

# 船舶機械遠距監控維修管理系統的設計

趙俊傑<sup>1</sup> Chao, Chun-Chieh

陳一昌<sup>2</sup> I. C. Chen

楊仲筭<sup>3</sup> Yang, Chung-Chih

張開國<sup>4</sup> Chang, Kai-Kuo

甘在國<sup>5</sup> Ken, Tzay Gwo

洪憲忠<sup>6</sup> Horng, Shiann-Jorng

辜存柱<sup>7</sup> Gu, Tswen-Juh

## 摘要

由於資、通訊科技的快速發展，航行大洋上的船隻，藉由通訊衛星建立網路連線已是一明顯的趨勢。連線後，除了一般航運公司企業總部的重要訊息可透過網頁公佈外，而航行中的各級工作人員亦可藉由 IP-based 的環境，獲得岸上的即時資訊。原用的於陸上的遠距監控、診斷也引進到航運界，使航行中的船舶得以利用岸上的人力、資訊輔助船舶的保養、維修。此研究將衛星通訊、船舶推進系統、岸上網路等不同的科技領域及岸上維修技術，在系統整合概念下，規劃及設計一可用的遠距預警、診斷、維修及管理的雛型系統。

**關鍵字：**遠距診斷、船舶機械、衛星通訊、主機性能分析

## Abstract

Due to ever advancing IT (Information Technology), there is a tendency for vessels to up-grade its communication facilities to have on-line satellite communication. With such, not only the head offices of Owners or Operators are able to distribute vital information to their vessels sailing on different waters of the world; conversely crew members on board can also get instant instructions on shore through their IP-based facilities. At-sea maintenance and repair of a ship can also be supported by shore's manpower and necessary data through a remote monitoring and diagnostic system which has been more commonly used on shore. The research has integrated different technological sectors such as satellite communication, vessel propulsion system, on-

---

<sup>1</sup> 國立台灣海洋大學副教授

<sup>2</sup> 交通部運輸研究所組長

<sup>3</sup> 中華海運研究協會秘書長

<sup>4</sup> 交通部運輸研究所副組長

<sup>5</sup> 長榮海運資深輪機長

<sup>6</sup> 交通部運輸研究所研究員

<sup>7</sup> 台灣科技大學資訊管理博士生

shore satellite communication, on-shore maintenance technical know-how, etc. An efficient prototype system which serves pre-warning, diagnostic, maintenance and management purposes has planned and developed under the system integration concept.

**Keywords:** remote diagnostics, marine engine, satellite communications, main engine performance diagnosis

## 壹、緒論

### 1.1 研究背景

在航運科技自動化的驅使下，船員編制逐漸減少。船舶自動化確可減少操縱人力的需求，但維修工作也相對的更形複雜，加以船上資源有限，因此如何有效整合船、岸兩方的資源，以維護船舶運轉的最佳化成爲當今的重要課題。無線網路與通訊衛星[1-7]的發展已使得大海中的船隻不再是孤島，如今已可與陸上網際網路連結。因此原來用的於陸上的遠距監控、診斷[8-10]也開始引進到航運界，航行中的船舶得以利用岸上的人力、資訊協助船舶的保養、維修[11-12]。海上航行時，各項裝備的使用狀況變化頗多，隨船攜行的物料配件資源又有限，甚或裝備發生的故障，已經超過船上人員的維修技術水準，此時如能透過網路的即時通信，可獲得岸上專業顧問或技術人員的支援，同時亦可利用網路搜尋距離最近且又省時、省錢的物料配件供應方式，以確保船運的妥善率與可靠性。另一方面，本系統將可因應船東或委外顧問管理公司介入機艙遠控偵測管理趨勢的來臨。

目前應用於商船的「船舶機械遠距監控維修管理系統」有若干種，各種型式的功能有其獨特的優點，國人經營的船舶建置該監控系統也是近幾年的事，且多藉建造新船時選用主機廠牌開發出來的該遠距監控系統，一體裝置使用，避免現成船規劃加裝或改裝等昂貴的費用。目前，已裝置該系統的上市航運公司所僱用船員都是經我國家考試及格取得一等輪機員的優秀甲級船員，航行中多會依該系統解決故障的排除。吾人回顧近年來因機器故障而發生海難的船舶，概以中小型的權宜籍(FOC)船舶居多，而國際間使用的現有該等監控系統的廠牌，價錢昂貴，船東聞之卻步。我國人若能研發一種實用、經濟、擴充及選擇性系統，當能被船東樂於選用而減少海難的發生。爲維護航行於我鄰近海域的船舶安全，包括海巡署及海關的公務船，以及商、漁船，均可應用該監控系統而促進海上船舶及人命安全。此系統在輪機專業上將可用於(1)建立輪機保養、管理的基本資料，執行預保養工作，以降低機械故障(2)建置船舶主、副機的各项性能圖表，預先診斷各種故障的發生(3)建立輪機專家系統，以因應輪機重大事故及發生海難的緊急措施。

