

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫三：微泡減阻技術在船舶上的應用研究

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2611-E-002-022-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系暨研究所

計畫主持人：蔡進發

共同主持人：謝傳璋

計畫參與人員：劉驥佑，謝志明，陳紀川

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 4 日

微泡減阻技術在船舶上之應用研究

計畫編號：NSC 90-2611-E-002-029

計畫編號：NSC 91-2611-E-002-028

計畫編號：NSC 92-2611-E-002-022

執行期限：90年8月1日至93年7月31日

主持人：蔡進發、謝傳璋

計畫參與人員：劉驥佑、謝志明、陳紀川

台灣大學工程科學及海洋工程學系

中華民國九十三年十月

摘要

本研究第一年在水洞中建立的多孔型透氣材料產生微氣泡的方法，並經由平板阻力的量測驗證在水洞中微泡可以降低 80% 的平板摩擦阻力，並定義出微泡減阻的空氣流量參數，同時完成不同透氣材料孔徑空氣流量及流速對微泡減阻效應的研究。第二年則將噴氣裝置安裝至 HSV A 超大型油輪的船模上，將氣泡噴入船模的邊界層中以達到減阻的效果。船模上共在船底十個不同位置裝上噴氣板，多孔型透氣材料採用 $1\ \mu m$ 、 $10\ \mu m$ 、 $100\ \mu m$ 等三種孔徑大小。實驗結果顯示，減阻的效果會因為多孔型透氣材料孔徑大小的不同以及所擺放的位置而有所差異，最好的效果可以將總表面摩擦阻力減少 20%，此結果和平板在水洞中 85% 的減阻效果有很大的差異。第三年則將微泡技術應用至中速船型及高速雙體船上，由於此類船型並無平板式的底部，船兩側邊均有相當的斜度，氣泡因浮力關係很快浮出水面，而無法產生減阻效果。在中速船型上最高約只有 15% 的減阻效果，但在空氣流量增加後卻會增加阻力。在高速雙體船上雖有 5% 的阻力減少，經仔細檢查實驗結果後，發現因高速船模排水量較小，由於噴氣的效果產生船體輕微上浮，而造成阻力減少，並不是因為微泡而產生阻力減少。

ABSTRACT

The porous plate microbubble drag reduction technique was developed in the water tunnel. The 80% drag reduction of frictional resistance of flat plate was obtained for the flat plate in water tunnel. The air flow parameter was also defined. The effects of diameter of porous material, air flow rate and velocity on the drag reduction of flat plate were also studied in the first year. The developed microbubble injecting technique was applied to the low speed HSV A oil tanker model in the second year research. The resistance tests including two positions of porous plate and three diameters of porous plates were conducted. The experimental data showed that the total skin friction of ship model was reduced 20% for the best condition. The effect of drag reduction of HSV A model is much smaller than that of the plate drag reduction in water tunnel. The same microbubble technique was also applied to a medium speed ship model and a high speed catamaran in the third year research. These ship models do have round bottom and deadrise angle in stead of flat bottom. The round bottom and deadrise angle cause the bubble floating out the free surface rapidly. Then, the drag reduction effect of microbubble vanished. There is 15% frictional drag reduction for medium speed ship model. And, the drag is increased when the air flow rate is increased. The tested results of catamaran showed 5% frictional drag reduction. But it was due to the positive heave increase by the injected compressed air not the effect of microbubble.

目錄

摘要.....	1
Abstract.....	2
目錄.....	3
符號說明.....	4
圖表說明.....	5
第一章：緒論.....	7
第二章：微泡減阻技術及其在平板上的減阻效果.....	11
第三章：微泡減阻技術在低速船模上的減阻效果.....	15
第四章：微泡減阻技術在中、高速船模上的減阻效果.....	21
第五章：結論與建議.....	23
參考文獻.....	26

符號說明

C_f	有空氣噴出時的摩擦阻力係數
C_{f0}	無空氣噴出時的摩擦阻力係數
C_d	阻力係數
C_v	邊界層中空氣所佔的體積比
Q_a	空氣的體積流率 (m^3/s)
Q_w	流體的體積流率 (m^3/s)
D	氣泡的直徑 (m)
d	氣孔的直徑 (m)
Fr	福勞德數
V	入流的速度 (m/s)
σ	表面張力 (N/m)
R_e	雷諾數
δ	邊界層厚度 (m)
C_{tm}	船模總阻力係數
R_t	船模總阻力(Kg)
C_w	興波阻力
g	重力加速度

圖表說明

圖 1a：平板阻力量測架構圖

圖 1b：平板阻力量測實體圖

圖 1c：平板在上方的量測實體

圖 2：平板在上方 $1\ \mu\text{m}$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

圖 3：平板在上方 $10\ \mu\text{m}$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

圖 4：平板在上方 $100\ \mu\text{m}$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

圖 5：平板在側面 $1\ \mu\text{m}$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

圖 6：平板在側面 $10\ \mu\text{m}$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

圖 7：平板在側面 $100\ \mu\text{m}$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

圖 8：平板在下方 $1\ \mu\text{m}$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

圖 9：平板在下方 $10\ \mu\text{m}$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

圖 10：平板在下方 $100\ \mu\text{m}$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

圖 11：水槽拖車阻力量測系統

圖 12：HSVA 船模剖面圖

圖 13：HSVA 船模底部氣槽配置圖

圖 14：位置(1-5) $1\ \mu\text{m}$ 噴氣孔徑實驗結果

圖 15：位置(6-10) $1\ \mu\text{m}$ 噴氣孔徑實驗結果

圖 16：位置(1-10) $1\ \mu\text{m}$ 噴氣孔徑實驗結果

- 圖 17：位置(1-5)10 μm 噴氣孔徑實驗結果
- 圖 18：位置(6-10)10 μm 噴氣孔徑實驗結果
- 圖 19：位置(1-10)10 μm 噴氣孔徑實驗結果
- 圖 20：位置(1-5)100 μm 噴氣孔徑實驗結果
- 圖 21：位置(6-10)100 μm 噴氣孔徑實驗結果
- 圖 22：位置(1-10)100 μm 噴氣孔徑實驗結果
- 圖 23：低中高速船模實驗的福勞德數範圍
- 圖 24：浯江號船模底部氣槽配置圖
- 圖 25：高速雙體船船模底部氣槽配置圖
- 圖 26：浯江號的減阻效果實驗
- 圖 27：雙體船減阻實驗結果
- 圖 28：雙體船減阻實驗結果
- 圖 29：雙體船減阻浮沉量比較
- 圖 30：雙體船減阻浮沉量比較
- 圖 31：三型船型的福勞德數範圍與摩擦阻力佔總阻力的比例

第一章：緒論

各種船舶都是以克服阻力為其運動及推進的基本要求，若阻力可以減少那麼就可以提高船舶的推進效率。為了克服阻力來達到船舶高速性能的要求，一般都是利用加大船舶的馬力來達到此一效果，但此一方法將使能源的消耗隨之增加。所以如何降低船舶的阻力並提高能源使用的效率是一直船舶流體動力的重要研究課題。

由於水的密度大約是空氣的 800 倍，因此相同的物體在相同速度下運動時，在水中遭受的摩擦阻力大約是空氣的 720 倍(以攝氏 20 度估算)，所以如何降低船舶的阻力一直是船舶流體動力研究的重要研究課題之一。船體阻力的降低，除了幾何形狀的最佳化外，也可以使用人工減阻的方式來改善船舶的阻力性能。根據 1998 年美國海軍研究辦公室(Office of Naval Research)，所舉辦的”國際海水減阻會議”[1]的分類，應用於海水紊流場的減阻技術可分為六大類：(1)順勢塗裝(Compliant Coating)、(2)橫向流體或壁面振動(Spanwise Fluid Motion and Wall Motion)、(3)高分子添加(Polymer Additive)、(4)微泡減阻(Microbubble Injection)、(5)電磁減阻(Electromagnetic Turbulence Control)及(6)仿生減阻(Biology Based Drag Reducing)。其中以微泡減阻的效果最佳也最環保。

微泡減阻技術于 1973 年首先由 McCormick 和 Bhattacharya

[2]提出以電解法在物體表面產生微泡可以降低 30% 的阻力。在 1980 年代最具代表性的研究是美國賓州大學的應用研究實驗室(Applied Research Laboratory) , Madavan 等[3、4]在平板上的研究發現微泡最高可以有 80% 的減阻效果 , Deutch 等[5]將相同的技術應用在軸對稱體上最高也有 55% 的減阻效果 , 此二份研究成果令人印象深刻。在 1990 年代有關微泡減阻的研究則移至日本 , 先後有 Kato 等[6]在水洞中進行平板透氣材料的減阻研究 , 也得到 80% 的減阻效果 , Kawakita 和 Takena[7]採用陣列孔(Array of Hole)取代透氣材料進行相同的實驗也得到 60%的平板減阻效果 , 2003 密西根大學由 sanders 領導的研究團隊 , 在美國海軍的大型空蝕水槽進行 13 公尺長 Hiplate[8]的透氣材料平板減阻實驗 , 企圖釐清微泡減阻的機制 , 但是至目前所發表的資料與 Madavan 等[3]及 Kato 等[6]的研究結果類似並沒有更進一步的成果。

