

第八次初階課程授課紀錄

授課時間	民國 98 年 11 月 4 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	79 人		
請假學生	2 人		
授課大綱 (至少 60 字, 並以 條列方式敘述)	<ul style="list-style-type: none"> 一、 高速艇螺槳發展趨勢與展望 二、 高速艇螺槳運轉環境 三、 高速艇螺槳應用現況趨勢 四、 高速艇螺槳系列與翼型斷面 五、 高速艇螺槳使用材料 六、 高速艇螺槳最新產品 _ 莢式推進器 (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總經理

98年11月4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造船工程系 敬邀



二、師資簡介

中文姓名	王武雄	公司電話	07-7871831ext33	
E-mail	wuu.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：98年11月4日</p> <p>時間：下午1:15至3:05</p> <p>地點：大仁樓五樓階梯教室</p>				

三、演講簡報



高速艇螺槳發展趨勢與展望

Development of Propellers for HSC

海洋科技新貴計畫-船廠經營管理
國立高雄海洋科技大學造船工程學系
2009.11.4

王武雄
wu.shyong.wang@zf-marine.com
瑞孚宏昌船舶推進系統股份有限公司


Page 1 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM




高速艇螺槳發展趨勢與展望

- 高速艇螺槳運轉環境
- 高速艇螺槳應用現況趨勢
- 高速艇螺槳系列與異型斷面
- 高速艇螺槳使用材料
- 高速艇螺槳最新產品
_ 英式推進器 (POD)

Page 2 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM



高速艇螺槳運轉環境



Page 3 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM




General Layout of Propulsion System

高速艇推進系統佈置-雙伴雙舵



Labels: Shaft (軸系), I bracket (I 軸架), Propeller (螺槳), Rudder (舵), Tunnel (舵隧道)

Page 4 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM



Wake Field 跡(伴)流分佈

Single screw _ U form
單螺槳_U 槳線形



Single screw _ V form
單螺槳_V 槳線形



Twin screw _ All bracket
雙螺槳_A/I 軸架



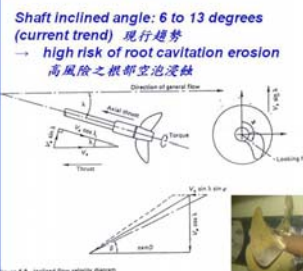

Page 5 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM



Shaft Inclination for HSC


高速艇斜軸佈置

Shaft inclined angle: 6 to 13 degrees (current trend) 現行趨勢
→ high risk of root cavitation erosion 高風險之根部空泡侵蝕

Labels: Alpha=0, back; Alpha=0, face; Alpha=270, face; Alpha=90, back

Page 6 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM



Tunnel Hull Lines 舵隧道線型



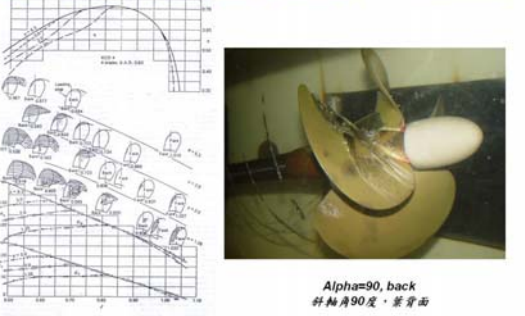
- Reduce shaft inclination angle 降低軸傾斜角度
- Increase tip hull clearance 增加螺槳葉尖與船底間隙
- Adjust static trim angle 調整靜止狀態之俯仰差(角度)

Page 7 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM



Propeller Characteristics in Cavitation Condition

空泡狀態下之螺槳性能_推力、扭矩與效率



Labels: Alpha=90, back; 斜軸角90度·葉背面

Page 8 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF 高速艇螺槳應用現況趨勢




Viking 73_ 36 knots

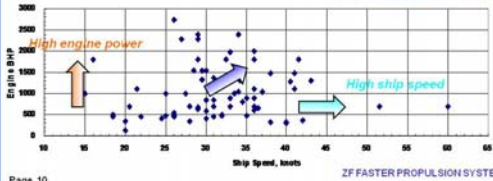
Page 9 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF General Trend of Propeller for High Speed Craft
高速艇螺槳之一般趨勢

- ◎ 引擎大馬力
- ◎ 船速提高
- ◎ 大斜軸角度
- ◎ 螺槳直徑限制
- ◎ 螺槳高推力密度
- ◎ 螺槳高空泡危險



Root cavitation erosion



High engine power

High ship speed

Page 10 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF Non-dimensional Parameters
無因次參數

Froude Number, Speed Length Ratio

$$F_{ul} = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad F_{av} = \frac{V}{\sqrt{gV^{1/3}}} \quad F_{ab} = \frac{V}{\sqrt{gB}}$$