## 1.2 研究目的

本研究在於開發一套遠距預警、診斷、維修及管理系統，並可以電腦在 WINDOWS 作業系統下，使用圖控程式語言和資料擷取卡，將船舶上主機及發電機的重要運轉狀態，以圖形化介面即時監測系統，結合衛星通訊數據網路傳輸，傳送至岸上維修技術人員電腦螢幕上，執行雙向通訊、診斷、維修及管理。

使用本系統的決策調度人員，因有儲存充足的資訊，平時可做船舶機械運轉狀況的管理及提供預警資訊給船舶操作人員，進行必要的處置；當船舶機械故障時，亦可做快速反應，提供必要的維修救援。

## 1.3 研究範圍

本研究係朝遠、近洋航線現成船輪機遠距監控管理系統的需求而加以發展，該系統應為多功能偵測並為各型柴油主、副機所能相容的輔助設計。本計畫的研發對象，除對現有船的自動偵測及提供維修參據等遠距監控功能外，並可提供新造船舶完整的遠距監控維修管理系統功能。研究範圍將擴及柴油主機性能所涉及故障診斷，例如主機運轉過扭(Torque rich)的判斷與迴避方法等解析。

在此研究中，通訊裝備亦扮演一重要角色，如果沒有通訊的連接，遠距聯繫的能力將無法達成。利用海事通訊衛星，聯繫船運公司與所屬海上船隊，雖已是一非常成熟的技術，但本案的研究重點在於遠距維修管理的資訊容量要以何種數據格式傳輸，才能獲得快速與安全可靠的高容量資訊交換。除了一般海事通訊的衛星線路及終端設備的選用外，亦將針對其它衛星數據服務，如 VSAT 的設備、頻寬、傳輸費用等廣泛研究，尋求較佳與備選的通信方式。一般海上資訊的傳輸大都是以檔案方式，整批傳送。本系統將建立在網際網路的 IP 環境下，藉由 TCP/IP 的通訊協定，與其它端點 (node) 交換資訊，甚至與船用的區域網路整合連接，以為後續船運電子化(e-ship)的起點。

# 貳、系統現況

## 2.1 遠距監控維修管理系統發展現況

目前遠距監控、診斷的方式可分兩大類。一為主機專業公司提供遠距服務，如日本三井船機及造船對 MAN B&W 主機提供的支援系統 e-GICS[13]；另一類則為船機監控系統本身即具有衛星連線功能，因而可由岸上直接進行監控及診斷，如日本寺崎的 Watch-Free 系統[14]、日本渦潮的船機監控系統 BEMAC BE-D20[15]、日本 JRCS 公司的 Integrated Automation System SMS-32-K[16]、挪威的 Kongsberg[17] 及美國的 GE 為服務自家產品而提供遠距診斷服務。國內的海洋大學[18]、成功大

學[19]及聯合船舶研究發展中心[20]亦有相關的研究與發展。茲就其中兩種系統簡述如下：

1. e-GICS(electronic Global Internet Customer Support) 電子全球網際網路支援系統

此係由日本三井船機及造船所開發的服務系統，該系統的功能與特點如下：

- (1) 船方將申領柴油機備用配件(DE spare parts)的指令透過 e-GICS 向三井船機報備，該系統直接在三井技術服務部門建檔。一方面可節省申領配件的時間，另一方面該系統可提供船方判斷機械故障的相關資訊。
- (2) 該系統透過船上資料記錄器(Data Logger)可提供『即時』的主機故障排除資訊。
- (3) 該系統可透過主機性能診斷(Performance diagnosis)及保養診斷(Maintenance diagnosis)而促成船方做好預保養工作(Preventive maintenance)，使船舶主機更具安全及可靠的運轉，進而可降低船舶的營運費用。