微泡減阻技術在船模上的應用研究首推美國海軍大衛泰勒研究中心的 Coughran 和 Coder[9] , 應用賓州大學的應用研究實驗室的研究成果以微泡的無因次流量 $C_Q = \frac{Q_a}{U_0(\delta - \delta^*)^b}$ 為參數應用至船模

上 , 然而其實驗結果卻是令人沮喪 , 因為實驗的結果是阻力增加而非減少。在日本則有 Watanabe 與 Shirose[10] 使用很長的平板船(Flat Plate Ship)分別有 8 公尺、20 公尺及 40 公尺的平板船在 IHI 水槽進

行實驗，實驗結果最高有 60% 的阻力減少，此實驗結果的效果令人興奮，因其結果和水洞中的減阻效果相當。Latorre 等人[11]則在三體船 (Trimaran) 進行微泡減阻的船模實驗，實驗結果在對應實船 28.8 節時，可得到 1.68% 的摩擦阻力降低，其結果並不很理想。微泡減阻最具代表性的實務應用是 Kodama 等人[12]將其應用到一艘 116 公尺的海洋研究船 (SEINU-MARU) 上，剛開始測試的結果並不理想，經過多次的調整後最佳的減阻效果在 14 節船速時有 2% 的馬力減少。由以上的回顧可發現，微泡減阻技術在水洞中的減阻效果明確，而且不同的實驗室得到的結果也類似，最大減阻效果在 80% 左右。但在拖曳水槽的實驗結果，卻有很大的差異，甚至有阻力增加的情況發生。因此有關微泡減阻技術的應用需要更進一步的研究以釐清在船模上的應用方式。

本研究第一年在水洞中所建立的多孔型透氣材料產生微氣泡的方法，並在水洞中進行平板阻力微氣泡的減阻實驗，以了解不同物理參數對微泡減阻的影響。第二年將噴氣裝置安裝至一超大型 HSV A 油輪的船模上，將氣泡噴入船模的邊界層中以達到減阻的效果。船模上共在船底十個不同位置裝上噴氣板，多孔型透氣材料採用 $1\ \mu\text{m}$ 、 $10\ \mu\text{m}$ 、 $100\ \mu\text{m}$ 等三種孔徑大小來探討孔徑、噴氣量及噴氣位置對減阻效果的影響。第三年則將噴氣裝置安裝至一中速的浯江號船模及一

高速的雙體船上，以期了解微泡減阻對不同速度域的船舶的減阻效應。

第二章：微泡減阻技術及其在平板上的減阻效果

2.1 前言

本研究主要在水洞中建構多孔型透氣材產生微泡的技術，然後利用多孔型透氣材料產生微氣泡的方法來量測在有無氣泡噴出情況下平板的阻力，並觀察在不同多孔透氣材料的孔徑大小及整個量測架構擺放在空蝕水槽的位置其對減阻效果的影響。

2.2 實驗架構與步驟

本實驗使用台灣大學造船及海洋工程研究所的 Kempf & Remmers 之 K23 型循環式低速空蝕水槽，進行微氣泡減阻實驗。水槽測試斷面為 43.5 公分×43.5 公分的正方形斷面，長度為 125 公分，漸縮段流縮比為 2.85：1，測試段最高流速約可達每秒 5 米。測試段斷面四周皆為可拆式的透明壓克力，以利於量測架構的安裝及觀察微氣泡產生時的情形。水流在進入測試斷前通過安置室及漸縮段，安置室內有蜂巢式整流網，具有增加流場均勻度的功能，在流過各轉角處均有引導葉片，以導順其方向。

實驗架構可分為氣槽區及量測區兩個部分：氣槽區主要是放置多孔型透氣材料，利用空壓機再通過穩壓槽及調壓閥後將壓力穩定的氣體注入氣槽中，透過孔徑不同的透氣材料來產生微氣泡。量測區的部

分主要是在光滑的測試平板中央裝設六向儀，固定六向儀的底座及四個支撐的薄片，用此一架構來量測光滑平板在注入氣泡前後的阻力大小。架構如下圖一所示。多孔型透氣材料材質為球青銅尺寸為 $190\times 120\times 6\text{mm}$ 的透氣材料，本實驗所採用的多孔型透氣材其孔徑大小分別為 1、10、 $100\mu\text{m}$ 等 3 種用以來產生不同大小的微氣泡。

本研究將量測的架構分別架於空蝕水槽的上、下、側三個面，並在每一個面上更換不同孔徑的透氣材料，透過空壓機及調壓閥來控制空氣的流量用以量測不同孔徑材料所產生不同微氣泡對減阻效果的影響。

實驗進行的步驟如下：

- (1) 將量測架構裝置在所需量測的面上，其他的三面用透明的壓克力板封住。
- (2) 將空蝕水槽進水並慢慢加快流速以趕走原本水槽中多餘的空氣，再減低速度至零使水槽內的水穩定即可開始進行量測。
- (3) 量測無氣泡時，在不同流速下平板的阻力與 ITTC 及 ATTC 平板阻力的比較。
- (4) 調整調壓閥將空氣輸入氣槽中，慢慢增加空氣的流量並量測在有氣泡噴入時的平板阻力。
- (5) 變換不同的流速並重複(4)的量測。

(6) 變換不同孔徑的透氣材料再重複步驟(2)至(5)至此一面的實驗結束。

(7) 將量測架構裝至其他的面再重複步驟(1)至(6)至實驗結束

在本研究中無氣泡噴出時的表面摩擦係數以 C_{f_0} 表之，當有氣泡噴出時的表面摩擦係數以 C_f 表之，在本文中以無因次量 C_f/C_{f_0} 表示減阻效果。並另外定義一無因次量 $C_v = \frac{Q_a}{Q_a + Q_w}$ ，其中 Q_a 表示從多孔型透氣材所噴出空氣的流量， Q_w 則是在邊界層中水的流量。並以 C_f/C_{f_0} 及 C_v 當作縱座標及橫座標作圖。

2.3 實驗結果與討論

依序更換不同孔徑的透氣材料，調整空蝕水槽中不同的流速及進入氣槽中的空氣流量來量測有無噴入微氣泡時平板的阻力值，並利用無因次參數來做圖，其各個面向的實驗結果如圖 2-10 所示。以下的討論依平板的擺放位置來討論。

(1) 平板在上方(Plate on top)

由圖 2-4 可知當流速越快的時候減阻的效果比較差，且在每一個不同的孔徑下各有一個最佳的減阻速度，大約是在 3-3.3m/s 附近，且可發現當孔徑較小時減阻的效果比較好。

(2) 平板在側面(Plate on side)

由圖 5-7 可知當流速越快的時候由於浮力的作用減小，使得氣泡產生後比較可以貼近量測板的表面，所以減阻的效果比低速時來的好，同樣也可以觀察到當孔徑較小的時候期減阻的效果較佳。

(3) 平板在下方(Plate on bottom)

由圖 8-10 可知跟平板在上方相同的在各個孔徑下會產生一個最佳的減阻速度大約是在 3.3m/s 附近。

由以上的實驗結果與討論可以得到以下的結果：

- (1) 微泡減阻技術在平板上的減阻效果非常顯著，最好有 80% 的減阻效果。
- (2) 空氣流量的增加會使減阻的效果增加，然後達到一穩定值，並沒有阻力增加的現象。
- (3) 用孔徑較小的透氣材減阻的效果比較好。
- (4) 在平板在上方及平板在下方的情況下發現會有一個最佳的減阻速度。
- (5) 當為平板在側面時速度較快減阻的效果比好。

第三章：微泡減阻技術在低速船模上的減阻效果

3.1 前言

由文獻回顧發現使用微泡減阻的效果非常好，尤其使用微泡減阻技術在平板實驗上的效果非常好，同時也沒有污染的問題。然而目前在一般現況中之油輪、貨櫃船現行並無使用微泡減阻之相關技術以達減阻之效，故本研究試著將應用微泡減阻技術於 HSV A 船模。

