in a small vertical tube with R-113, Int. J. Heat Mass Transfer 25 (7) (1982) 945-960.
3. P. A. Kew and K. Cornwell, Correlations for the prediction of boiling heat transfer in small-diameter channels, Applied Thermal Engineering 17 (8-10) (1997) 705-715.
4. T. N. Tran, M. W. Wambsganss and D. M. France, Small circular- and rectangular-channel boiling with two refrigerants, Int. J. Multiphase Flow 22 (3) (1996) 485-498.
5. Z. Y. Bao, D. F. Fletcher and B. S. Haynes, Flow boiling heat transfer of Freon R11 and HCFC123 in narrow passages, International Journal of

- Heat and Mass Transfer 43 (18) (2000) 3347-3358.
6. B. Sumith, F. Kaminaga, and K. Matsumura, Saturated flow boiling of water in a vertical small diameter tube, *Experimental Thermal and Fluid Science* 27(7)(2003)789-801
  7. T.N. Tran, M.W. Wambsganss, D.M. France, J.A. Jendrzejczyk, Boiling heat transfer in a small, horizontal, rectangular channel, *Heat Transfer, Atlanta, AIChE Symp. Ser. 89 (295) (1993) 253–261.*
  8. V. V. Kuznetsov, O. S. Kim, and A. S. Shamirzaev, Flow boiling heat transfer in an annular channel with a small gap, *Russ. J. Thermophys.* 9(4) (1999)273-283.
  9. S. Qiu, M. Takahashi, G. Su, and D. Jia, Experimental study on heat transfer of single-phase flow and boiling two-phase in vertical narrow annuli, in: *Proc. of 10th International Conference on Nuclear Engineering, Vol. 3, 2002, pp. 319-324.*
  10. M. Aritomi, T. Miyata, M. Horiguchi, A. Sudi, Thermo-hydraulics of boiling two-phase flow in high conversion light water reactors (Thermo-hydraulics at low velocities), *Int. J. Multiphase Flow* 19 (1) (1993) 51–63.
  11. K. Cornwell and P. A. Kew, Boiling in small parallel channels, in: *Proc. of the Internat. Conf. on Energy Efficiency in Process Technology, Elsevier Applied Science, Athens, Greece, 1992, pp. 624-638.*
  12. M. W. Wambsanss, D. M. France J. A. Jendrzejczyk and T. N. Tran, Boiling heat transfer in a horizontal small-diameter tube, *Journal of heat transfer* 115 (4) (1993) 963-972.
  13. Y. Y. Yan and T. F. Lin, Evaporation heat transfer and pressure drop of refrigerant R-134a in a small pipe, *International Journal of Heat Transfer* 41 (24) (1998) 4183-4194.
  14. C. Y. Yang, R. L. Webb, Friction pressure drop of R-12 in small hydraulic diameter extruded aluminum tubes with and without micro-fins, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 39 (4) (1996) 801-809.
  15. C. Y. Yang, H. T. Chien, S. R. Lu, R. J. Shyu, Friction characteristics of water, R-134a and air in small tubes, Accepted for Publication in the *Journal of Microscale Thermophysical Engineering* 1-7.
  16. S. D. Chang, S. T. Ro, Pressure drop of pure HFC refrigerants and their mixtures flowing in capillary tubes, *International Journal of Multiphase Flow* 22 (3) (1996) 551-561.
  17. W. Tong, A. E. Bergles, M. K. Jensen, Pressure drop with highly subcooled flow boiling in small-diameter tubes, *Experimental Thermal and Fluid Science* 15 (1997) 202-212.