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

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

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

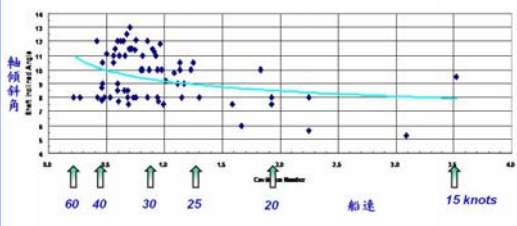
Mean Thrust Loading Coefficient $\tau_x = \frac{T/A_p}{\frac{1}{2}\rho V_x^2}$

Page 11 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

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

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

Shaft Inclined Angle versus Cavitation Number



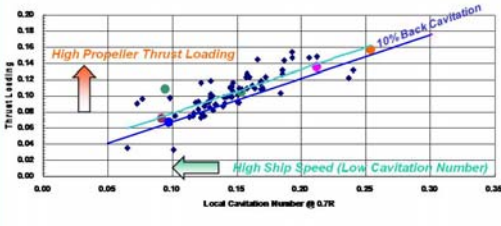
軸傾斜角

60 40 30 25 20 船速 15 knots

Page 12 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF General Cavitation Trend Diagram
空泡趨勢_Gawn Burrill 圖表

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



High Propeller Thrust Loading

10% Back Cavitation

High Ship Speed (Low Cavitation Number)

Page 13 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF 高速艇螺槳應用現況 (I)



Azimut 69KK_ 38 knots

Page 14 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF 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 15 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF Fleming_ 15.5 m_ 18.5 knots

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

中型遊艇



Page 16 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

<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 17 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 18 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 19 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 20 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>
<p>ZF</p> <p>高速艇螺槳應用現況 (II)</p> <p>CNB 20 m Police Patrol _ 25 knots</p>  <p>Page 21 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>	<p>ZF Speed versus Length, Displacement 遠長比 - Froude Number 佛勞數</p>  <p>Page 22 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>
<p>ZF Trends for Propulsor Application 推進器應用趨勢</p>  <p>Page 23 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>	<p>ZF Cavitation Number versus Thrust Loading 局部空泡數(0.7R)與推力負荷關係圖</p>  <p>Page 24 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>

<p>ZF</p> <p>高速艇螺槳系列與翼型斷面</p>  <p>Marlow 86_29 knots</p> <p>Page 25</p> <p>ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>	<p>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</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>SHIP SPEED (Knots)</th> <th>PROPELLER BLADE SECTION</th> <th>PROPELLER BLADE SECTION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2"><25</td> <td>AEROFOIL</td> <td>MAU, Vagenengen-B/NACA</td> </tr> <tr> <td>AEROFOIL</td> <td>MAU, Vagenengen-B/NACA</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">25-35</td> <td>OGIVAL</td> <td>Goen, Gawn-Burrill (KCA)</td> </tr> <tr> <td>CRESCENT</td> <td>Newton-Roder, New-Foil</td> </tr> <tr> <td>35-40</td> <td>CRESCENT</td> <td>Newton-Roder, New-Foil</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">40-50</td> <td>CRESCENT</td> <td>Newton-Roder, New-Foil</td> </tr> <tr> <td>SC or SPP</td> <td>Rolla, SUS</td> </tr> <tr> <td>>50</td> <td>SC or SPP</td> <td>Rolla, SUS</td> </tr> <tr> <td>30-50</td> <td>Cupping</td> <td>Cupping KCA or NF</td> </tr> </tbody> </table> <p>Page 26</p> <p>ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>	SHIP SPEED (Knots)	PROPELLER BLADE SECTION	PROPELLER BLADE SECTION	<25	AEROFOIL	MAU, Vagenengen-B/NACA	AEROFOIL	MAU, Vagenengen-B/NACA	25-35	OGIVAL	Goen, Gawn-Burrill (KCA)	CRESCENT	Newton-Roder, New-Foil	35-40	CRESCENT	Newton-Roder, New-Foil	40-50	CRESCENT	Newton-Roder, New-Foil	SC or SPP	Rolla, SUS	>50	SC or SPP	Rolla, SUS	30-50	Cupping	Cupping KCA or NF
SHIP SPEED (Knots)	PROPELLER BLADE SECTION	PROPELLER BLADE SECTION																										
<25	AEROFOIL	MAU, Vagenengen-B/NACA																										
	AEROFOIL	MAU, Vagenengen-B/NACA																										
25-35	OGIVAL	Goen, Gawn-Burrill (KCA)																										
	CRESCENT	Newton-Roder, New-Foil																										
35-40	CRESCENT	Newton-Roder, New-Foil																										
40-50	CRESCENT	Newton-Roder, New-Foil																										
	SC or SPP	Rolla, SUS																										
>50	SC or SPP	Rolla, SUS																										
30-50	Cupping	Cupping KCA or NF																										
<p>ZF Propellers Series 螺槳系列</p> <p>KCA – Series</p> <p>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.</p>  <p>Page 27</p> <p>ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>	<p>ZF Propellers Series 螺槳系列</p> <p>Skew KCA – Series</p> <p>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.</p>  <p>Page 28</p> <p>ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>																											
<p>ZF Propellers Series 螺槳系列</p> <p>Cupping – Series</p> <p>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.</p>  <p>KCA Cupping (4-0.75)</p>  <p>Page 29</p> <p>ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>	<p>ZF Propellers Series 螺槳系列</p> <p>NACA – Series</p> <p>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.</p>  <p>Page 30</p> <p>ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>																											
<p>ZF Propellers Series 螺槳系列</p> <p>New Foil / EV – Series</p> <p>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.</p>  <p>Page 31</p> <p>ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>	<p>ZF Propellers Series 螺槳系列</p> <p>Surface Piercing Propeller</p> <p>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)</p>  <p>Page 32</p> <p>ZF FASTER PROPULSION SYSTEM</p>																											

