

第十四次初階課程授課紀錄

授課時間	民國 99 年 12 月 15 日 (星期三) 下午 1:15 至 3:05		
授課地點	大仁樓 5 樓階梯教室		
授課師資	王武雄	紀錄	洪郁淳
上課學生	90 人		
請假學生	4 人		
授課大綱 (至少 60 字, 並以 條列方式敘述)	<p>高速艇螺槳發展趨勢與展望</p> <ul style="list-style-type: none"> • 高速艇螺槳運轉環境 • 高速艇螺槳應用現況趨勢 • 高速艇螺槳系列與翼型斷面 • 高速艇螺槳使用材料 • 高速艇螺槳最新產品_英式推進器(POD) 		

內容目錄

一、 演講海報	-----	第 2 頁
二、 師資簡介	-----	第 3 頁
三、 演講簡報	-----	第 4 頁
四、 課程照片	-----	第 10 頁
五、 演講內容	-----	第 11 頁

一、演講海報



敬邀您參加

教育部補助大學校院培育海洋科技實務人才計畫
初階實務課程 - 船廠經營管理

高速艇螺槳發展趨勢與展望

王武雄

瑞孚宏昌船舶推進系統股份有限公司總經理

99年12月15日

下午 1:15 至 3:05

大仁樓 5樓階梯教室

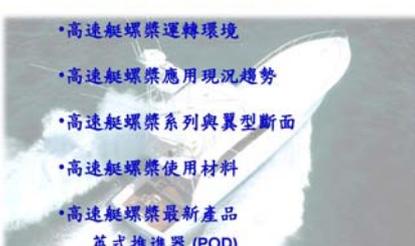
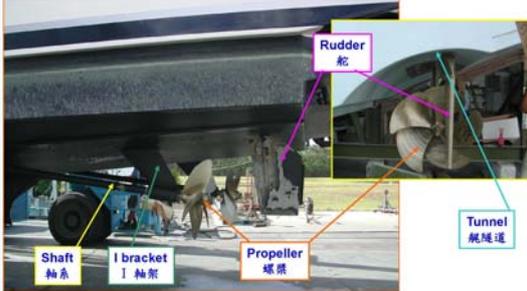
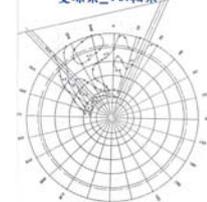
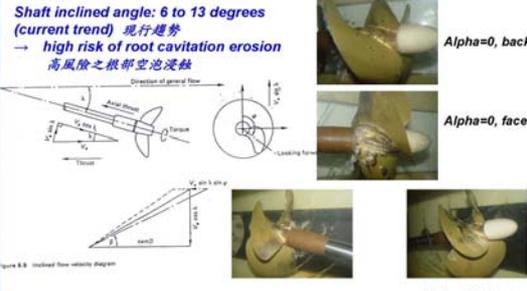
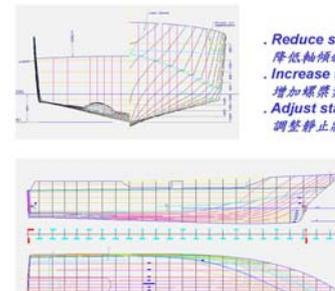
國立高雄海洋科技大學培育海洋科技實務人才計畫團隊 敬邀



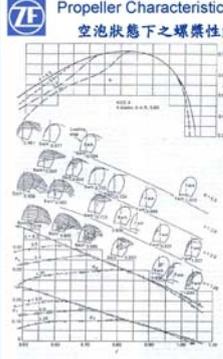
二、師資簡介

中文姓名	王武雄	公司電話	07-7871831ext33	
E-mail	wu. shyong. wang@zf-marine.com			
主要學歷				
畢業學校	國別	主修學門系所	學位	起迄年月
國立成功大學	中華民國	造船工程學系	學士	62.9-66.6
現職及與專長相關之經歷（由最近工作經驗依序往前追溯）				
公司名稱	部門	職稱	起迄年月	
瑞孚宏昌船舶推進系統股份有限公司		總經理	87.7 迄今	
財團法人聯合船舶設計發展中心	初步設計組 - 科技專案室	工程員-副主任	66.9-87.6	
本計畫中負責項目				
<p>初階實務演講課程：</p> <p>主題：高速艇螺槳發展趨勢與展望</p> <p>日期：99年12月15日</p> <p>時間：下午1：15至3：05</p> <p>地點：大仁樓5樓階梯教室</p>				

