

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫期中報告

## 潛艦運動之數學模式及拘束模型試驗分析(2/3)

### Mathematical Model for Submarine Maneuvering Motions and Captive Model Tests (2/3)

計畫編號: NSC92-2611-E-002-015

執行期限: 92年8月1日至93年7月31日

主 持 人: 邱逢琛 台灣大學工程科學及海洋工程學系

共 同 主持人: 郭振華 台灣大學工程科學及海洋工程學系

計畫參與人員: 林守義 台灣大學工程科學及海洋工程學系

張佑鴻 台灣大學工程科學及海洋工程學系

## 一、中文摘要

本子計畫第二期主要工作目標在於進行潛艦拘束模型試驗以量測流體動力係數，而其主要工作內容則在於螺槳驅動系統改裝及螺槳有、無作動下之流體動力係數量測分析。現階段，已完成前、中段 FRP 外殼，以及包含前、中、艉三段及附件介面在內的整體機架，以及包含馬達、減速齒輪組、傳動機構在內的驅動裝置與螺槳，只待後續完成艉段 FRP 外殼，即大致完成拘束模型，而可進行後續 PMM 試驗之組裝、校正及系列流體動力係數量測分析的拘束模型試驗。

**關鍵詞:** 潛艦、數學模式、拘束模型、模型試驗。

### Abstract

In the 2nd year, this sub-project is aimed to carry out the captive model tests for determining the hydrodynamic coefficients of a submarine. The main task includes development of a captive model, and completion of a series of captive model tests for measuring the hydrodynamic coefficients under the conditions with/without propeller action as well as with/without the effects of control surfaces or sail.

At the moment, the captive model has been almost completed except the FRP fairing of the stern section. Besides, the

actuating apparatus of propeller has also been installed.

**Keywords:** Submarine、 Mathematic model、 Captive model、 Model Test.

## 二、前言

『潛艦關鍵性技術之基礎研究』整合型計畫的第三分項—操縱控制技術，包含本子計畫(3-1)及另一子計畫 3-2:利用自航模型的潛艦系統鑑定。『操縱控制技術』分項計畫之目標在於建立潛艦操控運動之數值模擬及試驗分析能力。亦即研發出能精確掌握包含帆罩、艏艉翼、舵且螺槳作動下的潛艦操縱性能理論分析方法，及建立運動操縱控制器設計方法，並實際建構自航模型進行試驗驗證，期以建立潛艦操縱、控制與模擬相關的設計與解析能力。其中，本子計畫的目標在於建立包含帆罩、艏艉翼，舵且螺槳作動下的潛艦操縱運動之數學模式，及其相關流體動力係數之拘束模型驗分析方法，以掌握潛艦操控性能。此外並可與序號 2-1 子計畫潛艦之自推數值模擬及 CFD 流體動力計算互為驗證，以及與 3-2 子計畫之潛艦自航模型系統鑑定互為驗證。

本子計畫第二期主要工作內容有：

- (1) 螺槳驅動系統改裝及螺槳模型製作，將現有對轉螺槳驅動裝置配合潛艦螺槳模型做適當改裝，以適用於潛艦推進。(2)

潛艦拘束模型組裝與拘束模型試驗量測分析系統校正，將模型內部機架、六向動力計、模型 FRP 外殼(含帆罩及前後控制翼)、螺槳驅動裝置、螺槳模型組裝並與 PMM 試驗量測分析系統結合後進行系統校正。(3) 進行系列拘束模型試驗分析流體動力係數，分別在螺槳有、無作動之狀態下，進行流體動力係數量測分析。(4) 相關流體動力係數估算值以及數學模式之比較驗證

### 三、潛艦拘束試驗模型規劃與製作

本研究考慮螺槳及艏艉翼角等驅動裝置之配置，拘束模型須具備承載該等裝置的足夠強度，因此採用內部機架外附 FRP 外殼的方式，且艏艉翼、舵及帆罩等皆為可拆裝之附件，以便試驗量測其效應。

#### 3.1 潛艦模型機架與 FRP 外殼製作

模型機架整體，包含艉段部分已完成如圖一所示，而前、中段 FRP 外殼以及帆罩積層亦皆已完成，分別如圖二、圖三所示。圖一所示中段突起的支架是用來固定帆罩的介面。



圖一 模型機架整體，包含艉段部分



圖二 前、中段 FRP 外殼積層



圖三 帆罩積層

#### 3.2 螺槳驅動系統設計與製作

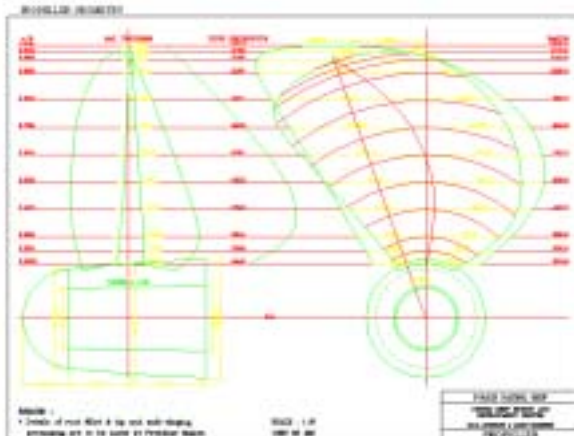
本研究採用的螺槳模型為表一所示螺槳主要尺寸的 1/16 模型，直徑為 25.00 公分。