本研究主要應用在水洞中所開發的微泡減阻技術於 HSV A 船模(船長約 6.5 公尺)上，在船模底部裝設 10 個多孔性透氣材料，使用多孔性透氣材料來產生微氣泡的方法來減少物體表面的摩擦阻力。量測在有無氣泡噴出情況下船模的阻力大小，觀察與審視以下三項控制變因：(1)不同孔徑 $1\mu m$ 、 $10\mu m$ 及 $100\mu m$ 三種尺寸之多孔透氣材料來產生的微泡；(2)不同噴射位置：編號 1-5、編號 6-10 與編號 1-10；(3)船模速度在 8 節(0.65m/s) 18 節(1.46m/s)等變因改變下，對船速、空氣含量對減阻效果的影響，且量測在有無氣泡噴射情況下的船模阻力大小，進而瞭解應用微泡減阻技術於 HSV AI 船模之減阻效果。

3.2 實驗架構與步驟

本研究使用台灣大學工程科學及海洋工程學系的船模實驗托曳

水槽，進行船模微氣泡減阻實驗。水槽測試斷面為 8 公尺寬×4 公尺深的方形斷面，長度為 135 公尺，拖車最高速度約可達每秒 5 米，拖車車速的精度在 0.002m/sec。水槽的拖車上安裝有 K&R R63 阻力實驗儀以量測船模的阻力。水槽拖車實驗系統如圖 11 所示。船模是超大型油輪 HSVA 的船型為實驗對象，如圖 12 所示。此船長 260.83 公尺，船寬 38.33 公尺，吃水 9 公尺，船模比例 1/40。採用此船型主要原因是大型油輪的速度都很低，摩擦阻力佔總阻力的大部分，容易表現出減阻的效果。實驗氣槽區主要是放置多孔型透氣材料，利用空壓機再通過穩壓槽及調壓閥後將壓力穩定的氣體注入氣槽中，透過孔徑不同的透氣材料來產生微氣泡。船底接近船艙的地方裝有一透明玻璃可以觀測微泡流經船底的狀況。船底氣槽的位置如圖 13 所示，船艙第一排氣槽的編號由左舷開始為 1、2、3，第二排為 4、5，船艙第一排為 6、7，第二排為 8、9、10。每一排氣槽相隔 1 公尺，噴氣板的長度為 30 公分。

托曳水槽船模阻力實驗步驟如下：

- (1) 將船模壓載至設計排水量，然後安裝至 R63 的量測架構上。
- (2) 首先量測不同速度下沒有微泡的裸船船模阻力以做為減阻的標準依據。
- (3) 量測不同位置噴氣的減阻效果。

- (4) 針對不同噴氣位置調整調壓閥將空氣輸入氣槽中，慢慢增加空氣的流量並量測在有氣泡噴入時的平板阻力。
- (5) 變換不同的流速並重複(4)的量測。
- (6) 變換不同孔徑的透氣材料再重複步驟(4)至(5)至此一噴氣位置的實驗結束。
- (7) 重複步驟(4)至(6)至實驗結束

3.3 實驗分析方法

船模的總阻力包含摩擦阻力與剩餘阻力，在進行量測時量到的是船模總阻力，在慣例上當無氣泡噴出時之表面摩擦係數 C_{f0} 以 ITTC 平板摩擦公式來計算，

$$C_{fm0} = 0.075 / \{[\text{Log}(R_e)] - 2\}^2 \quad (1)$$

在有氣泡噴出時之表面摩擦係數以 C_f 表示之;本文係使用無因次量 C_f/C_{f0} 代表船模表面摩擦的減阻效果。因為船模的阻力係分為摩擦阻力與剩餘阻力兩部分，且假設在噴氣狀態下，並不會影響剩餘阻力的部分，所以可經由下列公式計算船模的摩擦阻力：

$$C_{tm0} = C_{fm0} + C_{rm0} \quad (2)$$

$$C_{rm0} = C_{tm0} - C_{fm0} \quad (3)$$

$$C_f = C_{tm} - C_{rm0} \quad (4)$$

為了探討空氣流量及微泡被覆面積對減阻效果產生之效應，需定義空氣流量以便分析實驗結果。空氣流量之無因次參數以 C_v 表示，

$$C_v = Q_a / (Q_a + Q_w) \quad (5)$$

其中 Q_a 代表從多孔性透氣材料所噴射出之空氣流量， Q_w 則代表在紊流邊界層中水的流量，如公式(6)表示之， δ 則代表紊流邊界層厚度， W 為多孔板的寬度。

$$Q_w = W \times \delta \times V \quad (6)$$

$$(\delta / X) = (0.382 / R_{ex}^{0.2}) \quad (7)$$

3.4 實驗結果與討論

依序更換不同孔徑的透氣材料，調整空蝕水槽中不同的流速及進入氣槽中的空氣流量來量測有無噴入微氣泡時平板的船模阻力值，並利用無因次參數來做圖，其各個噴氣位置的實驗結果如圖 14-22 所示。

由圖 14-22 可發現當使用(1-5)噴氣孔噴氣時效果不好，只有 5% 左右的阻力減少。噴氣孔全開時(1-10)有 10%左右的阻力減少量，但是在空氣量較高時卻有減阻效果衰減的現象。當只使用(6-10)時減阻效果可達 15%，顯示使用前端的氣槽對減阻效果不彰，由觀測窗發現使用前端氣槽時，由於微泡流經船底部距離太長時氣泡會彼此結合成為大氣泡附著於船底部而降低減阻的效果。

由圖中顯示孔徑較大減阻效果有稍為較好，但是趨勢並不是很明顯，在三組孔徑中除了 1 微米的孔徑減阻效果稍為偏低外，10 微米與 100 微米的效果接近並沒有明顯的差異。

由圖 14-22 可看出大部份的情況是減阻效果隨空氣流量增加而增加，但是至 $C_v=0.0008$ 時，再增加空氣量不但不會增加減阻效果，反而會使減阻效果降低，此情況主要還是過多的空氣會使微氣泡結合成大氣泡附著於船底而造成阻力反而增加。此意謂著對每一情況存在一最佳的噴氣量。

由圖中可發現對不同的噴氣位置與不同的孔徑，速度不同時減阻的變化不明顯，此意謂著微泡減阻在船舶上的應用只需要計算最佳的空氣流量即可。

由以上的實驗結果與討論可以得到以下的結論：

- (1) 空氣流量的增加會使減阻的效果增加，但是其存在一最佳空

氣流量，空氣流量太多時在某些條件下會降低減阻效果。

- (2) 在船模上用孔徑較大的透氣材減阻的效果比較好的趨勢，但是並不是很明顯。
- (3) 船速對減阻效果的影響不明顯。
- (4) 噴氣位置在船體的中後方時減阻效果最明顯，實驗顯示在船體前方噴氣時微氣泡會聚合成大氣泡而使減阻效果降低。
- (5) 由於氣泡含蓋的船體表面積只佔船體浸水表面積的 29% 左右，便有全體摩差阻力降低 20% 的效果顯示微泡含蓋範圍的減阻效果仍然非常明顯。
- (6) 因此如何增加船體表面微泡含蓋的面積而不產生大氣泡的方法是船舶減阻實務上要追求的技術。

第四章：微泡減阻技術在中、高速船模上的減阻效果

4.1 前言

本研究進一步將微泡減阻技術應用至中高速船模上，船模速度的高低是以福勞德數來區分的，本研究第二年所使用的 HSVA 船型其設計速度的福勞德數只有 0.15，中速船舶選用浯江號，浯江號的設計速度的福勞德數約為 0.30，高速船則選用高速雙體船，其設計船速的福勞德數約為 1.0，圖 23 是此三型船的福勞德數範圍。

4.2 實驗架構

浯江號是圓底船因此船側面為圓弧無法安裝噴氣板，因此將噴氣板安裝在船底中間龍骨兩側如圖 24 所示，兩側總共 8 個微泡產生的透氣板。高速雙體船如圖 25 所示，兩邊也是共 8 個微泡產生透氣平板。

4.3 實驗結果與討論

4.3.1 浯江號船模阻力實驗結果

由 HSVA 的船模經驗可發現透氣材孔徑的大小影響不大因此往後的實驗僅採用 10 微米的孔徑進行實驗，浯江號在不同空氣流量下

的減阻效果如圖 26 所示。由圖 26 中發現除了空氣流量 0.5 公升每分鐘的流率有減阻效果外，當空氣流量增加至 1.0 公升每分鐘時，減阻效果即不明顯，空氣流率增加至 1.5 公升每分鐘時，阻力卻反而增加。在 HSVA 的實驗中在 1.5 公升每分鐘流率時，減阻則僅有 5%，在浯江號上更驗證高空氣流率是會增加阻力，此與水洞中的實驗結果是相反的。