三、演講簡報

 <h2 style="text-align: center;">高速艇螺槳發展趨勢與展望</h2> <h3 style="text-align: center;">Development of Propellers for HSC</h3> <p style="text-align: center;">國立高雄海洋科技大學造船工程系 2010/12/15</p> <p style="text-align: center;">王式雄 wu.shyong.wang@zf-marine.com 瑞孚宏昌船舶推進系統股份有限公司</p>  <p style="text-align: right;">ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p> <p>Page 1</p>	 <h2 style="text-align: center;">高速艇螺槳發展趨勢與展望</h2> <p>高速艇螺槳面對柴油引擎持續提高、斜軸角度加大、船速隨之提升，復因螺槳直徑之限制，造成螺槳高推力密度、衍生高空泡風險。如何在螺槳斷面翼型、拱高與螺距分布、歪斜角度等幾何設計上做正確之選擇，以避免造成效率低下、空泡浸蝕、振動與噪音之發生，為設計上之課題。</p> <p>茲試以瑞孚宏昌船舶推進系統公司十年來設計應用之實例，作整體闡述。</p> <p>其次，針對近年來高速艇螺槳革命性的產品—英式推進器 (POD) 之特點作一介紹。</p> <p style="text-align: right;">ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p> <p>Page 2</p>
 <h2 style="text-align: center;">高速艇螺槳發展趨勢與展望</h2> <ul style="list-style-type: none"> • 高速艇螺槳運轉環境 • 高速艇螺槳應用現況趨勢 • 高速艇螺槳系列與翼型斷面 • 高速艇螺槳使用材料 • 高速艇螺槳最新產品 _英式推進器 (POD)  <p style="text-align: right;">ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p> <p>Page 3</p>	 <h2 style="text-align: center;">高速艇螺槳運轉環境</h2>  <p style="text-align: right;">ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p> <p>Page 4</p>
 <h2 style="text-align: center;">General Layout of Propulsion System</h2> <h3 style="text-align: center;">高速艇推進系統佈置—雙伴雙舵</h3>  <p style="text-align: right;">ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p> <p>Page 5</p>	 <h2 style="text-align: center;">Wake Field</h2> <h3 style="text-align: center;">跡(伴)流分佈</h3> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Single screw _ U form 單螺槳_U 槳線形</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Single screw _ V form 單螺槳_V 槳線形</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Twin screw _ A/I bracket 雙螺槳_A/I 軸架</p>  </div> </div> <p style="text-align: right;">ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p> <p>Page 6</p>
 <h2 style="text-align: center;">Shaft Inclination for HSC</h2> <h3 style="text-align: center;">高速艇斜軸佈置</h3> <p>Shaft inclined angle: 6 to 13 degrees (current trend) 現行趨勢 → high risk of root cavitation erosion 高風險之根部空泡浸蝕</p>  <p style="text-align: right;">ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p> <p>Page 7</p>	 <h2 style="text-align: center;">Tunnel Hull Lines</h2> <h3 style="text-align: center;">艇隧道線型</h3>  <ul style="list-style-type: none"> • Reduce shaft inclination angle 降低軸傾斜角度 • Increase tip hull clearance 增加螺槳葉尖與船底間隙 • Adjust static trim angle 調整靜止狀態之俯仰差(角度) <p style="text-align: right;">ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p> <p>Page 8</p>

Propeller Characteristics in Cavitation Condition
空泡狀態下之螺旋性能_推力、扭矩與效率




Alpha=90, back
斜軸角10度·葉背面

Page 9 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

高速艇螺旋應用現況趨勢



Viking 73 _ 36 knots

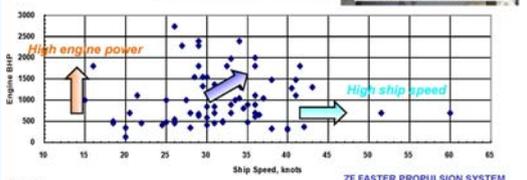
Page 10 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

General Trend of Propeller for High Speed Craft
高速艇螺旋之一般趨勢

- 引擎大馬力
- 船速提高
- 大斜軸角度
- 螺旋直徑限制
- 螺旋高推力密度
- 螺旋高空泡風險



Root cavitation erosion



Page 11 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

Non-dimensional Parameters
無因次參數

Froude Number, Speed Length Ratio

$$F_{st} = \frac{V}{\sqrt{gL}}, \quad F_{sv} = \frac{V}{\sqrt{gV^{1/3}}}, \quad F_{sh} = \frac{V}{\sqrt{gB}}$$

$$\frac{V}{\sqrt{L}}, \quad \frac{V}{\sqrt{V^{1/3}}}, \quad \frac{V}{\Delta^{1/6}}$$

Cavitation Number $\sigma = \frac{P_0 - P_v}{\frac{1}{2} \rho V^2}$

Local Cavitation Number $\sigma_{0.7R} = \frac{P_0 - P_v}{\frac{1}{2} \rho V_R^2}, \quad V_R^2 = V_a^2 + (0.7\pi D)^2$

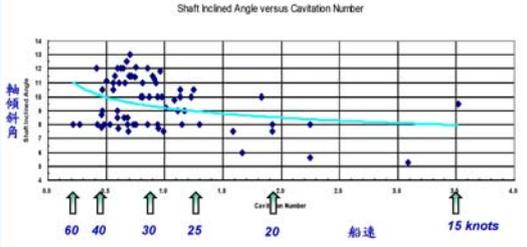
Mean Thrust Loading Coefficient $\tau_e = \frac{T/A_p}{\frac{1}{2} \rho V_R^2}$

Page 12 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

High Speed + High Shaft Inclined Angle
高速 + 高軸傾斜角

High Risk on Cavitation (efficiency reduced + cavitation erosion)
高空泡風險 (效率降低 + 空泡侵蝕)

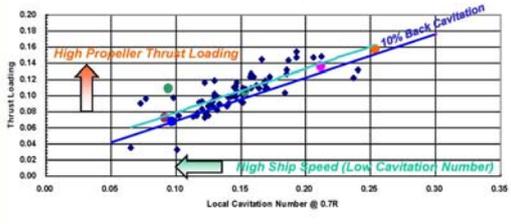
Shaft Inclined Angle versus Cavitation Number



Page 13 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

General Cavitation Trend Diagram
空泡趨勢_Gawn Burrill 圖表

High Ship Speed (Low Cavitation Number) 高速度(低空泡數)
High Propeller Thrust Loading (高螺旋推力負荷)
High Risk of Cavitation and Low Efficiency (高空泡侵蝕風險與低效率)



Page 14 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

高速艇螺旋應用現況 (I)