ZF

高速艇螺槳使用材料



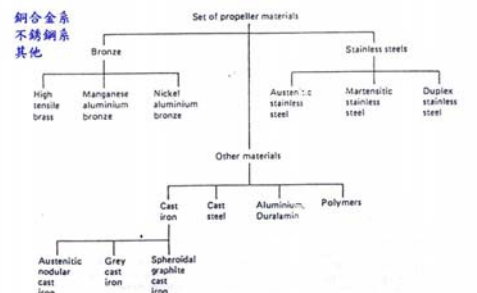
CityCat Catamaran - 26 knots

ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

Page 33

ZF

Propeller Materials Category 螺槳用材料分類



鋼合金系
不銹鋼系
其他

Set of propeller materials

Bronze: High tensile brass, Manganese aluminium bronze, Nickel aluminium bronze

Stainless steels: Austenitic stainless steel, Martensitic stainless steel, Duplex stainless steel

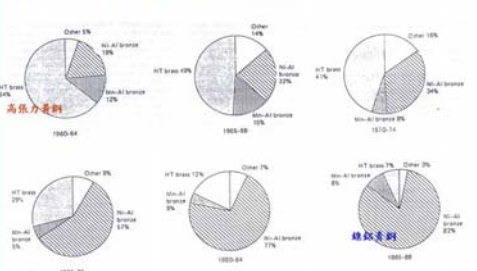
Other materials: Cast iron (Austenitic nodular cast iron, Grey cast iron, Spheroidal graphite cast iron), Cast steel, Aluminium, Duralumin, Polymers

ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

Page 34

ZF

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



高張力青銅 (High strength bronze)

錳鋁青銅 (Manganese aluminium bronze)

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

ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

Page 35

ZF

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

Table 6.1.1 Chemical composition of propeller and propeller blade castings

Alloy designation	Chemical composition of blade castings, %					
	Si	Mn	Pb	As	Sn	Mo
Grade Cu-1 Manganese bronze High tensile brass	0.40	0.4-0.8	0.04	0.005	0.005	0.005
Grade Cu-2 Manganese bronze High tensile brass	0.40	0.4-0.8	0.04	0.005	0.005	0.005
Grade Cu-3 Ni-aluminium bronze	0.40	0.4-0.8	0.04	0.005	0.005	0.005
Grade Cu-4 Ni-aluminium bronze	0.40	0.4-0.8	0.04	0.005	0.005	0.005

Table 6.1.2 Typical mechanical properties for steel propeller castings

Alloy designation	0.2% proof stress (yield strength), minimum				Elongation at break, minimum
	mm	mm	mm	mm	
Grade Cu-1 Manganese bronze High tensile brass	175	440	20		
Grade Cu-2 Manganese bronze High tensile brass	175	440	20		
Grade Cu-3 Ni-aluminium bronze	200	500	18		
Grade Cu-4 Ni-aluminium bronze	275	600	16		

Table 6.2 Typical mechanical properties for steel propeller castings

Alloy type	Tensile strength, minimum		Elongation at break, minimum	Reduction of area, minimum	Charpy impact energy, minimum (kJ/m ²)
	mm	mm			
Marathon 200 706	810	810	13.0-17.0	33	900-1.0
Marathon 200 406	600	600	13.0-17.0	33	10.0-0.8
Marathon 200 506	600	600	13.0-17.0	33	10.0-0.8
Marathon 200 706	810	810	13.0-17.0	33	900-1.0