e-GICS 的資料收集方式如下：

- (1) 船上資料記錄器可直接將性能及保養基本資料(Performance and Maintenance Data)傳送到 PC，並透過海事衛星(INMARSAT)傳回船公司，船公司再經過網際網路傳送至三井船機公司；亦可由船直接上傳至 e-GICS 系統。
- (2) 性能基本資料如下：
  - 氣缸壓力
  - 排氣溫度
  - 引擎出力
  - 渦輪增壓機轉速
  - 其他
- (3) 保養基本資料如下：
  - 氣缸襯套
  - 活塞冠
  - 活塞環
  - 軸承
  - 其他

依據 e-GICS 在 2005 年 11 月 1 日的資料顯示在短短一年內的服務提供已有 93 家船公司，共 593 艘船參加[13]。這顯示船舶遠端診斷系統有其市場需求。

2. 寺崎的 Watch-Free System WE22

此係由日本寺崎電氣所發展的 PC-Based 船舶主機監控系統，其特點如下：

- (1) 採用 Windows XP，以雙 PC Server 為系統主機，具冗餘備援能力。
- (2) 具有延伸式警告系統(Extension Alarm System)，易於監看。
- (3) 採用圖控 LCD 顯示操作。
- (4) 硬碟檔案儲存各類 Log 如 Noon log、 Fixed time log、 Run hour & Flow control log、 Operation log 等。
- (5) 具各類型感測器介面、通訊網路。
- (6) 經由網路連接到船上各 Client PC，也可經衛星連線到岸上，因此可進行遠距監控、診斷。

## 2.2 國內海運公司應用船舶機械(船/岸)監控管理系統現況與展望

1. 目前國內若干海運公司所使用的船機(船/岸)監控管理系統，例如 日本三井 B&W 的 e-GICS(electronic Global Internet Customer Support)，及 Sulzer TERASAKI Watch-Free System 兩系統。該兩種系統主要是提供自動遠距監控及主機性能診斷等功能，而 e- GICS 系統可兼具備件申領及主機維護保養計畫二項功能。e-GICS 為目前台航及中鋼運通公司部份船舶所使用，而 Sulzer TERASAKI Watch-Free System 為長榮公司若干新船裝置。該等遠距監控管理系統均係當新船安裝主機時附加的額外系統，對於系統的設計與安裝均為配套裝設(P/D)，至於廠牌不同的主機或廠牌相同但機型老舊的現成船，迄今尚無安裝該遠距監控管理系統的成例。
2. 海運公司對於裝置該遠距監控管理系統意願不高的原因，除顧慮 額外的裝置費用不貲外，另外為配件管理及維護保養兩系統為長期以來海運公司本身已有現成的套裝軟體，且行之有年，不願任意更改系統的運作。而長榮公司考量其船隊龐大，2006 年初已更新使用由該公司自行研發的物料配件管理(Spare parts)及維修保養 (Maintenance Plan)兩系統。該兩種系統比傳統的申領及保養系統，更加簡便，極容易為新上任船員接受其操作程序。至於主機性能監控與診斷系統的應用，如使用 e-GICS 則須將偵測結果及疑難問題透過 e-GICS 總部的專家系統加以諮詢研判，始能獲得正確的診斷，提供船公司與船上操作人員參考，另方面，使用該系統每年仍需按船支付服務費用。由於該主機監控與診斷系統係裝置於新造船舶，船機硬體部分及自動化軟體控制部分均為較新的設計，船上船員接受度較高，較容易自我診斷，自行故障處理，尚不致依賴船公司透過遠距監控來管理運轉中的主機與輔機。基於上述理由，近年來當船東建造新船時，於訂購柴油主機時，對於編列經費去加裝此類遠距遙控的監測與診斷系統，均視實際需要與評估，始予裝置。