Azimut 68KK _ 38 knots

Page 15 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

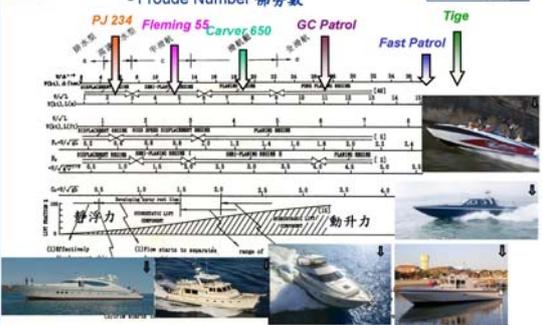
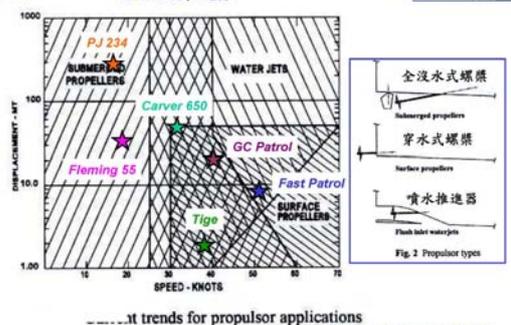
PJ 234 _ 15 knots _ 37.68 m

Engine: 2 x 1000 ps x 2100 rpm, 3.437:1
Cavitation number = 3.517, 0.254 @ 0.7R
Propeller: 48 x 46 x 5B x 0.85 NACA
Shaft inclination = 9.5 deg

巨型遊艇



Page 16 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

<p>ZF Fleming _ 15.5 m _ 18.5 knots</p> <p>Engine: 2 x 500 ps x 2600 rpm, 2.53:1 Cavitation number = 2.246, 0.212 @ 0.7R Propeller: 31 x 30 x 4B x 0.90 KCA Shaft inclination = 8 deg</p> <p>中型遊艇</p>  <p>Page 17 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>	<p>ZF Carver 650 _ 16.6 m _ 31 knots</p> <p>Engine: 2 x 1370 ps x 2350 rpm, 2.467:1 Cavitation number = 0.812, 0.154 @ 0.7R Propeller: 38 x 46 x 5B x 1.05 NF Shaft inclination = 11 deg</p> <p>中型高速遊艇</p>  <p>Page 18 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>
<p>ZF GC Patrol _ 13.7 m _ 41 knots</p> <p>Engine: 2 x 1100 ps x 2450 rpm, 1.525:1 Cavitation number = 0.464, 0.092 @ 0.7R Propeller: 27.5 x 36.5 x 4B x 0.90 Cupping Shaft inclination = 10.5 degrees</p> <p>高速巡邏艇</p>  <p>Page 19 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>	<p>ZF Fast Patrol _ 11.2 m _ 51 knots</p> <p>Engine: 2 x 700 ps x 2300 rpm, 1.485:1 Cavitation number = 0.273, 0.098 @ 0.7R Propeller: 26 x 41 x 5B x 0.90 SPP Stern Drive: SDS, Inclination 8 degrees</p> <p>超高速巡邏艇</p>  <p>Page 20 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>
<p>ZF Tige _ 5.5 m _ 38 knots</p> <p>Engine: 1 x 320 ps x 4600 rpm, 1.46:1 Cavitation number = 0.532, 0.095 @ 0.7R Propeller: 13.5 x 16.5 x 4B x 0.80 Cupping</p> <p>滑水艇(ski boat)</p>  <p>Page 21 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>	<p>高速艇螺葉應用現況 (II)</p>  <p>Page 22 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>
<p>ZF Speed versus Length, Displacement 遠長比 - Froude Number 佛勞數</p>  <p>Page 23 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>	<p>ZF Trends for Propulsor Application 推進器應用趨勢</p>  <p>Page 24 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>

ZF Cavitation Number versus Thrust Loading
局部空泡數(0.7R)與推力負荷關係圖

Page 25 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF 高速艇螺槳系列與翼型斷面

Marlow 86_29 knots

Page 26 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF Propeller Blade Sections (Series) for different Speed Application
不同船速狀況適用之螺槳葉片斷面形狀

SHIP SPEED (Knots)	PROPELLER BLADE SECTION	PROPELLER BLADE SECTION
<25	AEROFOIL	MAU, Vagenengen-B, NACA
25-35	AEROFOIL	MAU, Vagenengen-B, NACA
	OGIVAL	Gawn, Gawn-Burrill (KCA)
35-40	CRESCENT	Newton-Rader, New-Foil
	CRESCENT	Newton-Rader, New-Foil
40-50	SC or SFP	Rolla, SUS
	SC or SFP	Rolla, SUS
>50	SC or SFP	Rolla, SUS
30-50	Cupping	Cupping KCA or NF

Page 27 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF Propellers Series
螺槳系列

KCA - Series

Blades : 3, 4, 5
Pitch Ratio : 0.60-2.00
Area Ratio : 0.20-1.10
Skew Angles : 0 degree
Section Type : Ogival
Remarks : Most widely use propeller series. Suitable for most applications. Cupped available.

Page 28 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF Propellers Series
螺槳系列

Skew KCA - Series

Blades : 3, 4, 5
Pitch Ratio : 0.60-2.00
Area Ratio : 0.50-1.10
Skew Angles : 25 30 35 degrees
Section Type : Ogival
Remarks : Modified from standard KCA series for smooth application. Suitable for most applications. Cupped available.

Page 29 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF Propellers Series
螺槳系列

Cupping - Series

Blades : 3, 4, 5
Pitch Ratio : 0.60-2.00
Area Ratio : 0.50-1.10
Skew Angles : 0 25 30 35 degrees
Section Type : Ogival, Airfoil
Remarks : Modified from standard series. Suitable for most applications.

Page 30 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF Propellers Series
螺槳系列

NACA - Series

Blades : 3, 4, 5, 6, 7
Pitch Ratio : 0.80-1.60
Area Ratio : 0.50-1.40
Skew Angles : According to design
Section Type : Airfoil (NACA66, mean line 0.8)
Remarks : Theoretical design propellers series.