Table 6.3 Typical mechanical properties for steel propeller castings

Alloy designation	0.2% proof stress (yield strength), minimum		Elongation at break, minimum
	mm	mm	
Grade Cu-1 Manganese bronze High tensile brass	175	440	20
Grade Cu-2 Manganese bronze High tensile brass	175	440	20
Grade Cu-3 Ni-aluminium bronze	200	500	18
Grade Cu-4 Ni-aluminium bronze	275	600	16

ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

Page 36

ZF

高速艇螺槳最新產品_小型英式推進器



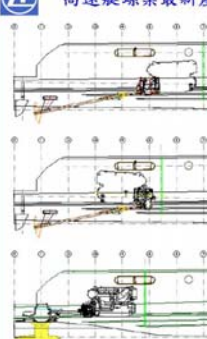
Viking 56 - 41 knots

ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

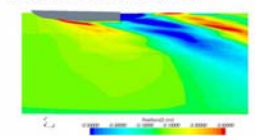
Page 37

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侵蝕
- 推進器系統可360度旋轉 不需舵即可獲得優異操控性能
- 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、艙板與推進器流體性能最佳化



ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

Page 38

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 large 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




ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

Page 39

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

ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

Page 40

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 41 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

Page 42 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF 英式推進器 _ ZF POD / ZEUS _ 性能比較

Page 43 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

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 44 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF 英式推進器 _ ZF POD 4000

ZF 4000 (Large POD)

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

Page 45 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF 英式推進器 _ ZF POD _ 應用

Lazzara 120
3 x MAN 1200HP

Azimet 62S
2 x Cat C18 @ 1015 HP

Page 46 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

ZF

FASTER PROPELLER
Expert in Propulsion System

something behind the yacht

Hatteras 60_ 41.5 knots

Thank you
謝謝指正

Page 47 ZF FASTER PROPULSION SYSTEM

四、授課照片

98 年 11 月 4 日：高速艇螺槳發展趨勢與展望	
	
主任介紹演講者王武雄副總經理	上課全景
	
介紹高速艇螺槳發展趨勢與展望	介紹高速艇螺槳發展趨勢與展望
	
說明高速艇螺槳的運轉環境	說明高速艇斜軸布置
	
上課全景	

五、演講內容

本週邀請到瑞孚宏昌王武雄總經理來到本系演講。

今天跟大家介紹螺槳，各位同學都知道，螺槳是裝在船艙，今天會跟各位說明，螺槳裝在船艙會有什麼樣的特性。今天演講的主題有五大項，第一大項為高速艇螺槳運轉環境與一般螺槳的差異，第二項為高速艇螺槳實際運用的現況，第三項為高速艇螺槳系列跟翼型斷面，第四項為高速艇螺槳使用的材料，最後談談高速艇螺槳最新產品—英式推進器(POD)。前四項是屬於造船產業中較傳統的部分，我們造船的技術在這4、50年來，發展是很緩慢的，不像手機發展的相當快速；造船業是傳統的行業，但是現在也開始面臨科技進步的衝擊。

大家都知道螺槳是裝置在船艙，在接下來的演講中，會跟各位說明高速艇使用的推進器。首先跟各位概述典型高速艇艙部的配置，通常引擎通過減速機後，通過傳動軸穿透船底延伸到船艙，藉由I軸架支撐著傳動軸，螺槳就配置在I軸架後面，在螺槳後面還會放置一個舵，大概就是這樣的設計。通常典型高速艇雙車雙舵就是由兩部引擎帶動兩個螺槳，尾部再配置兩個轉向裝置。

螺槳為船舶推進的裝置，把水從螺槳前方吸進來，透過螺槳產生的扭力再將水往後打出力，最重要的一點就是螺槳一定要吸的到水，就像是電風扇緊靠牆壁，電風扇的效率一定不好，所以通常電風扇一定要遠離牆壁；相同的道理，螺槳前方最好為開放的，所以當我們螺槳在做試驗時，我們稱為 Open Water Test (單獨試驗)，當有船體在螺槳前面時，螺槳在船後面運轉時，水的入流的速度是不均勻的，這是因為前方有阻礙，如果以雙車雙舵而言，流體的阻礙為軸、A/I 軸架，以單車而言，通常軸都穿過船體一點點後會直接連接螺槳，就有點像是電風扇貼著牆壁，對螺槳來說，牆壁指的就是艙部的線型，若是把 body plan 畫出來看，就像是前方有一堵牆慢慢縮到跟螺槳連結，這時水流就會被船給影響，所以越靠近船殼的部分速度越慢，越靠船殼遠的部分越快。從等速度線型中可觀察到，如果 body plan 是 U 形的船型，等速度現所展示出的流速就像 U 形；如果 body plan 是 V 形的船型，等速度現所展示出的流速就像 V 形。在等速度線型中所表示的 0.1 是指船速 10 節時，那這一流速為 9 節，0.1 指的就是 wake(跡流)，這就是我們剛所提到的，螺槳是在不均流中運轉，那是否有可能會在比較均勻流中運轉？這就是我們最後要介紹的 POD，就是要改善螺槳運作的惡劣環境。

