

行政院及所屬各機關出國報告書
(出國類別：其他)

4990 噸油輪一艘水槽船模試驗

服務機關：中國石油股份有限公司

出國人職稱：工程師

姓名：匡乃彰

出國地區：德國

出國期間：中華民國 90 年 02 月 04 日至 02 月 11 日

報告日期：中華民國 90 年 04 月 17 日

摘 要

CFD 技術，由於可以展現如阻力、流場分佈、渦流及壓力分佈，等等多樣性的計算結果，且相較於船模試驗，其所花費的金錢及時間可大量的減少，因此在造船工程領域上之運用日益重要，然而 CFD 計算結果之準確性及實用性，必須經由船模試驗及實船試航的資料來證實，實測資料愈完備，愈能檢驗 CFD 計算結果之準確性。

本公司目前採購之 4990 載重噸油品船船型，已進入設計階段，同時也進行一系列 CFD”非線性勢流”及”自由液面黏性流”之計算，為求確保其基本性能，於德國漢堡船模試驗水槽 HSVA 進行相關之試驗，以利資料之分析及驗證，並作為日後線型改進之參考。

目 錄

	頁數
本文摘要.....	2
一、緣起.....	4
二、試驗項目及時程.....	4
2.1 阻力試驗.....	5
2.2 自航試驗.....	7
2.3 艀部 3-D 跡流量測.....	7
2.4 船殼表面油墨試驗.....	8
三、主要尺寸.....	9
四、事前準備工作.....	10
4.1 CFD 線型擇優.....	10
4.2 船速與馬力預估.....	10
五、試驗結果與分析.....	13
5.1 船速與馬力分析.....	13
5.2 波型比較.....	13
5.3 油墨試驗.....	13
5.4 跡流量測.....	14
六、結論與建議.....	15

附 件

一、緣起

由於電子計算機運算速度快速發展，使得計算流體動力學 (CFD) 在造船工程領域上之運用日益重要，自九十年代起從近幾次國際船舶技術研討會的研討內容所佔的比率上，可以很明顯的看出 CFD 技術的發展及應用已成為船舶技術跨世紀之領導地位。

CFD 技術，由於可以展現如阻力、流場分佈、渦流及壓力分佈，等等多樣性的計算結果，且相較於船模試驗，其所花費的金錢及時間可大量的減少。於設計初期可以利用此工具研發優良船形以減少阻力，並避免因船艙不良之跡流分佈影響推進效率，及螺槳轉動時產生的振動。

當然 CFD 計算結果之準確性及實用性，必須經由船模試驗及實船試航的資料來證實，實測資料愈完備，愈能檢驗 CFD 計算結果之準確性。

本公司目前採購之 4990 載重噸油品船船型，已進入設計階段，同時也進行一系列 CFD ”非線性勢流”及”自由液面黏性流”之計算，為求確保其基本性能，決定於德國漢堡船模試驗水槽 HSVA 進行相關之試驗，以利資料之分析及驗證，並作為日後線型改進之參考。

二、試驗項目及時程

2001.02.05	Resistance test at design & trial condition
2001.02.06	Self-propulsion test at design & trial condition

2001.02.07	3-dimensional wake survey at design condition with speed 11 knots
2001.02.08	Flow line paint test at design condition with speed 11 knots
2001.02.09	Discussing

2.1 阻力試驗

阻力試驗的目的，在於求得本船於不同船速時，由於波浪、流體黏性與風阻等種種影響所產生之阻力。其分析方法為佛勞德氏於 1868 年所提出之二維比較律為基礎，分析如下：