Page 31 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF Propellers Series
螺槳系列

New Foil / EV - Series

Blades : 3, 4, 5, 6, 7, 8
Pitch Ratio : 0.80-1.60
Area Ratio : 0.50-1.40
Skew Angles : According to design
Section Type : New Foil / Hybrid
Remarks : Theoretical design propellers series.

Page 32 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF Propellers Series
螺槳系列

Surface Piercing Propeller



Blades : 4, 5, 6
Pitch Ratio : 0.80-1.60
Area Ratio : 0.70-1.10
Skew Angles : According to design
Section Type : SPP (Wedge, High Camber)

Page 33 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF

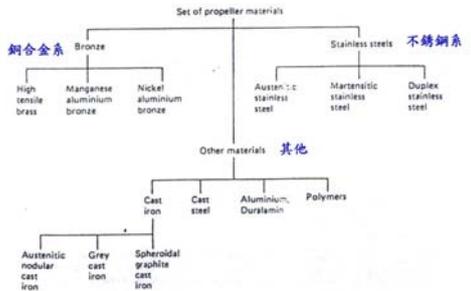
高速艇螺槳使用材料



CityCat Catamaran ... 26 knots

Page 34 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

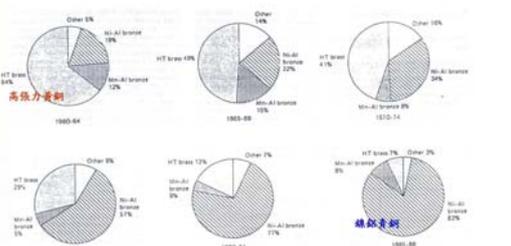
ZF Propeller Materials Category
螺槳用材料分類



鋼合金系: High tensile brass, Manganese aluminium bronze, Nickel aluminium bronze
不銹鋼系: Austenitic stainless steel, Martensitic stainless steel, Duplex stainless steel
其他: Cast iron, Cast steel, Aluminium, Duralumin, Polymers

Page 35 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF Popularity Progress of Propeller Materials
螺槳材料之演進 (1960-1988)



From Lloyd's Register of Shipping 英國勞氏驗船協會

Page 36 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF Propeller Material of Lloyd's Classification
英國勞氏驗船協會規定之螺槳材料

Steel Propeller Casting

Alloy designation	Cu	Sn	Pb	As	Fe	Si	Mn
Grade Cu-1 Manganese bronze High tensile brass	52-62	0.5-1.5	0-0.45	0.0-0.05	1.0-0.95	0.5-0.35	0.5-0.45
Grade Cu-2 Ni manganese bronze High tensile brass	50-67	0.5-1.5	0-0.35	0.0-0.05	2.5-0.5	0.5-0.35	0.5-0.35
Grade Cu-3 Ni aluminium bronze High tensile brass	75-85	0.5-1.5	0-0.35	0.0-0.05	3.0-0.5	0.5-0.35	0.5-0.35
Grade Cu-4 Aluminium bronze	70-85	1.0-2.0	0.0-0.10	0.0-0.05	1.5-0.5	0.5-0.35	0.5-0.35

Copper Alloy Casting

Alloy designation	0.2% proof stress (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation at 0.2% proof stress (%)
Grade Cu-1 Manganese bronze High tensile brass	175	440	20
Grade Cu-2 Ni manganese bronze High tensile brass	175	440	20
Grade Cu-3 Ni aluminium bronze	240	500	18
Grade Cu-4 Aluminium bronze	275	620	18

Page 37 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF

高速艇螺槳最新產品_小型英式推進器

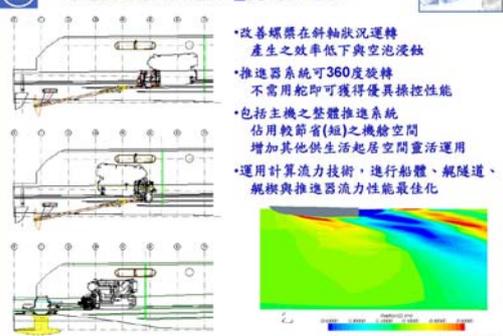


Viking 56 ... 41 knots

Page 38 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF

高速艇螺槳最新產品_英式推進器



- 改善螺槳在斜軸狀況運轉產生之效率低下與空泡浸蝕
- 推進器系統可360度旋轉 不需舵即獲得優異操控性能
- 包括主機之整體推進系統 佔用較節省(短)之機艙空間 增加其他供生活起居空間靈活運用
- 運用計算流體力學技術, 進行船體、航隧道、航槳與推進器流體性能最佳化

Page 39 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF

英式推進器_Volvo IPS 350/400/450/500/600

A revolutionary marine propulsion system

- demand for high speed, improved handling, enhanced onboard comfort and reduce emissions
- engine power ranging 350 to 600 hp
- suitable for 30 up to 50 feet planning hulls
- outstanding efficiency over 25-45 knots
- a reduced fuel consumption at 30 knots by 30%+

Volvo Penta IPS propeller advantages

- Increased blade area vs. output, smaller prop diameter and larger gear ratio
- No side force
- Half prop loading, means half hp losses and increased cavitation
- Horizontal shaft and thrust
- Counter-rotating creates no rotational losses



Page 40 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF New Rampage 34 with IPS Pod Drives - 07/09/2008

The new Rampage 34 will be one of the first express fishboats built in the U.S. with Volvo Penta's IPS drive system



- better fuel mileage
- better performance
- better maneuverability
- run faster
- much easier to maneuver around docks with joystick technology
- 30%+ more fuel efficient than conventional inboard installations

Page 41 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF 英式推進器 _ ZF POD 2500/2800/4000 ZEUS 3500/3800

ZF POD 2500 & 2800 250 - 440 HP

ZEUS 3500 & 3800 450 - 700 HP

ZF POD 4000 700 - 1200 HP



Page 42 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF 英式推進器 _ ZEUS 3500/3800