4.3.2 雙體船船模阻力實驗結果

雙體船微泡減阻的實驗結果如圖 27、28 所示，在船模速度高於 3.5m/s 時約有 5% 的減阻效果，當空氣流率增加至 5 公升每分鐘時，實驗結果亦類似。顯示此減阻的效果並非由微泡產生。同時空氣流率增加時並沒有像浯江號一樣產生阻力增加的情況發生。顯示在雙體船上微泡並沒有產生任何預期的效果，經由仔細比對實驗數據後，發現雙體船由於噴氣產生的壓力，其浮升量比沒有噴氣時，船身上浮 0.5mm 而造成阻力的降低，如圖 29、30 所示。

第五章：結論與建議

5.1 結論

由以上的實驗結果與討論可以得到以下的幾點結論：

1. 在水洞中的平板減阻實驗顯示減阻效果顯著最好有 80% 的減阻效果，同時空氣流量的增加會使減阻的效果增加，然後達到一穩定值並沒有阻力增加的情形出現，孔徑較小的透氣材減阻的效果比較好。
2. 在 HSVA 船模上顯示空氣流量的增加會使減阻的效果增加，但是其存在一最佳空氣流量，空氣流量太多時在某些條件下會降低減阻效果。在船模上用孔徑較大的透氣材減阻的效果比較好的趨勢，但是並不是很明顯。船速對減阻效果的影響不明顯。噴氣位置在船體的中後方時減阻效果最明顯，實驗顯示在船體前方噴氣時微氣泡會聚合成大氣泡而使減阻效果降低。由於氣泡含蓋的船體表面積只佔船體浸水表面積的 29% 左右，便有全體摩差阻力降低 20% 的效果顯示微泡含蓋範圍的減阻效果仍然非常明顯。因此如何增加船體表面微泡含蓋的面積而不產生大氣泡的方法是船舶減阻實務上要追求的技术。
3. 在浯江號上則顯示只有在低空氣流率時有 15% 的減阻效果，當空氣流率增加至 1.5 公升每分鐘時反而造成阻力增加，與水洞中平

板的趨勢相反。

4. 在高速雙體船上由於船型上有橫斜角，同時吃水只有 10 公分以下，微泡很快便浮出水面，在此船型上微泡並沒有產生任何的作用。
5. 由於微泡減阻主要的目的在於減少摩擦阻力，因此必需使用於摩擦阻力佔大部分的船型上，才能顯示出其效果。如圖 31 所示為本研究三型船型的福勞德數範圍，及其摩擦阻力佔總阻力的比例。若以 50% 為挑選標準，則微泡減阻技術可使用於 $Fr < 0.2$ ，或是 $Fr > 0.9$ 的速度範圍。在 $0.2 < Fr < 0.9$ 的範圍內由於接近興波阻力的峰值，摩擦阻力甚至下降至僅有總阻力的 20% 左右，不適合採用微泡減阻技術。
6. 在本研究中發現在水洞中由於微泡會隨流體帶走，不會在平板表面累積，因此減阻效果良好。但在船模上由於微泡會長大並合成大氣泡附著于船體表面，而造成阻力增加，因此其表現的現象與水洞中的實驗結果相反。
7. 由本研究所使用的船型顯示圓形底的船型，與有橫斜角的高速船不適合使用微泡技術，因為微泡會很快浮出水面而失去效用，微泡減阻僅適用於平底船型。

5.2 建議

微泡減阻是一環保且經濟的減阻方法，同時在水洞中的實驗效果非常顯著。然而在船模上的表現並沒有特別顯著，對平底船型的實驗結果也相當良好，但對中高速的船型由於船型為圓底及具橫斜角的高速艇，微泡並沒有發揮效果。對低速船型而言，雖有相當好的效果，但卻存在一個隱憂，那就是在船模上若空氣流率太高時，反而會造成阻力增加。目前把此阻力增加歸咎於微氣泡的結合形成大氣泡貼于船體表面，造成船體表面的形狀或是相對粗糙度變大，而造成阻力增加，此部分僅屬推測有待更進一步的研究與證實。

本研究以水洞中的實驗結果的空氣流率使用於船模上，卻發現在水洞中的最佳空氣流率對船模而言卻是太高，此主要的原因是截至目前為止微泡的減阻機制尚未完全了解，因而沒有完整的縮尺律可以由船模推估至實船，同時也顯示水洞中的微泡行為與水槽中的微泡行為並不一致，有待更進一步的研究釐清。

參考文獻

1. C.S. Meng, "Proceeding of the International Symposium on Seawater Drag Reduction," ONR, Newport, Rhode Island, 1998.
2. McCormic, M.E. and Bhattacharta, R. "Drag Reduction of a Submersible Hull by Electrolysis," Naval Engineering Journal, Vol.85, 1973, pp.11-16
3. N.K. Madavan, S. Deutsch and C.L. Merkle, "Reduction of Turbulent Skin Friction by Microbubbles," Physics of Fluid, Vol.27, No.2, 1984, pp.356-363.
4. Madvan, N. K., Deutsch, S., and Merkle, C. L., "Measurements of Local Skin Friction in a Microbubble Modified Turbulent Boundary Layer," Journal of Fluid Mechanics, Vol.156, 1985, pp.237-256.
5. Deutsch, S. and Castano, J., "Microbubble Skin Reduction on an Axisymmetric Body," Physics of Fluids, Vol.29, No. 11, 1986, pp.3590-3597.
6. H. Kato, M. Miyanaga, Y. Haramoto and M.M. Guin, "Frictional Drag Reduction by Injecting Bubbly Water into Turbulent Boundary Layer", Cavitation and Gas-Liquid Flow in Fluid Machinery and Devices, FED Vol.190, ASME 1994,
7. Kawakita, C. and Takeno, S., "Microbubble Skin Friction Reduction under the Influence of Pressure Gradient and Curved Surface", Journal of Naval Architecture of Japan, Vol.188, 2000, pp.11-21.
8. Latorre, R., and Babenko, V., "Role of Bubble Injection Technique

- Drag Reduction,” Proceeding of the International Symposium on Seawater Drag Reduction , ONR, Newport, Rhode Island, 1998., pp319-326.
9. Bogdevich, V. and Maltzev, L., “Optimization of the Distributed Gas Injection into a Turbulent Boundary Layer for the Drag Reduction,” Proceeding of the International Symposium on Seawater Drag Reduction , ONR, Newport, Rhode Island, 1998., pp319-326.
 10. Kodama, Y.,”Effect of Microbubble Distribution on Skin Friction Reduction,” Proceeding of the International Symposium on Seawater Drag Reduction , ONR, Newport, Rhode Island, 1998., pp319-326.
 11. Coughran, M.T., and Coder, D.W., “The Effect of Localized Air Emission on the Drag of a Slender Surface Craft,” DTRC/SHD-1340-01 Report, 1991.
 12. Watanabe O. and Shirose Y., “Measurement of Drag Reduction by Microbubbles” IHI Engineering Review, Vol.33, No.4, Oct. 2000.
 13. Yoshiaki Kodama, A. Kakugawa, T. Takahashi, S. Nagaya, and K. Sugiyama, “Microbubbles: Drag Reduction Mechanism and Applicability to Ships” Twenty-Fourth Symposium on Naval Hydrodynamics, Fukuoka, JAPAN, July, 2002.

