

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

水噴推進系統之研究

計畫編號：NSC 88-2611-E-002-013

執行期限：87 年 8 月 1 日至 88 年 7 月 31 日

主持人：蔡進發 台灣大學造船及海洋工程學系

一、摘要

本研究首先由噴水推進系統的推進效率預估模式規劃水噴推進系統的自推實驗系統，及發展一由模型實驗結果預估實體推進效率的預估模式。並根據規劃建構水噴推進系統的模型自推系統，並完成一快艇的水噴推進系統的自推實驗及完成實體的推力及所需流量預估。

關鍵詞：水噴推進、自推實驗

ABSTRACT

The self-propulsion model test system of waterjet propulsion was set up based on the performance analysis model. The full scale performance prediction from the model test results was also proposed in this study. A high speed craft model was constructed to set up the self-propulsion test system and the self propulsion test was conducted in the towing tank. The performance of full scale ship was predicted from the test results. The predicted results showed good agreement with the results of HSVA.

Keyword: Waterjet Propulsion, Self Propulsion Test

二、前言

噴水推進系統(Waterjet Propulsion System)的自推實驗(Self-Propulsion Test)在目前並不是一發展完善而被廣為採用的實驗程序，其主要的原因有兩個：(1)是一般採用水噴推進系統的船舶均是高速船舶，其弗勞德數(Froude Number)均是較高的值，而模型實驗均需滿足弗勞德律(Froude Law)，也就是模型與實體的弗勞德數必需相等，但是一般的船模實驗室受限於其水槽拖車的最高速限而使得必需採用較大的實體模型的幾何比例，因而增加了尺度效應(Scale Effect)，影響由模型實驗結果預估實體性能的精度。(2)水噴推進系統的水噴推進器一般由製造廠商連同引水道與引擎一起銷售，一般的實驗室無法取得其詳細的幾何資料以製作模型，因此進行水噴推進實驗的推進器與引水道的模型與實體所採用的推進器與引水道並不相同，由此因素再加上尺度效應過大，目前進行水噴推進系統的自推實驗的目的並不在於由實驗結果預估其推進效率，而是由實驗結果預估實體所需的推力，然後再預估其流量，並由此資料做為選用噴水推進器的依據。

有關水噴推進系統的自推實驗在 1980 美國拖曳水槽會議(ATTC)即訂定噴水推進系統的實驗程序[Etter et al., 1980]，1987 年國際拖曳水槽會議(ITTC, 1987)也訂定噴水推進系統的實驗程序，此兩大會議所訂定的

實驗程序過於嚴苛，其必需進行各個基本元件的實驗包含有：泵浦、噴嘴、引水道、擴散器(Diffusor)如圖 1 所示，及其整體組合的自推實驗，然而並不是各個元件的實驗結果組合即是整體自推實驗的結果，同時其實驗結果由於尺度效應的因素仍無法用以預估實體的整體效率。而一般的商業水槽則以實體推力的預估為出發點進行整體組合的自推實驗，如瑞典的 [SSPA, 1994] 或德國的 [HSVA, 1998] 進行整體組合完成後的自推實驗，SSPA 量測馬達輸出馬力僅用以計算模型效率；HSVA 則完全不量測馬力，實體馬力的預估則由所採用的推進泵浦的效率與自推實驗所量測的參數來預估。

本研究首先由已發展的水噴推進系統的效率分析模式發展自推實驗的架構，並依此建立一水噴推進系統的自推實驗系統，並完成一快艇的自推實驗及完成其實體的性能預估。

三、水噴推進系統效率預估模式

在進行自推實驗時可以量測引水道入口處的流速分佈，所量測的速度分佈用來嵌合所假定的邊界層流速分佈：

$$V(y) = V_{in} \left(\frac{y}{d} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

入口流量 Q 為：

$$Q = \int_0^{\sqrt{H_{in}^2 + B_1^2/4}h} \int_0^{\sqrt{H_{in}^2 + B_1^2/4}h} V_{in} \left(\frac{y}{d} \right)^{\frac{1}{n}} dy dx \quad (2)$$

入口處的動量為：

$$M_{in} = 2r \int_0^{\sqrt{H_{in}^2 + B_1^2/4}h} \int_0^{\sqrt{H_{in}^2 + B_1^2/4}h} V_1^2 \left(\frac{y}{d} \right)^{\frac{2}{n}} dA + (P_{in})A_{in} \quad (3)$$