$$C_{tm} = (C_{fm} + C_a) + C_{rm} \quad \text{則}$$

$$C_{rm} = C_{tm} - (C_{fm} + C_a)$$

$$\text{令 } C_{rs} = C_{rm} \quad \text{則}$$

$$C_{ts} = C_{fs} + C_{rs} + C_a$$

$$R_{\text{bare}} = 0.5 * w * V_s^2 * S * C_{ts}$$

$$R_{\text{air}} = 0.5 * a * V_a^2 * A_v * C_{aa}$$

$$R_{\text{app}} = 0.5 * w * V_s^2 * S * (C_{fs} + C_a) * d_{ft}$$

$$R_{\text{total}} = R_{\text{bare}} + R_{\text{air}} + R_{\text{app}}$$

$$EHP = R_{\text{total}} * V_{ts} / 75$$

其中：

C _{tm}	船模總阻力係數
C _{fm}	船模黏性阻力係數
C _{rm}	船模剩餘阻力係數
C _{ts}	實船總阻力係數
C _{fs}	實船黏性阻力係數
C _{rs}	實船剩餘阻力係數
D _{rt}	實船附加阻力係數
w	水密度
a	空氣密度
R.bare	裸船阻力
R.air	空氣阻力
R.app	附加阻力
R.total	總阻力
EHP	有效馬力

試驗裝置如圖 2.1, 其中 A 和 E 為兩根圓棒可上下升降, 其作用在使船無法左右移動但不影響船上下及前後作動, B 為砝碼重量, C 為刻度尺, D 為夾子, 可夾住船模, 使船模隨著拖車的速度而前進。夾子亦可放鬆, 使船模和拖車之等速連動關係分開。

作阻力試驗之前, 先預估不同船速下, 為克服阻力, 所需之砝碼重, 試驗時先以夾子(D)夾住船模, 拖船模以一定速度前進, 到達穩定狀況後將夾子放開, 祇以砝碼重(B), 拖著船模前進, 試著微調砝碼重量, 使得中心線剛好在刻度尺(C)之歸零位置, 亦即保持船模速度等於拖車速度, 則不

同船速的阻力，即為其相對的砝碼重。

2.2 自航試驗

就船舶推進性能而言，船體、螺槳及主機三者關係密切，必須整體配合及考量才可能達到性能上之最適化。要整體了解其間關係，必須透過自航試驗。自航試驗的目的在於解析船模於實船流力負荷下之推進因子 (Propulsion Factors)；亦即跡流、推減值及對轉效率。

試驗前先預估不同船速時，所需之螺槳轉速 rpm，及由於船模和實船黏性阻力之差異所產生的額外作用力 F_d 。試驗時(B)之砝碼重量即為 F_d ，馬達以事先預估之轉速轉動螺槳，並以夾子(D)夾住船模，拖船模以一定速度前進，到達穩定狀況態時，放鬆夾子，直接以螺槳之作動推船模前進，並微調螺槳轉速，以確保中心線剛好在刻度尺(C)之歸零位置，亦即船模速度等於拖車速度。此時記錄螺槳轉速，轉矩、及推力。

2.3 艤部 3-D 跡流量測

於設計吃水，船速 11.0 節時，量測船艤部於螺槳面附近之跡流分佈。均勻的跡流分佈，不但可增加推進效率，並可減少螺槳轉動時，由於跡流分佈不均勻產生之振動。其跡流分佈實測結果可與 CFD ”自由液面黏性流”之計算結果相比較，以驗證其準確性。

試驗裝置如圖 2.2，船艤裝一十字型木架，架上共有 5 個測流器，共可測 5 個不同螺槳半徑之入流速度，但 HSVA 之訊號器一次最多能接受 3 個測流器之訊息，故必需作 2 個

RUN 才能得到所要的完整的資料。試驗時放鬆夾子(D)以圓棒 A 及 E 卡住船模，拖船前進，到達穩定狀況時，十字木架以一次 10 度之角度旋轉，故取一圈 360 度，共要轉 36 次，本次試驗拖車約跑二次即可得到一個 RUN 的完整資料，故拖車總共必須跑 4 趟才能得到整個跡流量測所需的資料。

2.4 船殼表面油墨試驗

本試驗的目的在於瞭解於設計吃水狀況，船速 11.0 節時，沿船殼表面流線之流動方向及速度大小。

三、主要尺寸

	Design	Trial
Loa	90.000	90.000
Lbp	86.000	86.000
Lwl	88.000	88.000
Breadth	17.200	17.200
Draft(@fp)	5.800	2.147
Draft(@mid)	5.800	3.339
Draft(@ap)	5.800	4.530
Trim	0.000	2.383
Cb	0.794	0.743
Wetted surface	2110	
Projected area	200.0	245.0
MCR	3500 x 240	
NOR	2975 x 227	
Propeller Dia.	3.300	
Pitch ratio	0.659	
Area ratio	0.560	
Blade number	4	