Atlantis 50X4

ZF 3500/3800 (Zeus)



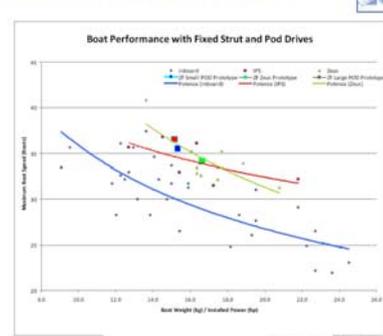
Atlantis 50
2 x Cat C9 @ 575 HP
Ship Speed 35 knots

Marine Propulsion Systems

Page 43 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF 英式推進器 _ ZF POD / ZEUS _ 性能比較

Boat Performance with Fixed Strut and Pod Drives



Page 44 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF ZF _ Zeus® Pod Drive System

New ZF POD, Zeus Pod Drive
Powered by Caterpillar C9 ACERT @ 575 mhp x 2500 rpm
Into a 44' Sea Ray reaches top speed of 39 knots

FASTER CRUISING, HIGHER TOP SPEEDS, ENHANCING MANEUVERABILITY, FUEL ECONOMY
A Clean, Quiet, and Comfortable Ride plus Precise One-Hand Docking

- Joystick control to dock the boat with ease
- Reliable, smooth, hydraulic power steers the pods
- Actuates the integrated trim tabs
- Allows each pod to be steered independently, leads to much smoother and more accurate maneuverability
- The thrust from pod drives is horizontal compared to standard inclined shaft
- Minimize drag of pod shape than a shaft, strut and rudder
- Counter-rotating propellers eliminate rotational loss, produce no lateral forces and minimize cavitation
- Noise and vibration are significantly reduced, resulting in a quiet, comfortable ride
- A dedicated trolling valve enables lowest speeds



Page 45 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF 英式推進器 _ ZF POD 4000

ZF 4000 (Large POD)



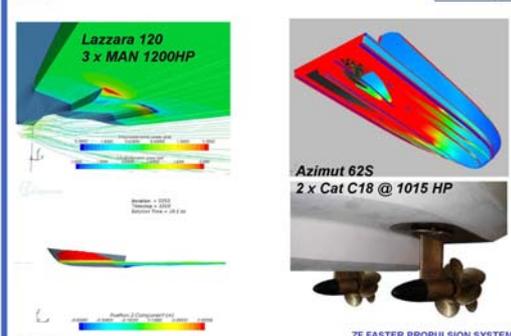
Azimut 62S
2 x Cat C18 @ 1015 HP
Design Speed 36 knots

ZF Prototype Boat (Azimut 62S)

Page 46 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF 英式推進器 _ ZF POD _ 應用

Lazzara 120
3 x MAN 1200HP



Azimut 62S
2 x Cat C18 @ 1015 HP

Page 47 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF

FASTER PROPELLER
LUBRICATION SYSTEM



something behind the yacht

Thank you
謝謝指正



Hatteras 60 - 41.5 knots

Page 48 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

四、授課照片

99 年 12 月 15 日：高速艇螺槳發展趨勢與展望	
	
演講者王武雄總經理	說明高速艇螺槳發展趨勢與展望係
	
上課全景	說明高速艇推進系統布置-雙俾雙舵
	
說明跡(伴)流分佈	說明高速艇斜軸布置
	
說明艇隧道線型的設計	說明高速艇螺槳之一般趨勢

五、演講內容

今天邀請到瑞孚宏昌推進系統股份有限公司，王武雄總經理跟各位介紹的是高速艇螺槳發展趨勢與展望。

我是 1977 年成功大學造船工程系畢業，接著就到聯合船舶設計中心，直到 1998 年離開後就到宏昌遊艇事業股份公司，主要製造螺旋槳、推進軸，到 2000 年與 ZF 集團合併，ZF 集團是製造船用減速機，ZF 集團大部分的業務在汽車底盤、傳動器、歐洲高階汽車的變速器。從兩千年到現在歷經十年了，我就在這間公司擔任總經理，負責整個業務，同時在造船系開設遊艇設計與高速艇設計兩門課程，是由八位老師共同教授的課程。

高速艇螺槳目前遇到的是什麼問題？技術上又遇到什麼問題？第二，在近四、五年來，革命性的產品莢式推進器（POD）的開發。在今天內容的前半部主要談論所面臨的問題與解決方式。身為一個工程師，我們所具備的基礎訓練外，重要的是，必須善用學到的知識、經驗與邏輯的推理去分析問題、解決問題，解決問題的方發依靠實驗或是實際驗證方式找尋答案，當實驗驗證出的答案，就成為了 know-how，知識就是權力，有了知識與能力才能解決問題，人存活在世界中，最重要的是面對問題、解決問題。

在演講過程中會看到一些船的圖片，這些船都是過去宏昌在十年左右設計過的螺槳安裝上這些船，譬如 SeaRay 這艘船，他是在美國遊艇廠所製造，船長為 60 英尺，船速 36 節。以粗略來說，船速 20 節以上的船舶可稱為中高速艇，在今天的演講過程中會介紹高速艇的定義為何，通常為以 Froude Number 或速長比來定義。

在船的艏部從船殼穿透出來的為傳動軸，軸的支撐架稱之為 I 架或 A 架，後面安裝的為螺槳，螺槳為船前進的主要動力，在螺槳後的為舵，以上為典型斜軸螺旋槳佈置。螺槳依靠螺槳的旋轉產生推力，依靠旋轉的扭力轉變為軸向推力的推進設備，轉動扭力的來源為柴油引擎，柴油引擎透過汽缸發動後，傳動出來的軸為傳遞一個扭力出來，扭力透過傳動軸就可推動螺槳，螺槳靠扭力轉動後產生軸向推力使船可以前進。