由等速度線圖中觀察到，雙車雙舵流速均勻程度比單車情況好很

多，那照理說雙車螺槳應該比較好設計，但是不幸的是，由配置圖發現到，雙車時必須要設計斜軸，假如沒有斜軸那螺槳就沒辦法裝設，然而斜軸會使螺槳攻角產生變化，也就是說，當水流到螺槳頁面的時候的流速與壓力都會改變，在這樣的狀況之下，由實驗中可得知，當攻角在 0 度時，螺槳背面的空泡不多，當攻角為 90 度時，背面空泡產生，在 270 度時，螺槳正面空泡也出現了。

降低斜軸角度對螺槳設計與船的速度都有幫助，螺槳葉尖與船體間隙越大，所產生的激振力越不容易傳到船體，所以船的震動會比較好一點，因此在這兩個前提下，我們將船體挖一個隧道，我們稱為艙隧道，同時也可以調整靜止狀態下之俯仰差角度，當艙部被挖掉一些浮力之後，船的浮心會往前移，所以原來艙部會艙府的，會變成平浮，在這樣的情況之下阻力會比較小。所以一般來說高速艇使用艙隧道線型會改善速度性能與螺槳設計。

當螺槳在空蝕水槽做實驗的條件是什麼，第一個條件是水槽裡水流的速度，空蝕水槽是循環水槽，在水槽底下有個泵，測試的螺槳就擺在上面觀測水流入流速度、螺槳扭力及推力與效率，這跟我們在實際船上的情況是一樣的，實船上的馬力就透過軸提供螺槳的扭力讓他轉動，轉動後螺槳上的葉片再產生推力就可將船往前推進，螺槳所產生的推力就與飛機會起飛的原因一樣，將螺槳翼形斷面切一個切面，就和飛機翅膀一樣會有拱高，當水流由導緣流入，尾緣流出，水流經過螺槳正面及螺槳背面，正面為壓力面，壓力較大，背面吸液面，壓力較小，螺槳一邊吸一邊壓，因此可產生推力。

在量測推力與扭力時候，當水流流速越來越快時，水可能無法順著導緣流向尾緣，中間可能產生剝離的現象，此現象會造成空泡，產生空泡會浪費很多的能量，使得扭力與推力下降，由局部空泡數與推力負荷關係圖說明在不同空泡下，扭力與推力的關係，在沒有空泡的情況下，推力的效率較佳，當空泡開始產生，推力開始下降；在關係圖中， $J = VA / (N \cdot D)$ （前進速度）/（轉速）D（螺槳直徑），當 J 值越低代表螺槳上負荷越大，產生空泡機率越高，一產生空泡推力與扭力都會下降，當推力與扭力下降，同時效率也會跟著下降。

高速艇螺槳由於不均勻流與斜軸的情況下，由目前的趨勢來看，引擎的馬力也越來越大，大概在 10 年前汽缸大小的引擎與目前作比較大約差了一倍，以過去而言 800P 馬力的汽缸大小，目前可能已經可以發揮到 1600P 馬力，因此即使是小船也可以裝載大馬力的船舶，大馬力的引擎裝載之後，聯想到一個螺槳他的推力密度也會跟著增加，這時候如

果使用同樣直徑、同樣面積的螺槳去承受他，那代表空泡風險會提高；所以引擎馬力提高，船速也會跟著提高，而且船體的構材也越來越輕量化，當馬力提高、船變輕量化，船速也一定跟著提高，當船速提高對一個螺槳設計者而言也就越困難；當螺槳直徑越來越大，斜軸角度越做越大，然而螺槳直徑是有限制的，即使做了尾隧道，當直徑被限制後，會有高推力的密度，也就是說一平方米要承受的推力提高很多，這代表螺槳高空泡風險也跟著提高。

以我們造船而言，談流力、速度不是在看 10 節、20 節，而是要以無因次化，也就是我們在說的 Froude Number、速長比，所謂的高速船不是以船速定論。第二個速度的大小與空泡情況，通常 σ 在速度約 10 節時約為 6，如果跑到空泡處約為 0.4 約為 4~50 節。