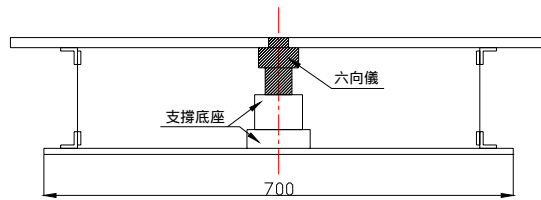


圖 1a：平板阻力量測架構圖



圖 1b：平板阻力量測實體圖



圖 1c：平板在上方的量測實體

Plate On Top

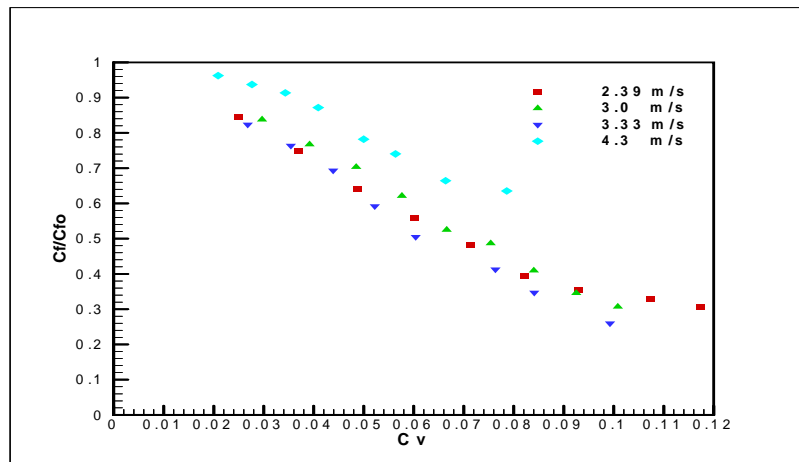


圖 2：平板在上方 $1 \mu m$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

Plate On Top

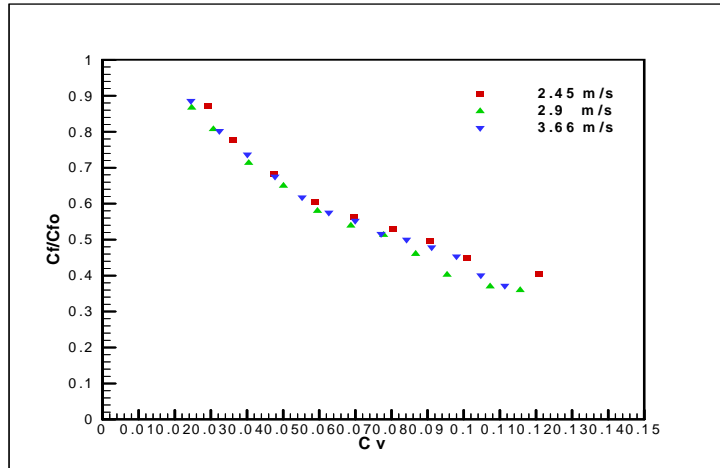


圖 3：平板在上方 $10\ \mu m$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

Plate On Top

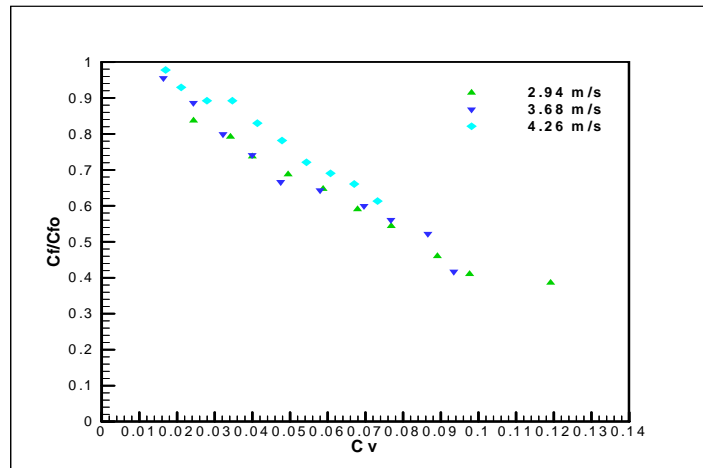


圖 4：平板在上方 $100\ \mu m$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

Plate On Side

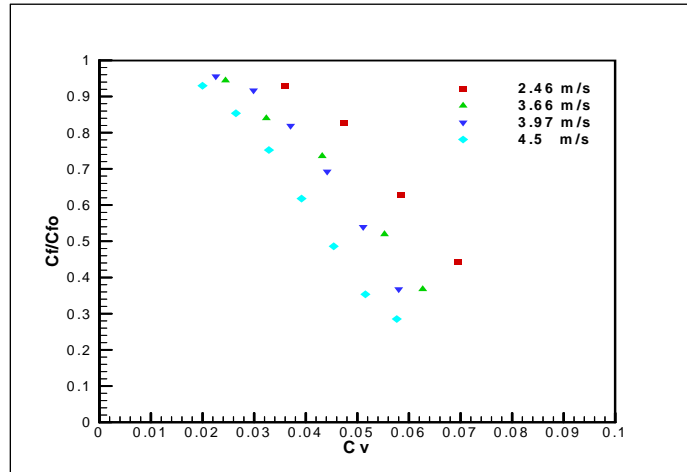


圖 5：平板在側面 $1 \mu m$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

Plate On Side