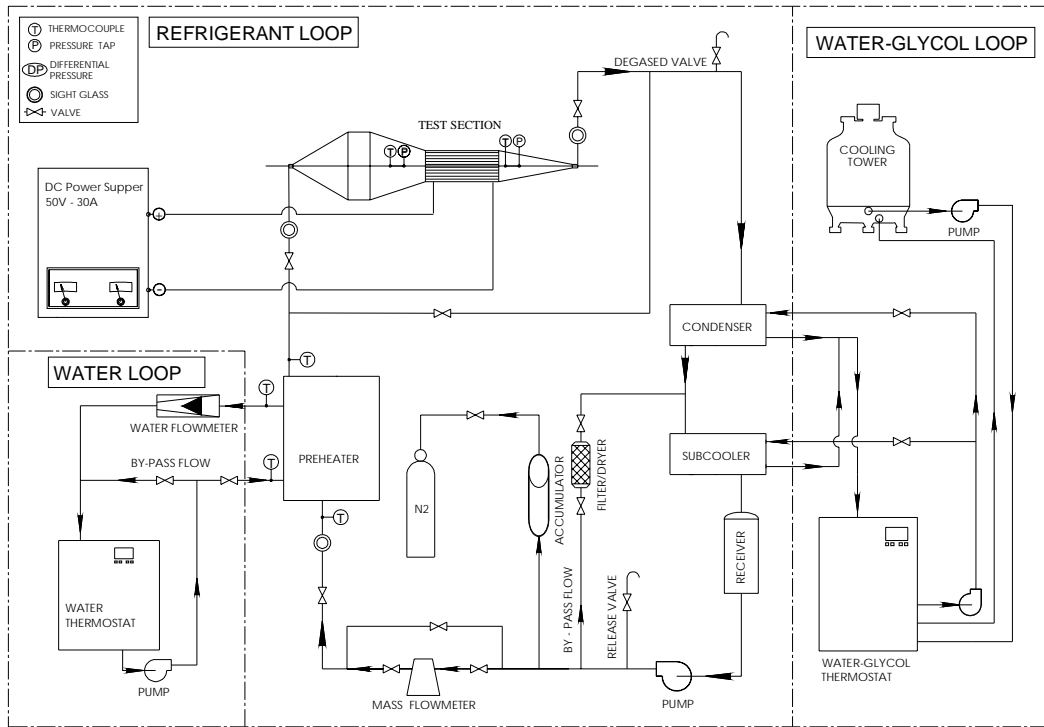


Fig. 1 Schematic of experimental system for a bank of small pipes.

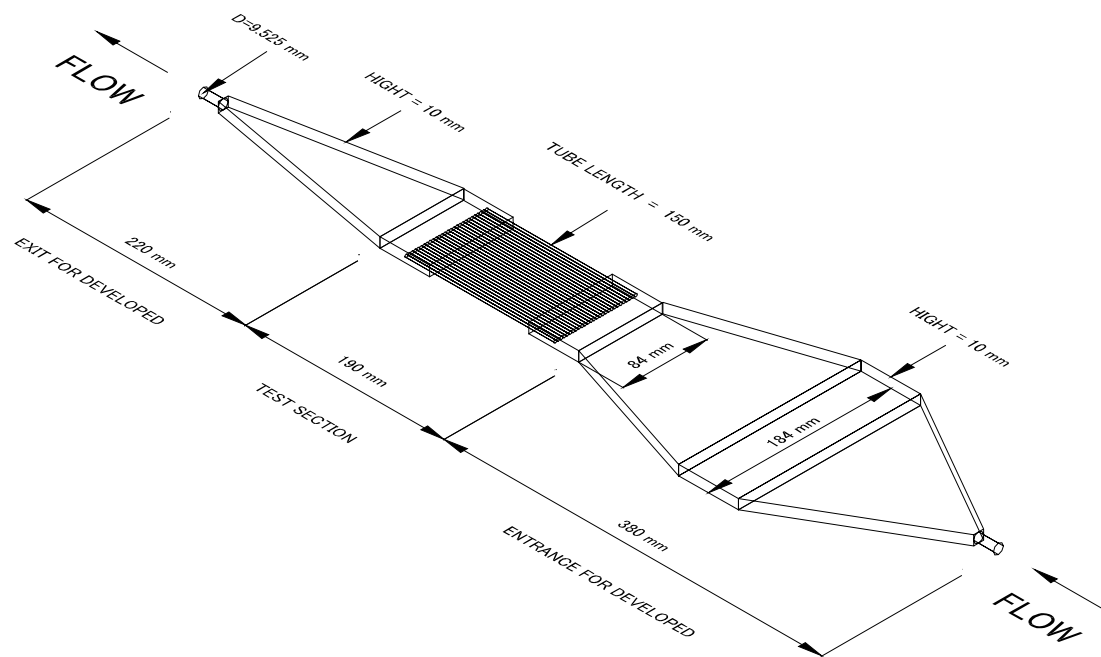


Fig. 2 Schematic of the inlet and exit arrangement for the small circular tubes.