假定噴流出口的流速分佈為均勻分佈，所以：

$$V_{jet} = \frac{Q}{A_{jet}} \quad (4)$$

$$M_{jet} = rQV_{jet} \quad (5)$$

$$E_{jet} = \frac{1}{2} rQV_{jet}^2 \quad (6)$$

入口的動量速度定義為：

$$V_{Min} = \frac{M_{in}}{rQ} \quad (7)$$

則推力為：

$$T = M_{jet} - M_{in} = rQ(V_{jet} - V_{Min}) \quad (8)$$

引水道入口動能的計算如下式：

$$E_{in} = \int_0^{\sqrt{H_{in}^2 + B_1^2/4}h} \int_0^{\sqrt{H_{in}^2 + B_1^2/4}h} \frac{1}{2} r V_1^3 dA + P_{in}Q \quad (9)$$

平均動能速度定義為：

$$V_{E1}^2 = \frac{E_1}{\frac{1}{2} rQ} \quad (10)$$

假定流體由推進器至噴嘴的出口間的損失

表示為出口動能的比例，即：

$$P_d = \frac{DE}{h_p \sum h_r} \quad (17)$$

$$L_N = x_N \frac{1}{2} r Q V_{jet}^2 \quad (11)$$

$$h_d = \frac{R_t \sum V_s}{P_d} = \frac{R_t}{T} \sum \frac{T \sum V_s}{P_d} \quad (18)$$

假定流體由引水道入口至推進器前的入口損失表示為入口動能的比例，即：

$$h_d = h_p \sum h_r \sum \frac{R_t}{T} \sum \frac{r Q (V_{jet} - V_{M1}) V_s}{r Q g H_p} \quad (19)$$

$$L_{in} = x_{in} \frac{1}{2} r Q V_{E1}^2 \quad (12)$$

$$h_d = h_p \sum h_r \sum \frac{R_t}{T} \sum \left[\frac{2(V_{jet} - V_{M1}) V_s}{(1 + x_N) V_{jet}^2 - (1 - x_{in}) V_{E1}^2 + 2gh_j} \right] \quad (20)$$

則推進器之前的動能為：

$$(1 - x_{in}) \frac{1}{2} r Q V_{E1}^2 \quad (13)$$

若定義：

則推進器之後的動能為：

$$(1 + x_N) \frac{1}{2} r Q V_{jet}^2 \quad (14)$$

$$\overline{V_{in}} = \frac{Q}{A_{in}} = \frac{Q}{\frac{p}{2} H_{in} \sqrt{H_{in}^2 + \frac{B_1^2}{4}}} \quad (21)$$

則推進器所做的功為：

$$DE = r Q g H_p = r Q \left[(1 + x_N) \frac{1}{2} V_{jet}^2 - (1 - x_{in}) \frac{1}{2} V_{E1}^2 + gh_j \right] \quad (15)$$

$$1 - w = \frac{\overline{V_{in}}}{V_s} \quad (22)$$

$$H_p = \left[(1 + x_N) \frac{1}{2g} V_{jet}^2 - (1 - x_{in}) \frac{1}{2g} V_{E1}^2 + h_j \right] \quad (16)$$

$$1 - t = \frac{R_t}{T} \quad (23)$$

假定推進器的效率為 h_p 則所需的輸出馬力為：

$$h_d = h_p \sum h_r \sum \frac{1 - t}{1 - w} \sum \left[\frac{2(V_{jet} - V_{M1}) \overline{V_{in}}}{(1 + x_N) V_{jet}^2 - (1 - x_{in}) V_{E1}^2 + 2gh_j} \right] \quad (24)$$

$$h_d = h_p \sum h_r \sum h_{duct} \sum \frac{1-t}{1-w} \sum \left[\frac{2(V_{jet} - V_{M1})\bar{V}_{in}}{V_{jet}^2 - V_{E1}^2 + 2gh_j} \right] \quad (25)$$

$$h_{duct} = \frac{V_{jet}^2 - V_{E1}^2 + 2gh_j}{V_{jet}^2 - V_{E1}^2 + x_N V_{jet}^2 + x_{in} V_{E1}^2 + 2gh_j} \quad (26)$$

若定義：

$$h_h = \frac{1-t}{1-w} \quad (27)$$

$$h_{jet} = \left[\frac{2(V_{jet} - V_{M1})\bar{V}_{in}}{V_{jet}^2 - V_{E1}^2 + 2gh_j} \right] \quad (28)$$

$$h_d = h_p \sum h_r \sum h_{duct} \sum h_h \sum h_{jet} \quad (29)$$

噴嘴與引水道入口的損失係數可用下式計算：

$$x_N = \frac{P_{ia} - P_{jet} + \frac{1}{2} r (V_{ia}^2 - V_{jet}^2)}{\frac{1}{2} r V_{jet}^2} \quad (30)$$

$$x_{in} = \frac{P_{in} - P_{if} + \frac{1}{2} r (V_{E1}^2 - V_{if}^2) - rgh_j}{\frac{1}{2} r V_{E1}^2} \quad (31)$$