表一 螺槳主要尺寸

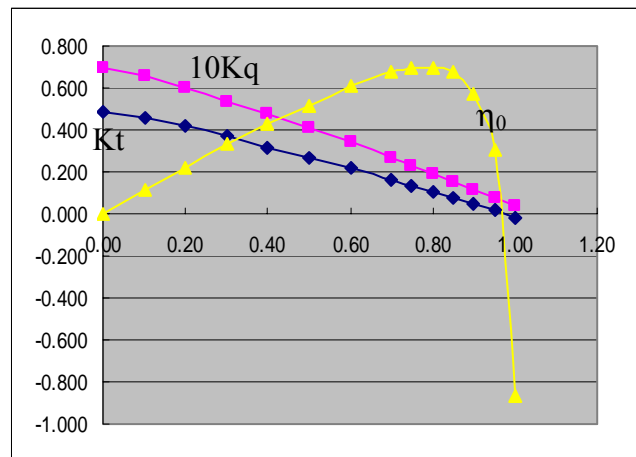
PROPELLER PARTICULARS		
DIAMETER (MM)		4,000
PITCH (MM)		3,651
PITCH RATIO (MEAN)		0.9128
AREA	DISK	12.566
	EXPANDED	9.576
	PROJECTED	8.216

AREA RATIO	EXPANDED	0.7620
	PROJECTED	0.6538
	PROJECTED/ EXPANDED	0.8580
BOSS RATIO		0.1625
RAKE ANGLE (Deg.)		0.0
NUMBER OF BLADE		5
DIRECTION OF TURNING (LOOKING TO FORWARD)		RIGHT HANDED
WEIGHT (KG)		4996.6
MOMENT OF INERTIA IN AIR (KG.CM.SEC <sup>2</sup> )		39735.9
MATERIAL		NI-AL -BRONE
TYPE OF SECTION		MAU-M
CALSS		D.N.V.
STANDARD		ISO 484/1 CALSS 1
KEY TYPE		KEYLESS

螺槳幾何如圖四所示，螺槳單獨性能則如圖五所示。



圖四 螺槳幾何



圖五 螺槳單獨性能

### 3.3 1/15 潛艦模型之螺槳模型驅動馬力與轉速估算

#### 3.3.1 模型總阻力估計

依據序號 2-1 子計畫，潛艦之自推數值模擬及 CFD 流體動力計算結果：

4.0m 長的模型於船速 1m/sec 時( $Re=4.0 \times 10^6$ )，船模總阻力係數  $C_{tm}=4.9 \times 10^{-3}$   
 $S_m=S_s/15^2=1295.45/15^2=5.758 \text{ m}^2$ ， $S_s$ ：實艇浸水表面積， $S_m$ ：模型浸水表面積  
 由  $R_m=1/2 \times \rho \times V_m^2 \times S_m \times C_{tm}$  計算得船模速度與阻力關係如表二所示：（水的密度  $\rho$  取  $102.04 \text{ kgf sec}^2/\text{m}^4$ ）

表二 船模速度與阻力關係

$V_m$ (m/s)	1.0	2.0	3.0	3.5	4.0
$R_m$ (kgf)	1.44	5.76	12.96	17.63	23.03

#### 3.3.2 模型跡流係數(wake fraction; $w_m$ )與推減係數(thrust deduction fraction; $t_m$ )

依據 Clayton and Bishop “Mechanics of Marine Vehicle” pp.372 Table 7.2 “Typical values of efficiency, wake fraction and thrust deduction fraction” 表中關於 Single-screw submarine 之值取  $1-w_m=0.7$ ， $1-t_m=0.85$  且知： $V_{am}=V_m(1-w_m)$ ，

$R_m = T_m(1-t_m)$  ,  $V_m$  : 模型航速 ,  $V_{am}$  : 螺槳模型之前進速度(velocity of advance) ,  $T_m$  : 螺槳模型之推力

內插得  $J_m=0.62$  ,  $K_{tm}=0.208$  為設計點 , 而對應的  $K_{qm}=0.0325$

### 3.3.3 推力負荷係數 (Thrust loading coefficient) $C_{Tm}$

將螺槳模型之直徑  $D_m=0.25m$  代入下式 :

$$C_{Tm} = T_m / (\rho V_{am}^2 D_m^2) = \frac{R_m}{\rho V_m^2 (1-t_m) (1-w_m)^2 D_m^2}$$