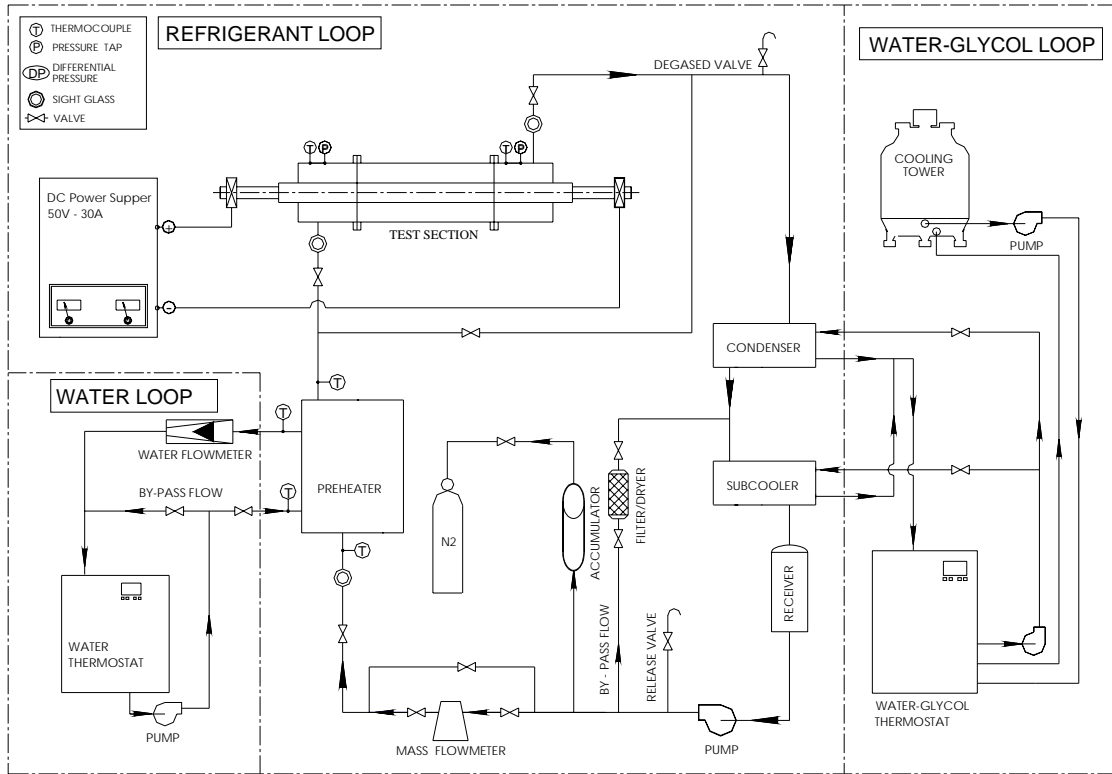


Fig.3 Schematic of experimental system for the annular duct

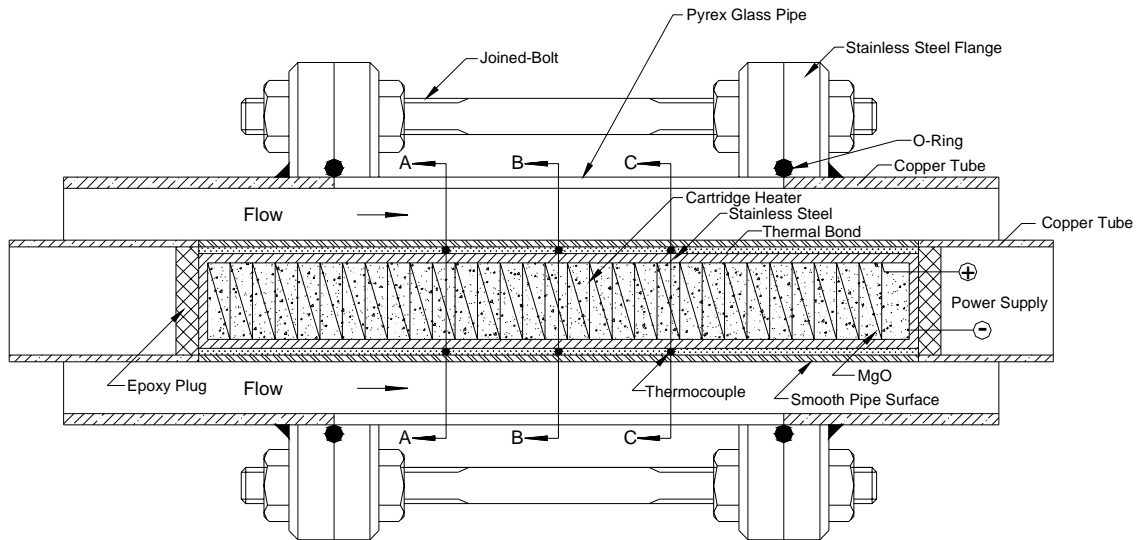


Fig. 4 The detailed arrangement of the test section for the annular duct

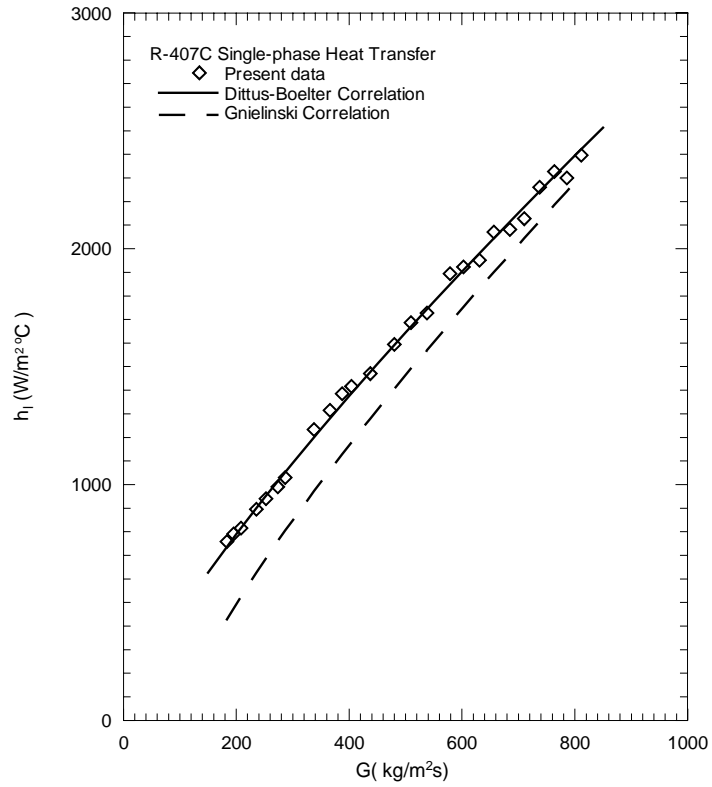