原則上針對螺旋槳來說只有三個重要參數：前進係數、旋轉扭力、推力，以上為定義螺槳動力機制的重要參數。接者要瞭解，當水流進入後的形狀、分佈情況，透過跡流分佈圖觀察不同的船型與推進，例如：

單螺槳 & U 艏線形：螺槳前有要肥大的船型，艏部線型為 U 形，

艤部的線型影響的是入流的分佈，入流速度不一樣會造成螺槳所產生的推力也不同，推力不同影響激振力差異，入流速度越均勻，振動問題也就越不易產生，因此此狀態下的振動問題較為大，所幸這類型船舶為慢速船，慢速船的馬力密度比較小。

單裸槳&V 艤線形：螺槳前有要肥大的船型，艤部線型為 V 形

雙螺槳&A/I 軸架：螺槳前沒有船體干擾水流，因此入流速度比較快又均勻，因此等高線會呈現就較稀疏的狀態。

傳動軸無法建造成水平與 base line 平行，而是斜軸，是因為船體裡又機器佈置，又必須避開船底，因此軸於水線會形成一個角度，稱之為斜軸，斜軸效應是成為設計高速艇時困難的因素之一，因為斜軸會造成額外的軸向速度產生，通常高速艇斜軸角度會在 6~13 度之間，這是需依據船舶大小而訂，船越大角度越小，這是因為佈置空間較大。我們公司曾經欲過 15 度的斜軸角度，這是相當難設計的，柴油引擎滑油底盤的問題，高速艇在航行時會有航行的俯仰角，仰角會在 3~6 度之間，再加上 15 度的斜軸角度，加總為 21 度，在整體來說柴油引擎會吸不到滑油，因此會造成柴油引擎在運轉時會過熱。

該如何降低斜軸角度？將螺槳往上一點，斜軸角度即可解決，但是後續問題，例如螺槳會碰到螺槳，或與船底間隙太小，螺槳所產生的激振力會撞擊到船殼，造成螺槳上方船殼振動劇烈，因此有人利用艤隧道方式來降低斜軸角度的問題，在設計艤隧道時以不超過 30% 螺槳直徑，如此一來才不會最阻力特性造成嚴重的影響；艤隧道的設計除了降低軸傾斜角度、增加螺槳葉間與船底間隙外，同時可以調整靜止狀態俯仰差，遊艇是相當重視裝潢的，裝潢所產生的重量使的船舶易產生艤俯，在這樣的情況下阻力特性會較差，在高速艇中，阻力特性最好的情況在平浮的狀態。

橫軸為前進速度或稱為螺旋槳負載，越小的地方負載越高，縱座標為扭力與推力，扭力與推力、前進係數所組合而成的參數為效率，由此可以評估螺旋槳之效率。螺槳的效率從慢速船舶、重負載船，螺槳效率約為 40%，直到快速船可以接近到 0.8，在 0.4~0.8 之間也就是設計者可以揮灑空間的範圍。空泡係數 η ，表示水中還空氣量越多，空泡係數越小；速度越快，空泡係數也越小，若負載一樣高，空泡係數越小，產生的氣泡面積小；當空泡係數降到 1.25，負載在 0.6 時，在葉片背面約有 70% 都是空泡。

站在船的船艤往船艙看，可以看到的那一面為正面，也就是學名裡

的壓力面也稱做高壓面，是我們在量測螺距的地方，因為要產生推力，因此製造精度必須準確，背面就是吸力面或是低壓面，幾何形狀比起正面較不是那麼的重要，但是也不可忽視。

高速艇螺槳設計最大困難點在於斜軸，這些年來引擎的馬力也越來越大，在 20 年前左右，與目前同樣汽缸大小的缸徑，馬力只有現在的一半，這是在這 20 年來引擎廠商的進步，依靠的是電子設備，過去柴油引擎利用機械方式壓縮空氣，現在控制系統部分以改為電子式控制，使用電子式方法可使控制更精緻，可以在適當的時間點火、壓縮，把空氣量與壓縮、油氣量達到最佳化，因此可使同樣尺寸的本體提升到一倍馬力，另外也包括材料科學的進步，機械特性大幅提昇，機械特性大幅提昇，這些都造就相同的汽缸本體提高一倍馬力的原因。同樣大小的船型，汽缸大小牽涉到引擎佈置的問題，馬力提高，引擎就必須加大，船體內部空間就縮小，因此引擎技術的進步可以將同樣大小引擎，馬力可提升一倍，馬力提生，因此螺旋槳的設計必須配合馬力，馬力提高，速度也跟著提升，速度提升除了引擎馬力加大外，材料科學的進步，輕量化的材料的生成也是提升速度的原因之一。引擎馬力變大使得螺旋槳直徑變大，以相同斜軸角度而言，螺槳與間隙會變小，因此勢必將斜軸角度加大，使螺槳可以容納，因為斜軸角度的因素，使得螺槳直徑受限，表示單位面積的推力密度提升，使得空泡產生高空泡的風險。馬力大、速度快、斜軸角度的問題，造成在設計螺槳空泡會較嚴重，空泡問題分成兩個層面來討論，首先影響效率，當空泡產生，推力減小，當正面產生空泡時，壓力一產生使得的空泡破裂，會使得螺槳被破壞產生孔洞。