四、事前準備工作

4.1 CFD 線型擇優

本案線型屬於肥大型慢速船，設計船速為 11.0 節，肥大型慢速船在船艙附近，常有一段平行中體。船艙形狀主要影響船之興波阻力，而船艙形狀之考量主要在於艙跡流之整順，避免產生不利的渦流，減少船體振動，並增加推進效率。

本案於作船模試驗前，以過去優良線型為依據，使用 Fast Ship 軟體繪製線型，並經由 CFD 技術分析、改良，先後分別產生 7 種不同之線型，其編號由 5kpcb1s1 到 5kpcb3s6，其中 5kpc 代表本船船名“4990 載重噸油品船”，b1 到 b3 代表不同的艙線型編號，s1 到 s6 代表不同的艙跡線型編號。設計吃水時不同線型作 CFD“非線性勢流”之計算結果比較，如表 4.1，最後採用 5kpcb3s6 線型於 HSVA 作船模試驗，其計算結果如圖 4.1 到圖 4.2，CFD“自由液面黏性流”之計算結果如圖 4.3，其縱剖面線型圖如圖 4.4。

4.2 船速與馬力預估

一般而言，線型在進行船模試驗之前，往往會先使用船模試驗標準系列資料，或者類似船試驗資料，預估阻力及推進效率。由標準系列或者類似船資料所預估的結果，和將來作船模試驗的結果比較，不但可以對標準系列預估之結果，如何修正到船模試驗結果，有更多的了解和把握，同時可以增進將來預估船速的能力，使設計者在設計初期階段，即能適當的評估其馬力與船速的關係。

本船設計吃水時之阻力預估，其一是以英國船舶研究學

會阻力系列，簡稱 BSRA 系列預估，BSRA 阻力系列係由方塊係數分別 0.65、0.70、0.75 及 0.80 之母船，系統化的變化出許多幾何相似船。而後由於新船型與球型艏發展，該協會更將本系列之試驗範圍延伸至方塊係數 0.55 到 0.85 之間，涵蓋之範圍甚廣。BSRA 系列之阻力係數表示方法以方塊係數、船長排水體積比、縱向浮心位置與速長比等參數表示，其適用範圍如下：

$$\begin{aligned}
 0.875 &> C_b > 0.525 \\
 6.800 &> L / \nabla^{1/3} > 4.200 \\
 4.000 &> B / T > 2.000 \\
 4 \%L_{bp} &> L_{cb} > -3\%L_{bp}
 \end{aligned}$$

BSRA 系列亦可同時求得船模跡流係數、推減係數及相對轉動效率，方法如下：

(1)跡流係數

$$W_T = 0.3745 C_B^2 + 0.1590 D_W - 0.8635 F_N + 1.4773 F_N^2 - 0.458 \quad (R = 0.940)$$

式中 $D_W = B / \nabla^{1/3} \cdot (\nabla^{1/3} / D)^{1/2}$ ，為跡流係數參數， F_N 為佛勞數， D 為螺槳直徑。

(2)推減係數

$$\begin{aligned}
 t &= 0.324 C^2 - 2.1504 C_B LCB / LBP + 0.1705 B / \nabla^{1/3} + 0.1504 P / D - 0.2064 \quad (R = 0.784) \quad \text{或} \\
 t &= 1.6837 C_B + 1.4935 C_B^2 - 1.6625 LCB / P + 0.6688 D t + 0.5352 \quad (R = 0.732)
 \end{aligned}$$

式中 P / D 為螺槳之螺距比

Dt , $B / \nabla^{1/3}$, $D / \nabla^{1/3}$ 為推減係數參數

(3)相對轉動效率

$$\eta_R = 0.1338C_B + 1.5188D / LBP + 0.1240 P / D - 0.1152A_D / A_O + 0.8372 \quad (R = 0.781) \quad \text{或}$$

$$\eta_R = 0.8443C_B - 0.5054C_B^2 + 1.1511D / LBP + 0.4718D / \nabla^{1/3} + 0.5524 \quad (R = 0.757)$$