當船舶在高速加上螺槳高軸傾斜角，以空泡數來講，當在 15 節時，空泡數約為 3.5，到 40 節時，空泡數約為 0.5，到 60 節時，空泡數約為 0.25；斜軸角度大部分集中在 8~12 度之間，速度越快，斜軸角度越大，這對螺槳設計者是一大難題，速度越快，空泡風險越大，斜軸角度越大，空泡風險也越大，這兩個都是往壞的方向在走，但是我們又別無選擇。我們做螺旋槳的人，在合約裡面有甲、乙、丙方，其中甲方代表老闆，吩咐乙方做事，而丙方則是無論甲方或是乙方都需要低頭的人，一艘船的船速，跟推進的配合有三個最重要的供應商，一個是船廠，負責船體的設計與系統整合，另外一個就是引擎廠商，在另外一方就是螺槳，這三個一定要合作起來才能夠做出一艘性能佳的船舶。通常這三個在一起時，製造螺旋槳的通常都是躲在桌子底下比較看不到的，通常只要速度達不到、引擎 over load 都是要螺槳廠商拿回去修改，因為船體通常是很難修改的。

提到空泡趨勢就需要回想到造船原理 Gawn Burrill 圖表，橫座標代表局部空泡數，與剛剛提到的 σ 總體空泡數不一樣，這裡指的空泡數在半徑 70% 位子的空泡數，他會將旋向速度一直加到螺槳上，縱座標談到的是推力的負載，當是值越高對螺槳越不好，目前藍色的點是過去設計的時機，藍色的線是百分之十的背面發生空泡線，用來當作高速艇螺槳設計基準。如果以沒有空泡的情況來設計螺槳，那這螺槳太貴，效率也不會是最好。一般的軍用艦艇在巡航時通常會設計到沒有空泡情況，避免聲納探測，因為當空泡產生時，空泡會破裂，會產生噪音，噪音有一定的頻譜，這頻譜經過長期的偵測與分析就會被抓到，所以要隱藏起來就需要 0 空泡的情況。

對我們做高速艇而言，第一，通常在海中運轉時間不會很長，所以

空泡基本容忍度可以放寬一點，可以放寬到百分之十的空泡面積都可以接受。在商船中，例如長榮、萬海、陽明他們的貨櫃船，或是中油他們運油的油輪，他們螺槳設計的空泡會比百分之十還嚴格，大概介於軍艦與高速艇之間，這是因為在大洋航行，一次的航次大概為三個星期至五個星期，進塢歲修時間大約一年一次，所以螺槳在設計空泡的基準要稍微嚴格一些。因為高速艇這樣小船上架時間就可以頻繁一點，所以在這樣狀況下，通常設定背面空泡的基準會在 2.5%~4% 面積產生空泡，意思就是說同樣情況下，面積會高一些，高速艇面積會小一點。大家可能會有點疑問，既然百分之 10 在這裡，為什麼設計時會設計在上面？當面積比做大了，代表使用的材料會比較重，比較多、比較貴。

在高速艇螺槳，像是 Gawn Burrill 這個圖表，大概佔分之幾的背面空泡螺槳會使推力與扭力下降？雖然產生空泡，對推力與扭力沒有明顯的，我速度還是可以跑得一樣快，這樣我可以省一點材料，比較具有競爭力，那一條現就在 14%~15% 的背面產生空泡的情況下。淺藍色的線為藍色點平均值，其他顏色的點會有各自代表的船。

由慢速遊艇開始介紹，美國 234 呎的巨型遊艇，船速 15 節，整體空泡係數為 3.5，0.7R 的局部空泡係數為 0.25，斜軸角度 9.5，螺槳尺寸 48 吋直徑、46 吋的螺距，五個葉片，面積比 0.85，用的是 NACA section。接著是中型遊艇，由屏東同華遊艇公司出產至美國的遊艇—Fleming，船長 15.5m，船速 18.5 節，整體空泡係數為 2.2，0.7R 的局部空泡係數為 0.212。中型高速遊艇，美國 Carver 65 呎的船，31 節，整體空泡係數為 0.812，0.7R 的局部空泡係數為 0.154，軸傾斜角為 11 度。高速巡邏艇，在政府單位最常看見，船速可達 41 節，船型很小，只有 13.3M，整體空泡係數為 0.464，0.7R 的局部空泡係數為 0.092，斜軸角度為 10.5 度，通常 0.7R 的空泡數小餘 0.12，這個螺槳就非常難以設計，所以這顆螺槳設計當時在基隆海洋大學的水槽做兩個去比較，最後選擇 Cupping 這型式的螺槳。51 節超高速艇，使用的推進裝置比較不一樣，是用穿水式螺槳，這種螺槳通常水只淹沒到螺槳的一半，另一半在空氣中，也就是說當速度達到某程度時，空泡是無法避免的，既然無法避免，就讓螺槳吸更多的空氣進來，讓空氣佈滿整個葉片上面，不要讓空氣在葉片上破掉，這樣葉片就還可以維持一定的推力程度。這種螺槳是屬於輕負載的船，所以不能在單車上，一定要裝載在雙車上。滑水艇，船速 38 節，船長只有 5.5m，這樣的船在普吉島、巴黎島等關關聖地常看的到，通常會在船體後面綁著滑水板、拖翼傘，這種船的特點是加速性要夠，航行時負載可能要很大，因為他還載一個人，這個人還滑在水面，所以他的阻力會很大，因此這種螺槳也很難設計，他的局部空泡係數為