四、自推實驗

由上一節的效率公式中發現若進行自推實驗時能量測水噴系統的流量及入口的流速分佈，即可計算水噴系統所提供的推力。在模型上引水道的直徑僅有 4 公分，在實務上無法由模型效率或所量測的損失來預估實體的效率或損失，因此在進行自推實驗時僅量測其在該速度下的流量、入口的流速、及船體遭受的阻力與推力的和力，同時也量測船體的俯仰角及浮心位置的下沉量，整體自推系統如圖 2 所示。

進行自推實驗的主要目的是要預估實體的推進性能，利用模型進行自推實驗時由於模型的阻力係數較實體高，因此當模型在自航點即模型水噴推進器推力可以克服阻力而以定速前進時其負荷會比實體水噴推進器的負荷高。但是進行自推實驗的基本條件是模型的負荷要等於實體的負荷：

$$(C_{th})_m = (C_{th})_s \quad (32)$$

亦即：

$$\frac{T_m}{r_m V_{im}^2 D_m^2} = \frac{T_s}{r_s V_{is}^2 D_s^2} \quad (33)$$

為了滿足推力負荷相等的條件在進行自推實驗時要扣掉實體潛體與模型潛體間的阻力差值 R_a ：

$$R_a = \frac{1}{2} r_m V_m^2 S_m (C_{tm} - C_{ts}) \quad (34)$$

進行自推實驗時，是在某一船模速度下調整噴流量以求得船模的自航點，其實驗進行的過程和一般使用螺槳推進器的船模並沒有兩樣。由實驗結果求得在每一船模速度下噴水推進器的流量及其入口流速，即可計算其

所產生的推力 T_m ，如此即可預估實體的推力為：

$$T_s = \frac{r_s}{r_m} l^3 T_m \quad (35)$$

然後再由假設的邊界層流速分佈計算實體水噴推進器所需的流量 Q_s ，噴嘴及入口損失則採用經驗公式預估，則由式(15)、(16)可計算出實體水噴推進器需要的水頭 H_{ps} ，如此即可使用此些資料來進行噴水推進器的設計或挑選，然後估算整體效率。圖 3 為水噴推進器的推力預估結果。

五、結論

本研究完成水噴推進器由水噴推進器的性能預估公式規劃水噴推進系統的自推實驗系統，並完成一快艇的自推實驗及其實體的推力預估，由研究結果發現水噴推進系統的自推實驗在實驗室中受限於模型的水噴推進器尺寸過小，造成尺度效應太大，甚至幾何相似都無法滿足，因此無法由模型的損失來預估實體的損失，而目前均使用經驗公式或水噴推進器廠商所提供的資料來預估實體的效率，此造成水噴推進器在設計階段無法掌握其推進效率預估的正確性及精度。

由於損失主要是水噴推進器引水道所產生，因此要解決上述的問題需要配合經過實驗驗證過的可靠的黏性流場計算來估算不同幾何的引水道的損失，則水噴推進系統的自推實驗才能有較可靠的預估結果。

六、參考文獻

- Etter, R.J. and Krishnamoorthy, V. et al, "Model Testing of Waterjet Propelled Craft," 19th ATTC, 1980, pp.783-806
- ITTC, "Waterjet Test Procedures," Report of the High Speed Marine Vehicle Committee, Task 5, 1987, pp.304-313
- HSVA, "Model Tests for a High Performance Semi-Planning Vessel with Waterjets," HSVA report WP92/97, 1997.
- Gilbert, D. and Per Lindell, "Waterjet Testing in the SSPA Towing Tank", RINA, "Waterjet Propulsion Latest Developments," RINA., 1994
- ITTC, "Workshop on Waterjets," 20th ITTC, 1993

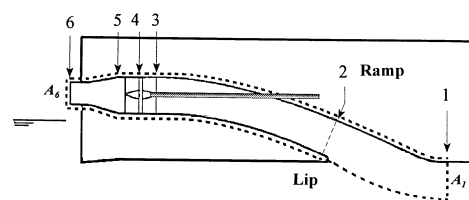


圖 1：噴水推進系統示意圖