BSRA 系列可分別使用二維佛勞德氏外插法或三維休斯外插法，依照美國船槽會議(ATTC 1947)、或國際船槽會議(ITTC 1957)所建議之平板摩擦阻力係數公式，並配合適當之船模及實船之相關係數，即可求得實船之總阻力係數。

本船螺槳效率的預估，採用 MAU 系列之螺槳效率，船速與馬力的計算果，於設計吃水主機正常出力(2975 匹馬力)並考慮 15% 航海餘裕 2587 匹馬力，以 ITTC-2D 二維法分析時，船速可達約 11.4 節，以 ITTC-2D 三維法分析時，船速可達約 11.5 節，依照以往經驗當 L/B 太小或 B/T 太大時，容易產生較嚴重之渦流，此時以 BSRA 系列法預估阻力，常會過份樂觀。

同時本船亦利用類似船之試車報告預估本船之船速與馬力，此二艘類似船及本船在設計吃水狀況下船型係數比較如下：

	L / B	B / T	Cb
鴻 O 輪	4.834	3.182	0.814
新 O 輪	4.817	3.182	0.811
本船	5.000	2.966	0.794

船速與馬力的計算果如圖 4.5。於圖中可知，設計吃水主機正常出力(2975 匹馬力)並考慮 15% 航海餘裕 2587 匹馬

力，船速可達約 11.02 節

因而預估本船之船速，於設計吃水主機正常出力(2975 匹馬力)並考慮 15% 航海餘裕 2587 匹馬力時，船速約可達 11.0 節。

五、試驗結果與分析

5.1 船速與馬力分析

本次在 HSV A 作船模試驗之結果，於設計吃水，主機正常出力並考慮 15% 航海餘裕，馬力 2587 匹時，船速於傳達效率 0.99，浦氏級風 0 級，可達 12.45 節；於試航吃水，主機最大出力 3500 匹馬力，浦氏級風 3 級時，可達 11.95 節。

船模試驗結果，尤其是設計吃水時之試驗結果，顯然比原先預估好很多，應屬於剩餘阻力較低之船型。

5.2 波型比較

以 CFD “非線性勢流” 計算設計吃水船況，沿船殼表面波型如圖 4.1(b3s6)，水流在船艏 F.P 前產生一高波峰，接著往下流竄，在 sta 8 1/2 位置附近形成一個最低波谷，然後在 sta 6 稍後位置激起另一個波峰；船艉波谷則約發生在 sta 13/4 位置處。船模試驗結果，船模試驗結果和 CFD 之計算幾乎吻合。

5.3 油墨試驗

CFD “自由液面黏性流” 計算，船殼表面之流場如圖 4.3，靠近螺槳上緣之水流較無法流入螺槳面，依據以往的經驗，這似乎是肥大型船共通的現象。由於 CFD 作“自由液

面黏性流”計算時，並未考慮螺槳的存在，但作油墨試驗時，由於裝有螺槳，螺槳轉動時會吸入流經船艙之流体，並有整順水流的作用，致使試驗的結果常優於 CFD 計算結果。

5.4 跡流量測

船模試驗結果螺槳面之軸向流速分佈，如附件，最低流速約發生在 160 度到 200 度之間，此時軸向入流速度對船速之比值 V_x/V_m 約在 0.18 左右，就一般低 L/B 或高 B/T 之小船而言，本船船艙跡流分佈情形，已達不錯之水準，對於設計一個少震動、高效率的螺槳，並無問題。

六、結論與建議

- 本次船模試驗，不管設計吃水或試航吃水，其試驗結果均比預估
值好，已達一般優良水準，符合本公司規範之要求。
- 靠近螺槳上緣之流場，水流較難流入螺槳面，這似乎是肥大型船
共通的現象。
- 以 CFD “非線性勢流” 計算船殼表面之波型和試驗結果非常符
合。
- 螺槳面附近之跡流分佈與 CFD “自由液面黏性流” 之計算結
果，定量上仍有一些差異。

附 件

圖 2.1 圖 2.2 圖 4.1 圖 4.2 圖 4.3 圖 4.4 圖 4.5 表 4.1