0.095，螺槳又小，只有 13.5 吋，但是這個螺槳很特別，全世界在供應這螺槳的很少，在美國有一家叫做 KCFB，在這市場很擅長，過去我們公司也做過少數，但是越小成本越難掌控，而且技術也很高。

以上這幾種船中，Tige(滑水艇)速度最快，船速為 38 節，雖然 Fast Patrol 船速可達 51 節，但是沒有 Tige 快，這是因為 Fast Patrol 比較長。當我們在考慮船的速度快慢的時候是以速長比、Froude Number 來決定。在圖表中看的到，用不同單位將低速船型至高速滑水艇排列出來，當船在速度很慢時，船的重量全由浮力支撐著，當船跑到滑水艇時，99% 是用動升力在支撐船舶，代表整個船都飄在水面上，在這樣的情況下螺槳要整個泡在水面下是比較困難的，這也就是為什麼穿水式螺槳會用在高速艇會比較多的原因。

推進器在我們剛剛介紹的有兩種，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，因為我們公司沒有製造此型螺槳，所以在今天的實例介紹就沒有提到。這個圖表是說那個區域應該用全沒水式螺槳，那個區域應該用穿水式螺槳，那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，向左下方傾斜的這條線是說，在 1 噸時速度可以到 60 節，在 1000 噸的時候速度可以跑到 40 節，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，往右下方傾斜的這一塊，左邊邊界在 25 節，右邊邊界一噸時 40 節，在 50 噸時可以到 70 節，這區域適合噴水推進器；另外有一小塊在 50 噸以下，30 節以上，這塊區域適合穿水式螺槳，為什麼會有排水量的限制呢？這是因為引擎馬力越來越大，穿水槳的機構沒辦法設計到承受太大的馬力，所以目前在商品化的市場裡面，他的限制大概在 1500P 馬力以下。這個圖表示非常有價值的，大家可以從圖片看到，這幾個高速的船舶，Fast Patrol 可以跑到 51 節左右，大概九噸左右，適合穿水式螺槳或是噴水推進器；如果是 Tige 這條船，他適合全沒水式螺槳也適合噴水推進器，但是我們用的是全沒水式螺槳。

螺槳材料目前分兩大類，一個為銅合金系，另一種為不鏽鋼合金系列；不鏽鋼合金系目前大都使用在旋外機螺槳，大家看到的竹筏後面的配置的螺槳就是不鏽鋼系；另外一個領域是銅合金系，我們造船在材料科學上，這幾 10 年來進步的不多，大概在 1980 年代就很成熟了。在這幾年有開發出 FRP，所謂的塑鋼玻璃纖維，基本上他的維修、製造與剛性目前都還是被質疑的，所以基本上這還是沒有很成熟，還是沒辦法被考慮、應用在商用市場上，但在某些領域，像是軍用不希望有金屬、導

電性及不希望被偵測出來，比方說掃雷艇不希望有金屬，所以螺槳不希望是金屬的，所以就會使用塑鋼。

接下來是剛我提到的，這是一個 Gawn Burrill 的空泡係數，大家可以看到 Cavitation Number 在 local 0.7R Cavitation Numbe 0.1 左右的螺槳都很難設計，所以只要設計高速艇螺槳只要去算 Cavitation Numbe 在 0.1 左右都要很小心，以一般標準螺槳速度絕對跑不到，這幾個螺槳都有他的特性，例如 Tige 和 GC Patrol 都是用 Cupping 的螺槳，Fast Patrol 用的是穿水槳，正常使用的螺槳是用 NACA、KCL 的螺槳。所以我們在設計高速艇螺槳要對於整體全觀，要知道運轉在那個位置，知道要用什麼樣的方法，否則用對老虎的方法去對付貓，那一定完蛋。設計高速艇包括剛剛我們看到 Froude Number，定義出來就知道我們船型應該怎麼設計，這是很重要的。