Fig.5 Comparison of the small tubes data for the liquid phase heat transfer coefficient with the Dittus-Boelter and Gnielinski correlations.

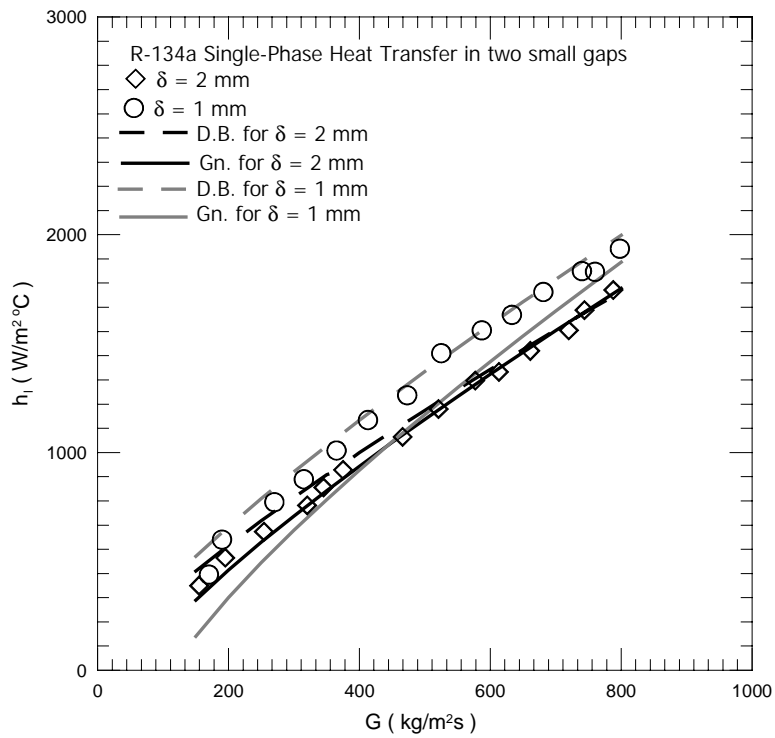


Fig.6 Comparison of the small gaps data for the liquid phase heat transfer coefficient with the Dittus-Boelter and Gnielinski correlations.