3. 近年來許多船東及船舶經理人喜歡在一個大型的電腦螢幕上看到自己的船隊在全球各地的船位及營運狀況，為配合船東對自己船隊管理的需求，美國已推出 WNI weather news(Total Fleet Management Service)及 AWT(Applied Weather Technology)二個全球性的船舶管理資訊平台。該等資訊平台可藉全球海氣象預測及推估，替航行船舶規劃最理想的航路(Ship Routing)，因此則可達成提早船舶抵港時間(ETA)，並節省船舶的耗油率。進一步尚可準確分析船舶性能;包括船速、耗油量及提出最理想的進塢時間以及各種租船條件等。由於該等資訊服務平台每月每船收取費用約 1,000 美元左右，許多即時船舶資料尚須透過船公司提供給該平台，始能進行分析評估。因此，除非航行於大洋的定期航線船舶有必要加入該等平台的技術服務，一般的散貨不定期船及近洋船舶，概可由本公司的海技經理人提供海氣象資訊解決取得理想航路等問題。
4. 綜合上述船舶運送人應用船舶機械(船/岸)監控管理系統的現況分析，研究團隊評估本研究計畫的規劃依據與方向如次:
  - (1) 由於船舶科技日益發達，有關航海技術的航儀、如自動導航、電子海圖等以及船舶機械自動化等技術已相當成熟，儀器設備均具雙套，故障率明顯降低且有備用者。由於目前柴油主機所使用的 C 重油每噸 350 美元，A 油每噸 550 美元，約為兩年前油價的兩倍。船東關心的是如何減少主機的燃油消耗率，船長如何因應海氣象的變化劃定最佳航路，以減少耗油。
  - (2) 海技管理主要包括船用配件、物料的申領以及定時的維護預保養，這些套裝軟體近年來發展快速，船隊龐大的船公司常採自行研發，中小型船公司則多買現成的軟體，利用公司的 EDI 自行應用。
  - (3) 為因應大部分船東的需求，宜朝船舶主機性能的遠距監測與診斷，進而改進船舶推進效能，俾減少主機耗油率;避免主機不當運轉而使機件受損龜裂，以節省配件消耗。同時可建議船東最佳的船舶進塢檢修時間，以利維持正常航行及最佳航速。

表 2.1 國內海運公司使用的監控管理系統及現況

參訪單位	船舶機械(船/岸)監控管理系統	監控管理現況
長榮海運	TERASAKI Watch-Free System	目前使用該公司自行研發系統如下: 1. 物料配件管理(Spare Parts) 2. 維修保養(Maintenance Plan)
台灣航業公司	e-GICS(具物料配件管理、維修保養及主機性能偵測三大功能)	e-GICS 屬 MAN、B&W 主機的船舶所使用，而目前台航僅使用維修保養及主機性能偵測兩種功能。
中鋼運通公司	e-GICS(具物料配件管理、維修保養及主機性能偵測三大功能)	e-GICS 屬 MAN、B&W 主機的船舶所使用，而目前中鋼僅使用主機性能偵測功能。
台塑海運公司	無	1. 由「區域維修中心」負責管理 2. 採「異常管理」為主 3. 使用 WNI 全球性資訊平台

### 參、系統規劃

本研究的目標在於規劃設計遠距船舶機械診斷維修管理系統，以提供岸端人員有關船舶主機感測資訊。此感測資訊可供船岸雙方人員合作從事故障診斷及主機性能診斷。此外，本系統也提供了衛星通訊平台以提供其他需要衛星通訊的應用系統使用。

#### 3.1 船/岸端系統規劃

針對遠距船舶機械診斷維修管理系統的需求及考慮未來的可能應用，本研究的船端系統規畫如圖 3.1 所示。本研究包含遠距診斷及維修應用系統、機艙伺服器、主控台及衛星通訊平台。除了本研究的遠距診斷及維修應用系統外，此部分將來可繼續增加機艙或甲板以下有關的應用系統。另保留應用系統、船橋伺服器及主控台做為未來船橋及甲板以上的應用系統。衛星通訊平台為相關應用系統的共用平台，因此將的置於船橋。本研究將衛星通訊平台規劃為兩部分：衛星模組及網路通訊伺服器，如圖 3.2 所示。其中，衛星模組區分為 Inmarsat B 提供 ISDN 連線；