高速艇螺槳現在很困難的是什麼？是斜軸的問題。在這幾年 在國內開發新翼形、new blade section，去克服在高斜軸角度之下堆力維持在較高的狀態，不會下降。但以未來而言，革命性的產品出現，所謂的英式推進器出現，可以把原來的問題迎刃而解，我們剛剛說的 10 度、12 度甚至 13 度的斜軸，所以我們葉片轉到 3 點鐘跟 9 點鐘位置，對正面跟背面的流速與壓力都不一樣就會產生空泡，在這樣的狀況之下，這種產品就改變他的想法，能不能把斜軸變成回復到單車狀態，這樣的推進系統該如何設計？目前這樣的系統還沒出來，這大概從 2005 年北歐的廠商開放的產品，這條船就是應用 Volvo 的 IPS 在 Viking 56 呎的海釣釣漁船。那這樣的推進器有什麼優點呢？第一，改善螺槳在斜軸狀況運轉，產生之效率低下與空泡浸蝕，過去來說高速引擎搭配一個減速機，透過傳動軸，再由 I 軸架支撐軸，連接螺槳運轉，舵在後面，這是很傳統的斜軸螺槳這樣的配置；後來，有些傳會希望重心往後移，甚至希望船艙的空間可以留下來當輔助艙，這時減速機廠商就發一種產品，就從同一側 input、同一側 output，這我們稱為 V drive，V 型傳動，所以將引擎倒過來放在尾部，前段可使用的空間也增加了，現在更進一步，不要斜軸，做成 Z 型的傳動，基本上引擎出來後透過減速機，再借由轉向操控，做一個 Z 型的轉向，甚至連舵都可以省去，將來推進器都可以 360 度旋轉，過去在轉向的時候是靠舵反作用力在轉方向，將來靠推力推進器直接轉一個角度直接推一個推力出來更有效；在空間上比傳統的大很多出來，在中間就很有吸引力，因為他可以增加工作生活起居空間靈活運用；此外推進器可以 360 度旋轉，不需要舵就可以獲得優異操控性能；最後一個優點是，現在計算流力越來越發達，可以運用計算流力技術，進行船體、艙隧道、艙楔與推進器流力性能最佳化，像這個圖中，

紅色的代表高壓，藍色代表低壓，這是透過計算流力去計算出來的阻力。

接下來這部分，這句話很重要，『船用推進系統革命性的產品』，這樣的說法我完全同意，這真的是一個革命性的產品，透過 Volvo 開發 IPS，過去這幾年來從 350P 馬力提升到 600P，Volvo 再過去四、五年來就冗斷這個市場，他把我們 ZF 集團本來當初是在提供減速機的，把一個在義大利的廠房給打垮過，因為那個廠房原來做的就是 400P 馬力以下的減速機，所以一個產品出來影響是很大的。在這裡面也提到過一些特性，在 25 節到 45 節間效率非常好，使用的是對轉螺槳，因為使用單螺槳效率會很差，因為他透過這裡面傳動可以提昇效率，這有點像是魚雷，魚雷也用對轉螺槳，同時也提到在 30 節以上的耗油量會降低 30%。

這是他在美國 Rampage 這家遊艇廠有一條 34 呎長的遊艇，同樣這些畫都是買這船的買主來講，跑得更快、操縱性能更好、耗油率更低，使用一個搖桿就可以操縱船舶的停靠。那我們集團在義大利廠被打垮了怎辦？當然不可能當作革命先鋒，當作一個跟隨者，跟隨者的好處在於可以學習前面的成功與失敗的經驗。這裡面剛我們提到 Volvo 冗斷，引擎、推進系統直到 IPS 推進器都是他的，被影響的不只 ZF 的減速機，其他廠商的引擎也都被影響了，因此 ZF 就號召其他引擎廠商一起合作開發，這幾年就開發了幾個產品，像是 ZEUS 450P~700P 馬力以及 POD 250P~440P 馬力的引擎，這引擎是不鏽鋼的旋外機螺槳。接下來，大家知道 Volvo 是 700P 馬力，ZF 現在開發到 1200P，這邊使用的是屬於銅合金的螺槳，這剛好是今年測試提供，預期明年就會商品化，所以 ZF 在這力是後進的跟隨者，好處就是可以整合不同的品牌，比方說引擎用 Cat C9，船速可以到 35 節，這在 Atlantis 50 呎有 4 艘。

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，也就是假如是 100P 馬力，在關係圖為 16，那代表船重為 1600 公斤，這邊相當於無因次化，等於 1P 馬力可以載的船重；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，當然統計資料是每個人去統計，以我的估計 Volvo 跟 ZF 的產品是類似的，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，這個等於越輕的船速度應該越快，越重的船速度應該越慢，應該要與 ZF 綠色的線平行才是正確的。可以從趨勢線去看大概用 POD 可以比傳統的推進快 5 節，他的憂始的來源主要他多了兩個螺槳，所以他成本會比較高，另外他附屬物的阻力比較小，傳統斜軸、I 架還有舵的效率，螺槳的效率會比較好，因為傳統的斜軸比較會產生空泡，所以這幾個優點就造就了 POD。幾個結

論就是說，今年我們幾個去測試的螺槳，在義大利 Azimut 62 呎的船，要 Cat C18 跑 36 節，在將來可以有很大的空間結合計算流力使用，以上就是我今天的報告。