船速跟引擎馬力分佈範圍，一般遊艇集中在 25 節至 45 節之間，引擎馬力分為多種類別，一般以船舶而言指的是柴油引擎，又分為低速、中速、高速，現在目前中速柴油引擎數量較少，低速多使用在大型商船，最低轉速可達 50 轉 (RPM)，低轉速表示是大扭力的機器，大扭力機器體型就大，因此商船的柴油引擎是很大的，這是因為馬力等於 $2\pi nQ/75$ ，相同的馬力下，轉速與馬力成反比，因此轉速約低，扭力越大，機構就必須往大型化設計才能承受扭力的負載，反之，高轉速引擎體型就會小。對高速遊艇而言，為什麼要使用高速引擎？用了高速引擎之後還要再使用減速機將他減速，為何當初不直接使用低轉速的引擎？這是因為低轉速引擎的重量比起減速機的重量要重的多，因此會直接使用高速柴油引擎，高速柴油引擎目前而言，1600 匹馬力以下引擎為量產型，因此單價低，目前 1000 匹馬力約為 10 萬美金，在 10 年前 1000 匹馬力也為 10 萬美金，但是相對而言，所使用的材質縮小相當的多。

船速的快慢以 Froude Number 及速長比做定義，定義螺旋槳空泡量

的為空泡係數， C_{p0} 為整體空泡係數， C_{p1} 為局部空泡係數，指的是螺槳上不同半徑位置上的局部空泡係數， C_{p2} 為螺槳上平均推力係數，以上的參數透過圖表可以知道過去所設計的螺槳的型式。

空泡數，如果將相關數字帶入後，即可得到相對船速，例如：空泡數 3.5 時，相當於 15 節的船速，空泡數 0.5 時，相當於 40 節的船速。軸傾斜角，速度越快的船軸的傾斜角越大，通常船比較小。從圖表採樣的為 25 節至 40 節之間，角度為 8 度至 12 度之間，在造船原理中，Gawn Burrill 圖表為局部空蝕係數，橫座標為局部空蝕數，是指在螺槳半徑 70% 弧長的位置的局部空泡數。10% 背面空泡曲線，意旨當螺槳在某個轉速時，葉片背面有 10% 面積產生空泡。是否可以設計到完全沒有空泡？這是可能的，軍艦就必須設計為沒有空泡數，尤其在巡航時必須完全不能產生空泡，因為只要有空泡就會有聲音，所以不能有空泡，因此螺槳是可以設計到完全沒有空泡的，但是這是不符合成本的。一般而言，大型商船設計標準不是 10% 的背面空泡，遊艇及高速艇會設計在 10%，這樣的差異是因為螺槳的使用率，這樣的情況下，考慮成本及效率，10% 的背面空泡基準就可以成為設計標準，實際上，在遊艇設計中會更激進一些，會以 13%~15% 背面空泡數為設計基準，因此成本會更低；反之，商船下水後長期航行在大洋中，也許 1 年進塢保養一次，在這樣的情況下，不希望螺槳空泡腐蝕的產生，因此會將 10% 背面空泡數降至 2.5%~5% 之間，將來在訂定葉面面積比時，會以這樣的原則作為考量。

已過去瑞孚宏昌設計過的六艘船來做例子，由低速船至高速船來說，PJ 234 船速 15 knots，船長 37.68 m 與 Fleming 船速 18.5 knots，船長 15.5 m，由 Froude Number 來說，15 節的船長 37.68 米，18.5 節的船長 15.5 米，速長比是有差距的。Carver 650 船速 31 knots，船長 3116.6 m。GC Patrol 船速 41 knots，船長 13.7 m。Fast Patrol 船速 51 knots，船長 11.2 m。Tige 船速 38 knots，船長 5.5 m，這是單車，因此負載較大，且屬於滑水艇，所以阻力是比較大的，這樣的螺槳設計是有相當難度的，他的螺槳直徑只有 13.5 吋，重量 4.5 公斤，在技術層面是有困難度的。

以傳統 Froude Number 而言，由 0~2.4 的範圍裡面，在 0.4 以下為排水型船舶，例如：PJ 234；0.4~0.95 為半滑航型（半排水型）船舶，例如：Fleming 55；0.95 以上為滑航型船舶，例如：Carver 650；1.5 以上為全滑航艇，例如：GC Patrol、Fast Patrol、Tige。這六艘船螺槳的設計與運用的技術都不一樣，有不一樣的葉片形狀。排水型船舶的重量被浮力支撐，這是阿基米德原理。全滑航艇的力量被動升力所支撐，當船低速時為靜浮力，達到高速時幾乎為動升力，這是相當具體，且有數據

依據可以提供設計者做參考的，在不同的位置設計船型，這也是一開始就說的基本設計概念，是相當重要的，因此開始設計時，這些圖可以做為參考依據。

關於推進設備，一種是斜軸跟全沒水式螺槳，另一種是穿水式螺槳，另外還有一種是噴水式推進器，這些是屬於傳統式的推進設備。利用圖表說明哪個區域應該用全沒水式螺槳，哪個區域應該用穿水式螺槳，哪個區域應該用噴水推進器做一個分類，橫座標是速度，從 0 節到 70 節，縱座標是排水量，從 1 噸到 1000 噸，用不同的推進設備所適用的範圍可依據此圖表，向左下方傾斜的這條線是說，在 1 噸時速度可以到 60 節，50 噸以下可以達到船速 45 節以下，這塊區域是說他適合全沒水式螺槳的運用，大家可以看到在這個區域裡面，剛剛提到的 PJ234 呎的船、Fleming 55 呎的船、Carver 65 呎的船，大概都在這塊領域；另外，右下方傾斜的區域為穿水式螺槳，在 50 噸以下，穿水式螺槳會有艫跡，用來控制方向的機構，因此適用於馬力、排水量較小的船舶，因此適用於船速 30 節以上的船。往右下方傾斜的這一塊，船速在 25 節以上，40 節以下，在 50 噸以下可以到 70 節，這區域適合噴水推進器；噴水推進器與穿水式螺槳不是在設計船速，效率會降低得相當嚴重，這也是選擇得指引。