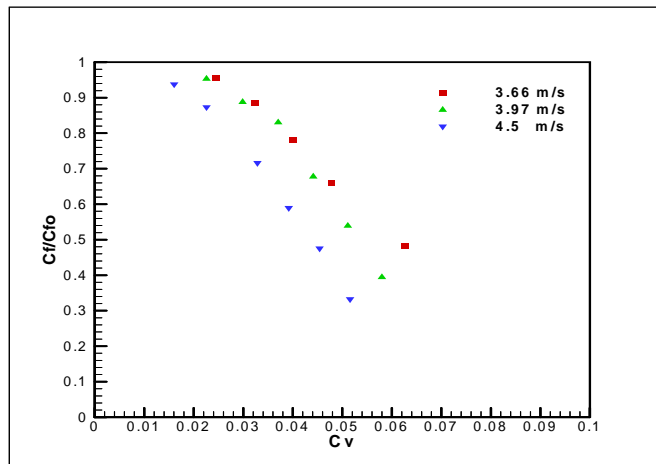


圖 6：平板在側面 $10 \mu m$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

Plate On Side

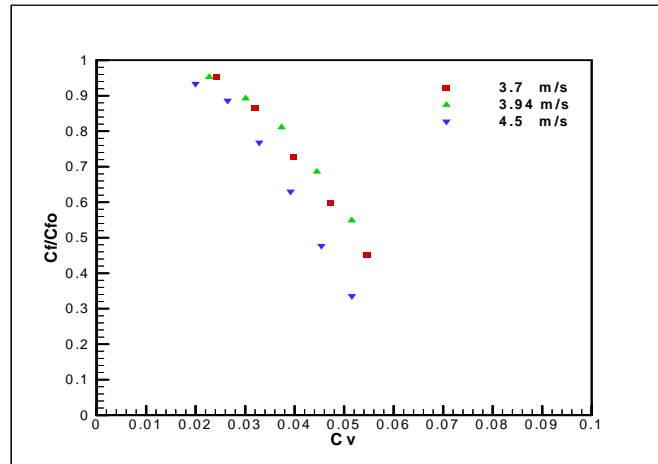


圖 7：平板在側面 $100 \mu m$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

Plate On Bottom

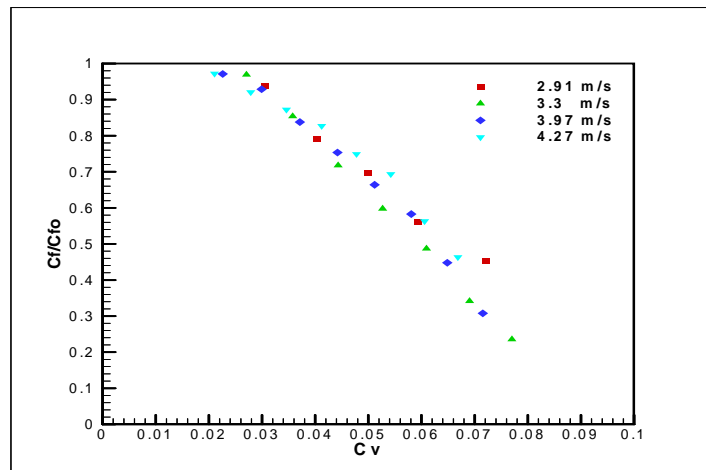


圖 8：平板在下方 $1 \mu m$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

Plate On Bottom

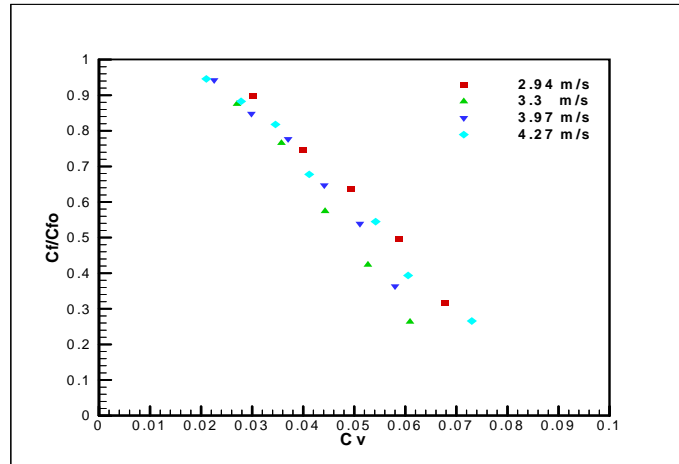


圖 9：平板在下方 $10\ \mu m$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

Plate On Bottom

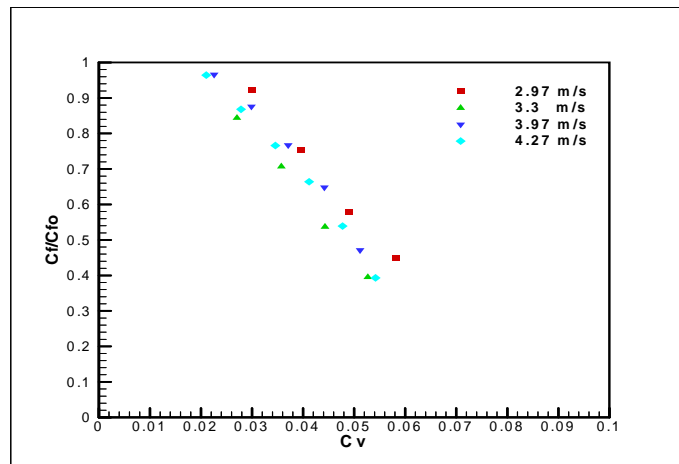


圖 10：平板在下方 $100\ \mu m$ 孔徑透氣材料平板阻力實驗結果

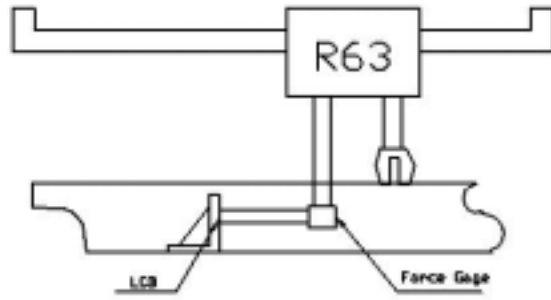