得船模速度與推力負荷係數之關係如表三所示 :

表三 船模速度與推力負荷係數之關係

$V_m$ (m/s)	1.0	2.0	3.0	3.5	4.0
$C_{Tm}$	0.542	0.542	0.542	0.542	0.542

### 3.3.4 尋找設計點的 $K_{Tm}$ 與 $J_m$

由下式計算得

$$\frac{K_{tm}}{J_m^2} = \left( \frac{T_m}{\rho n_m^2 D_m^4} \right) \left( \frac{n_m^2 D_m^2}{V_{am}^2} \right) = \frac{T_m}{\rho V_{am}^2 D_m^2} \equiv C_{Tm} = 0.542$$

於是依據圖五所示的螺槳性能資料 , 或表四所示的螺槳性能表 ,

表四 螺槳性能表

J	Kt	10*Kq	Eta	Kt/(*J)J
0.00	0.488	0.700	0.000	
0.10	0.458	0.658	0.111	45.800
0.20	0.418	0.600	0.222	10.450
0.30	0.372	0.536	0.331	4.133
0.40	0.319	0.473	0.429	1.994
0.50	0.266	0.409	0.518	1.064
* 0.60	0.217	0.340	0.609	0.603
* 0.70	0.160	0.265	0.673	0.327
0.75	0.132	0.228	0.691	0.235
0.80	0.104	0.190	0.697	0.163
0.85	0.075	0.151	0.672	0.104
0.90	0.045	0.112	0.576	0.056
0.95	0.015	0.074	0.306	0.017
1.00	-0.019	0.035	-0.864	

### 3.3.5 螺槳模型驅動馬力與轉速估算表

於是 , 螺槳驅動馬力與轉速可估算如表五所示 :

表五 螺槳驅動馬力與轉速估算

參數	單位	計算式	數據		
	kgf · sec <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>		102.04		
$D_m$	m		0.25		
$w_m$			0.30		
$J_m$			0.62		
$K_{qm}$		= $K_{qs}$	0.0325		
$V_m$	m/sec		3.0	3.5	4.0
$V_{am}$	m/sec	= $V_m \cdot (1-w_m)$	2.1	2.45	2.8
$n_m$	rps	= $V_{am} / (J_m \cdot D_m)$	13.55	15.81	18.06
	rpm	= $n_m \cdot 60$	813	948	1084
$Q_m$	kgf · m	= $n_m^2 D_m^5 K_{qm}$	0.594	0.809	1.056
$P_m$	kgf · m/sec	= $2 \cdot Q_m n_m$	50.61	80.38	119.86
	hp	= $P_m / 76$	0.666	1.058	1.577

### 3.3.6 驅動馬達規格設定

考慮包含摩擦在內的機械效率損失 , 轉速餘裕取 30% , 即轉數  $n_m$  取 1.3 倍 , 扭矩  $Q_m$  取 1.7 倍 , 馬力 hp 取 2.2 倍 , 則針對三種最高船模速度所需對應的馬達規格如表六所示 :

表六 驅動馬達規格設定

Case	模型最高速度 (m/s)	轉數 $n_m$ rpm	扭矩 $Q_m$ kgf m	馬力 hp
A	4.0	1400	1.8	3.5
B	3.5	1200	1.4	2.3
C	3.0	1100	1.0	1.5

於是，驅動馬達規格即依據上述計算書，尋求空間布置允許下的最大馬力規格。

### 3.3.7 驅動馬達及減速齒輪比選定

本研究最終選定 SGMSH 伺服馬達，其型號：200VAC-20A，其規格如下：

額定輸出：2.0 KW

額定轉矩：0.65 kgf-m (1.95 kgf-m)

瞬間最大轉矩：1.95 kgf-m (5.85 kgf-m)

額定轉速：3000 rpm (1000 rpm)

最高轉速：5000 rpm (1667 rpm)

上述規格中，刮號內的數字表示經過齒輪比為 3:1 的減速齒輪組轉換之後的規格。

### 3.3.8 驅動裝置製作

現階段，本研究已依據上述規劃製作完成艙段機架及驅動裝置，包含馬達、減速齒輪組、傳動機構及螺槳等，如圖六所示。馬達置於水密容器內如圖七所示。



圖六 艙段機架及驅動裝置



圖七 容納馬達的水密容器

## 四、期中進度彙整報告

綜合以上所述，本期研究於現階段已完成前、中段 FRP 外殼，以及包含前、中、艙三段及附件介面在內的整體機架，以及包含馬達、減速齒輪組、傳動機構在內的驅動裝置與螺槳，只待後續完成艙段 FRP 外殼，即大致完成拘束模型，而可進行後續 PMM 試驗之組裝、校正及系列流體動力係數量測分析的拘束模型試驗。