以上從速度、Froude Numbe 來談論螺槳，現在來談論螺槳設計，10%的背面面積空泡數，我們在設計螺槳時不會超過推力潰降線，如果超過表示螺槳面積比太小，螺槳上所產生的空泡會傷害效率 FFOC 因此效率會降低，因此這條線是所謂的生死線。在高速艇範圍內，背面面積空泡數落在 12%~13%的基準上，速度越快表示負荷越高，局部空蝕數越低。Fast Patrol 用的是穿水槳，依照 Burrill 的設計是要使用穿水槳或是噴水推進器。Tige 和 GC Patrol 都是用 Cupping 的螺槳，一般來說，不同速度適用的螺槳的翼型斷面為彎尾緣螺槳，使螺槳葉面拱高在尾部時變大，螺旋槳負載由攻角產生或拱高產生，將尾部拱高提高可使螺槳負載放到後半部，也就是推力從後方出現，前面因為負載小，因此空泡不易產生，如果前面產生很多空泡，到後方就會破裂，最後一定損害效率。現在將負載往後移，空泡會出現在後方，因此不會損傷到推力效率，這就是設計的概念。

英式推進器，由 Volvo 公司所生產，Volvo 公司生產包括汽車、柴油引擎、舷內、舷外機，設計舷外機時螺槳很小，因為這是利用傘狀齒輪作為扭力的傳遞，以傘狀齒輪作為扭力傳遞時負載不能太大，因此馬力會受限，於是發展利用油壓控制，在 4-5 年前開發 POD 的概念，POD 指的是將推進器分成兩部分，上半部在船殼裡面，下半部在水中，船殼

外的部分如同豆莢形狀，此稱為莢式推進器（POD），起初裝設於大型商船，如載客郵輪。回到前文所敘，因船尾為 V 形或 U 形，導致螺槳的入流不均勻，因此同樣會產生激振力造成振動產生，為解決這問題，因此將大型客船建造成如同快艇雙螺槳船前方無船體干擾，中間放置莢式推進器，並以電力推進，以此降低振動，這是起初應用在大型客輪上的方法，而後將其運用在小型船舶上，機構設計上也比大型船舶簡單多了。

莢式推進器螺槳與斜軸螺槳不一樣的是沒有斜軸了，斜軸問題解決了，螺槳的設計就簡單多了。第二，莢式推進器使用雙螺槳，假使一個引擎馬力很大，若維持使用單顆螺槳勢必要增加螺槳直徑，使用雙螺槳可將扭力分成兩部分，分別給前螺槳與後螺槳，另一個優點是前螺槳產生的旋轉流的損失可以在後螺槳回收，這樣的對轉螺槳在船速 30 節以上，效率可高達 78%，一般而言，斜軸螺槳效率達到 70% 就相當的優異。此外，使用斜軸螺槳時，船底增加許多附屬物，因此阻力隨之增加，若是改成莢式推進器，阻力的增加僅有一項，由此估計，阻力可降低 10% 左右，整體而言耗油量降低 25%~35% 是可期待的。使用莢式推進器速度一定要快，這是因為螺槳小，而船速慢需要高扭力，因此螺槳直徑大，在莢式推進器不適用。莢式推進器除了可降低耗油量、提高效率外，推進系統可 360 度旋轉，不需用舵即可獲得優異操重性能，推進器與船艙推進器相互配合，即可控制所有方向的前進。

VOLVO 公司在推出莢式推進器後，從引擎到所有系統都包含在內，從推出 350P 馬力至 600P 馬力後，幾乎整個市場被冗斷，ZF 集團在義大利有一減速機製造廠，製造馬力範圍在 600P 以下，由於 Volvo 公司的推進系統的推出，因而於今年正式關廠，所以一個產品出來影響是很大的，我們稱他為『船用推進系統革命性的產品』，到目前為止，四、五年來在 350P~600P 馬力的高速的小型船，席捲了這部分的市場，除了 ZF 集團的減速機廠關廠外其他公司引擎的製造公司也受到影響。因此這些公司集合起來，發展出與 POD 產品類似的 ZEUS 設備，並且 ZF 再發展出 700P~1200P 馬力的引擎以及 440P 以下的馬力，這是這些年來的發展。

ZF 4000 型的 POD 去年在義大利 Azimut 62 呎的船上做測試，測試船速為 36 節，此為成功的案例。這裡有份測試報告，橫軸是船重量除以船的馬力，相當於一 P 馬力可以去驅動多少公斤船的重量，縱軸是最大船速，範圍在 20~45 節，這些藍色的點與趨勢線代表的是傳統斜軸的螺槳，綠色的代表 ZF 開發的 Zeus 的趨勢線，紅色的是 Volvo 的 IPS，以我的估計 Volvo 跟 ZF 的產品是類似的，所以應該是平型的，我們集團

在做這資料的統計時，我估計 Volvo 的資料應該是不夠充分，所以趨勢線不是平行的。可以從趨勢線觀察，同樣的船安裝同樣的馬力，使用 POD 可以比傳統的斜軸螺槳推進快 5~6 節，這也就是為什麼 VOLVO 產品一推出可以橫掃千軍的原因，主要來自螺旋槳效率的提升及減少附屬物的阻力，整合起來可提升 25%~35% 的效率。

傳統斜軸螺槳推進器的設備包含，引擎、減速機、斜軸螺槳、I 架、螺槳、舵，而後因為引擎的空間對遊艇、公務船而言是無法容納的，遊艇又希望居住空間可以擴大，因此希望將艙壁往後推，因而衍生出 V 型傳動，但由於保養上較為不便，因此目前使用上較少，目前於巡邏艇較常見。POD 推進系統可將引擎往後推，因此可將艙壁更進一步往後推，同樣長度的船內部使用空間因而更大了，創造另一個優點。在幾百年前即使流力計算模式早已建立，但是仍然無法計算這是因為沒有快速且高容量的電腦支援，但這幾年電腦科技不斷的進步，因而造就我們可以計算流力，同時在 POD 系統內扮演重要的角色之一。