圖 11：水槽拖車阻力量測系統

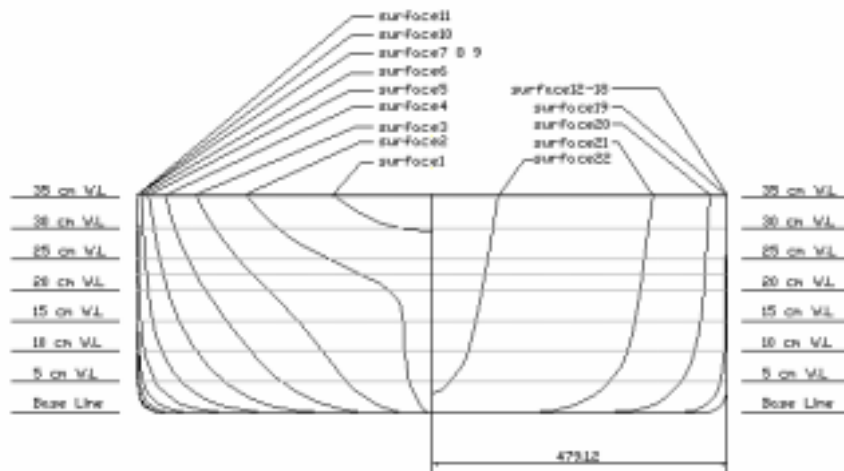


圖 12：HSVA 船模剖面圖

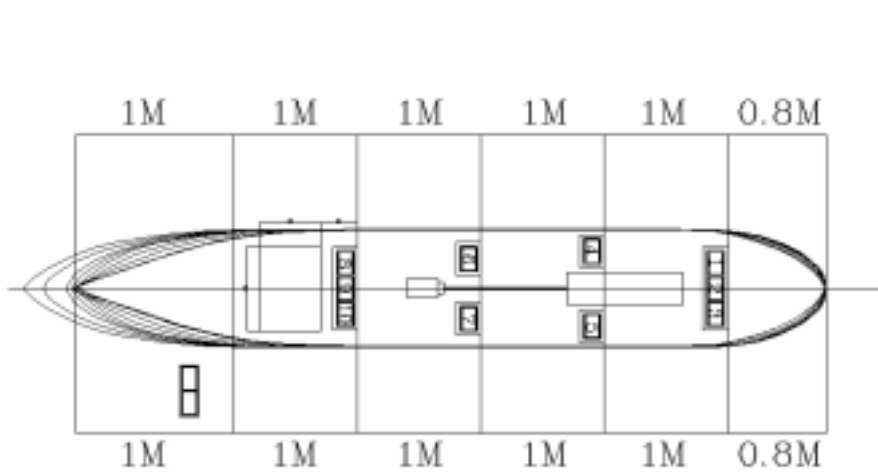


圖 13：HSVA 船模底部氣槽配置圖

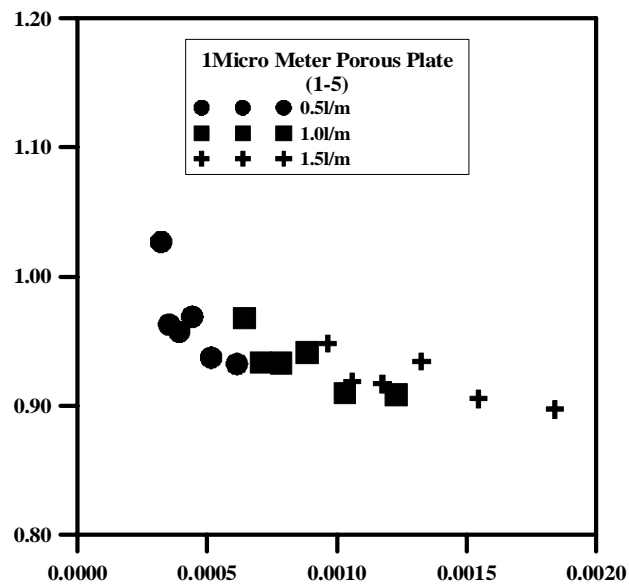


圖 14：位置(1-5)1 μ m 噴氣孔徑實驗結果

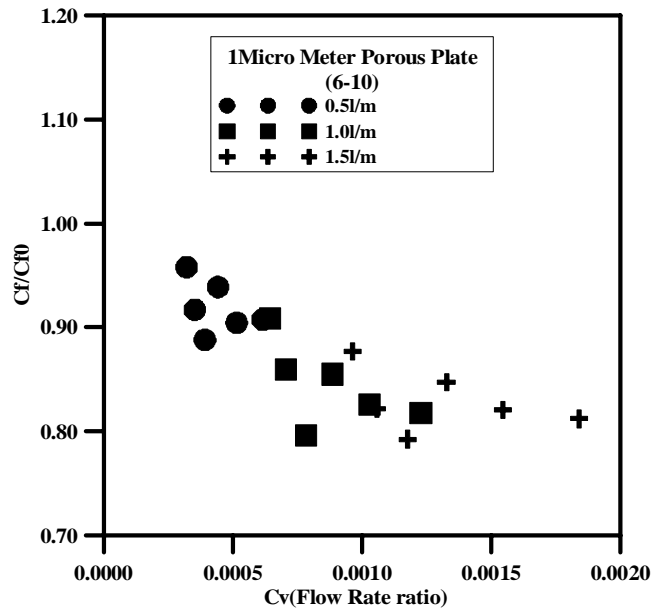


圖 15：位置(6-10)1 μm 噴氣孔徑實驗結果

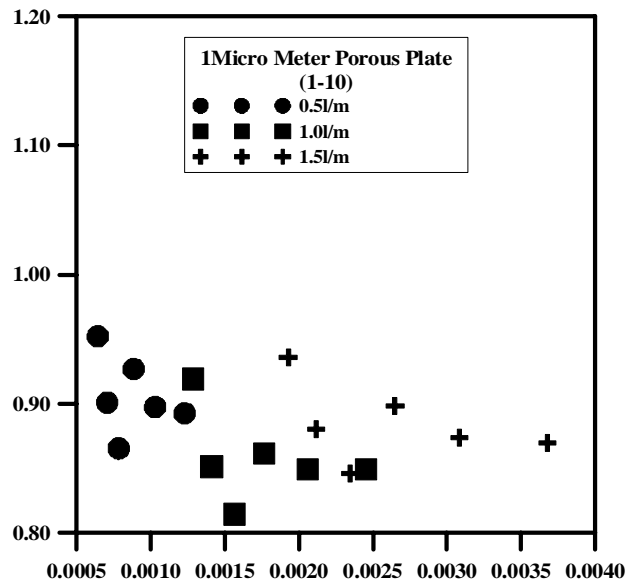


圖 16：位置(1-10)1 μm 噴氣孔徑實驗結果

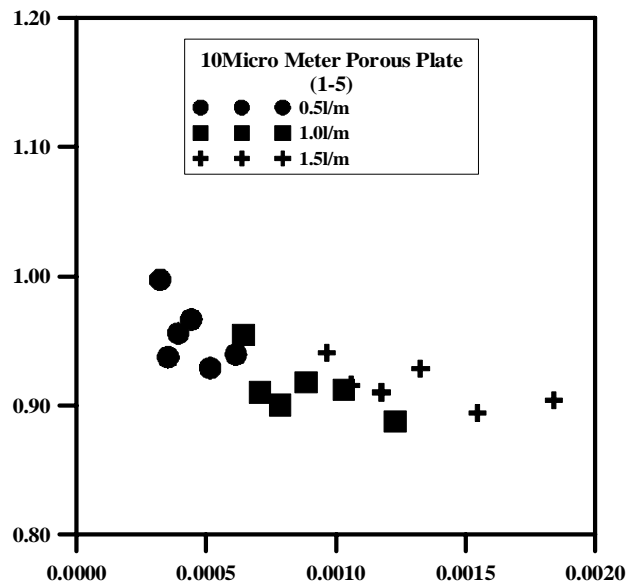


圖 17：位置(1-5)10 μ m噴氣孔徑實驗結果

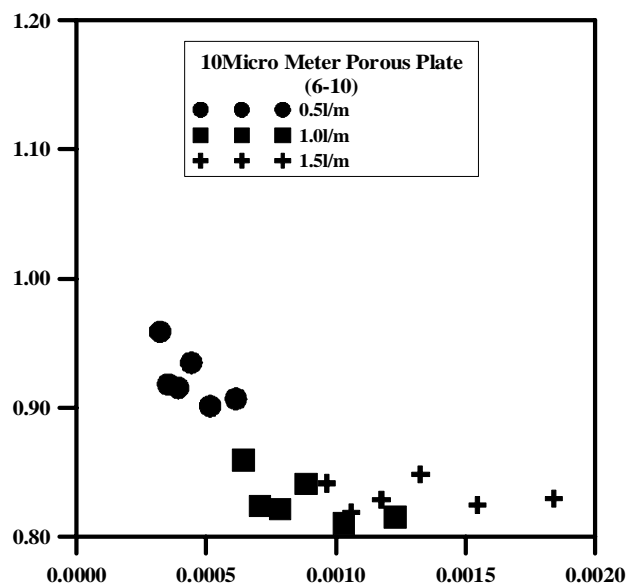


圖 18：位置(6-10)10 μ m噴氣孔徑實驗結果

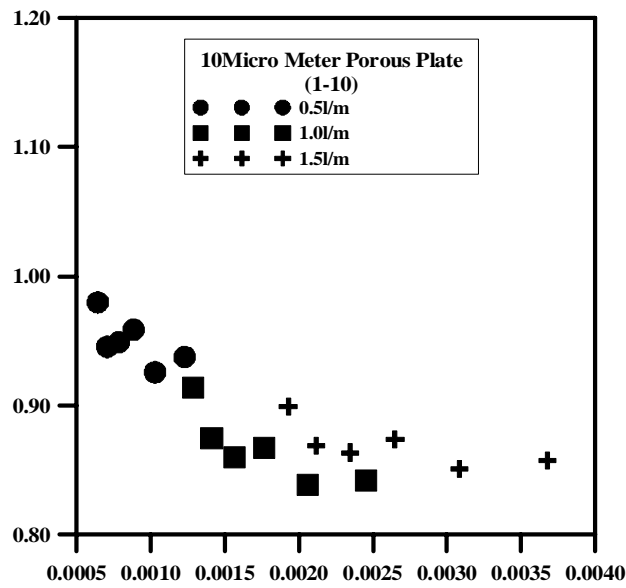


圖 19：位置(1-10)10 μm 噴氣孔徑實驗結果

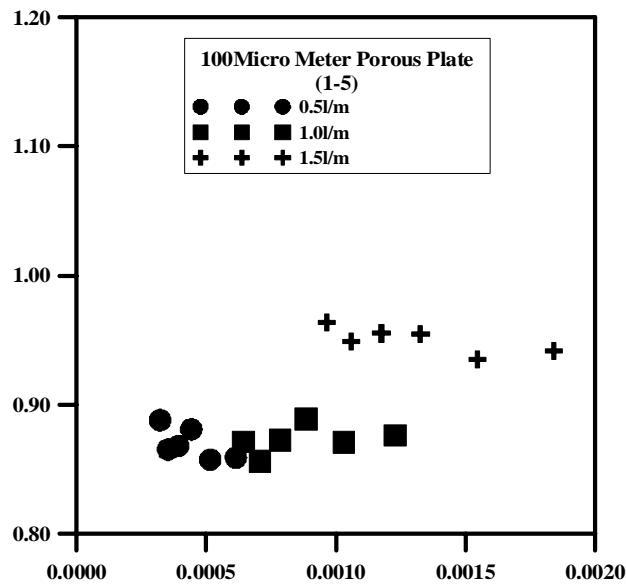


圖 20：位置(1-5)100 μm 噴氣孔徑實驗結果

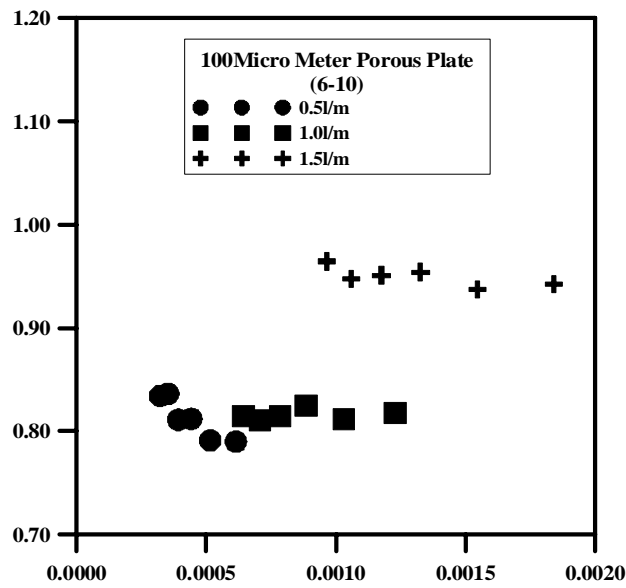


圖 21：位置(6-10)100 μm 噴氣孔徑實驗結果

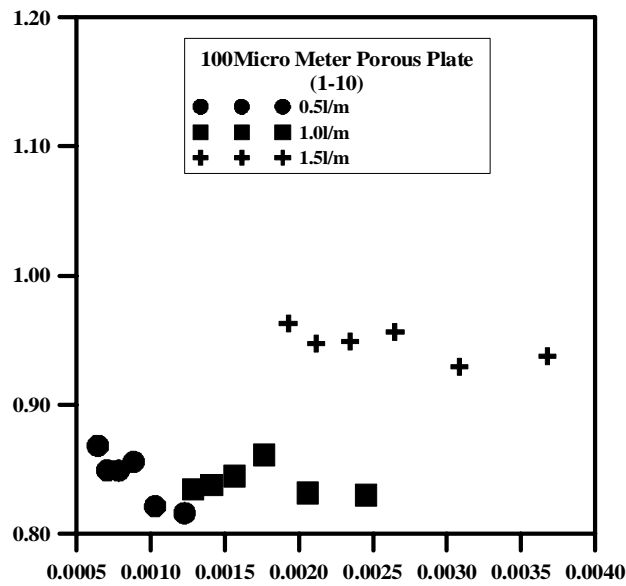


圖 22：位置(1-10)100 μm 噴氣孔徑實驗結果

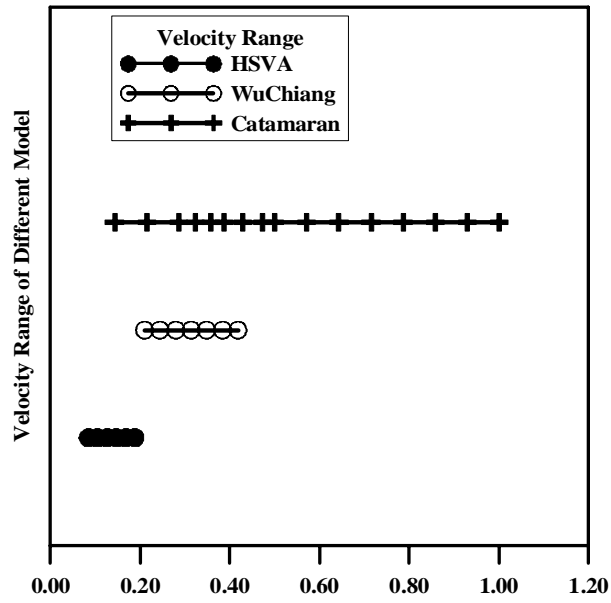


圖 23：低中高速船模實驗的福勞德數範圍

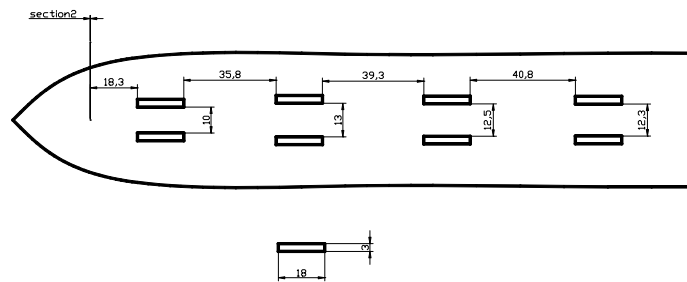


圖 24：浯江號船模底部氣槽配置圖



圖 25：高速雙體船船模底部氣槽配置圖

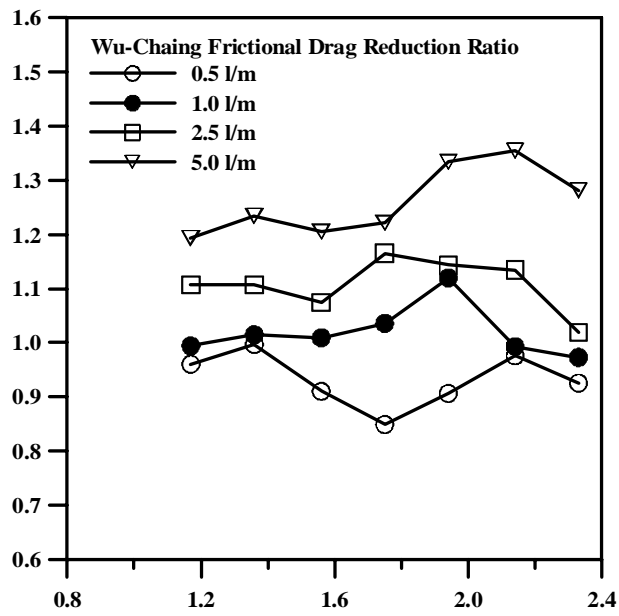


圖 26：浯江號的減阻效果實驗

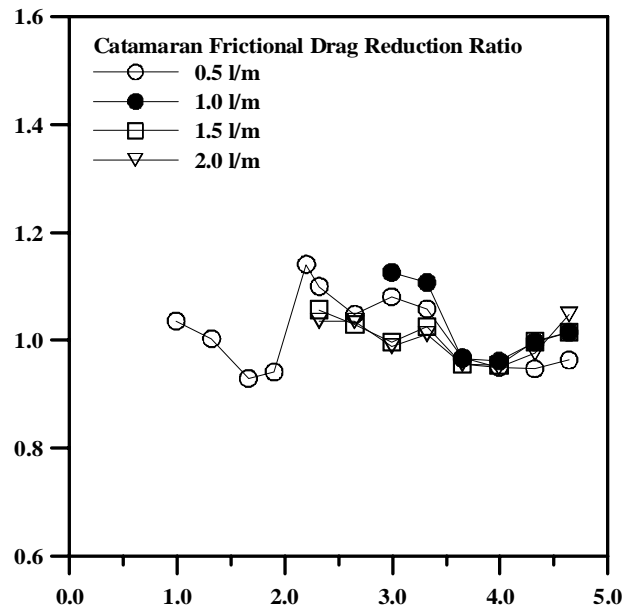


圖 27：雙體船減阻實驗結果

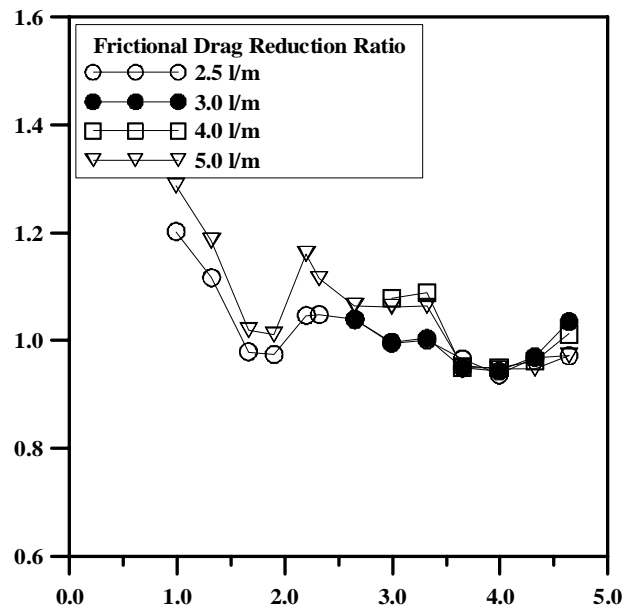


圖 28：雙體船減阻實驗結果

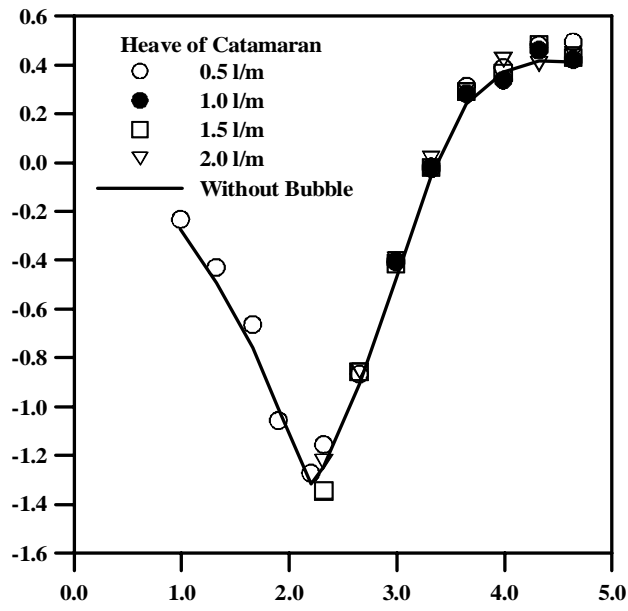


圖 29：雙體船減阻浮沉量比較

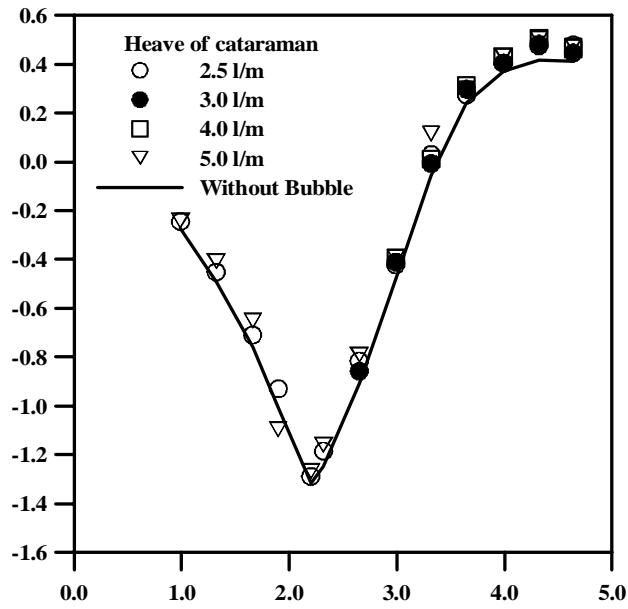


圖 30：雙體船減阻浮沉量比較

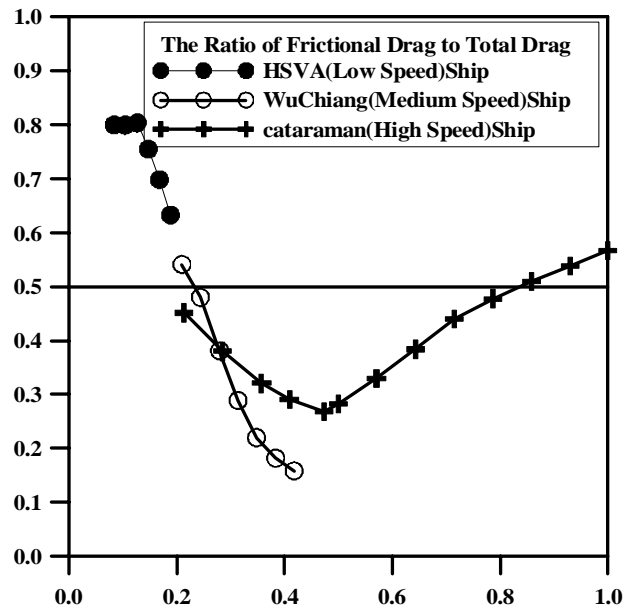


圖 31：三型船型的福勞德數範圍與摩擦阻力佔總阻力的比例