圖 3.1 船端系統

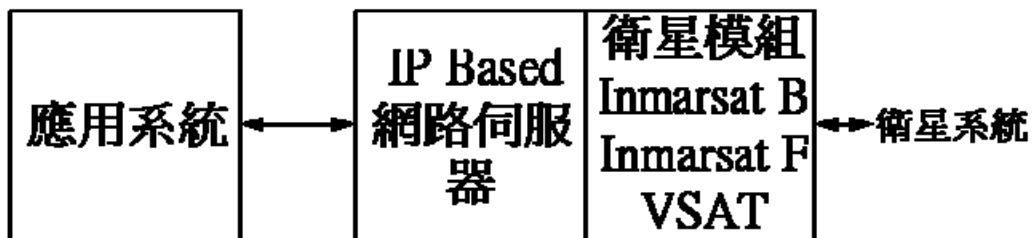


圖 3.2 衛星通訊平台分為衛星模組及網路伺服器

Inmarsat F 提供 ISDN 及 MPDS 封包資料服務；VSAT 提供 IP based 的各類服務，如資料、VoIP、多媒體傳輸等。因此本系統可適合船上現有的主要衛星通訊設備。IP Based 網路伺服器則提供應用系統一個 Satellite Independent 的環境，可大幅降低應用系統開發人員對衛星通訊的知識需求與程式撰寫的負擔。岸端則為一具衛星連線能力的圖控顯示平台。

### 3.2 硬體架構

本系統岸端以 PC 為伺服器主機，Windows XP 為作業系統。圖 3.3 所示為硬體架構，包含下列周邊介面：

1. 雙螢幕顯示，可分離顯示影像、文字、圖控畫面等。
2. 兩個以上網路卡，區隔機艙與衛星網路。
3. RS485 連結可程式控制器 (PLC) 擷取感測器資料。
4. 支援 SATA Raid 10，可提供硬碟冗餘能力。
5. Web Cam 提供視訊交談。
6. 經路由器/ 防火牆連結衛星網路 (屬於船橋網路)，遠距終端機由此連結。
7. 經由機艙區域網路連結各本地 Client PC。



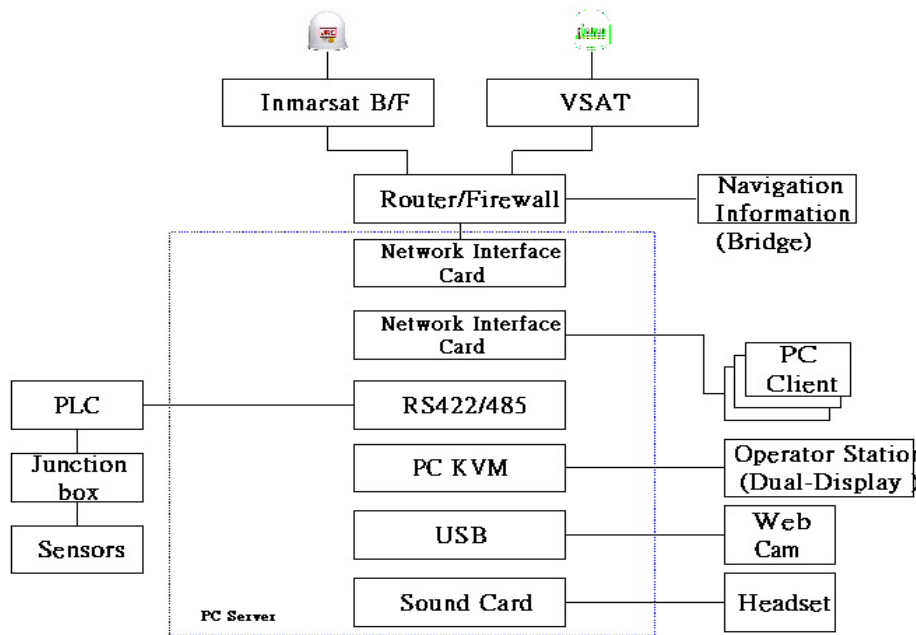


圖 3.3 硬體系統架構

### 3.3 PLC感測資料擷取

圖 3.4 為機艙感測信號經由接線盒連結至 PLC 的相關模組，如類比/數位轉換模組、白金溫度轉換模組、轉速的脈波輸入端點等。本計畫假設機艙的各類型感測器皆為原始型態未經數位化與格式化。因此藉由 PLC 的模組作為類比 / 數位轉換；利用 PLC 通訊模組的通訊協定產生特定格式的資料傳送至 PC server。對於標準介面的感測信號，如 NMEA 2000 (CAN bus based)，將於 PLC 加一 CAN gateway。

PLC 的程式可由 PC server 下載並控制其執行。針對各類型的船舶感測器，PC server 可視 PLC 為不同的週邊而安裝對應的驅動程式，亦即下載對應的 PLC 程式。

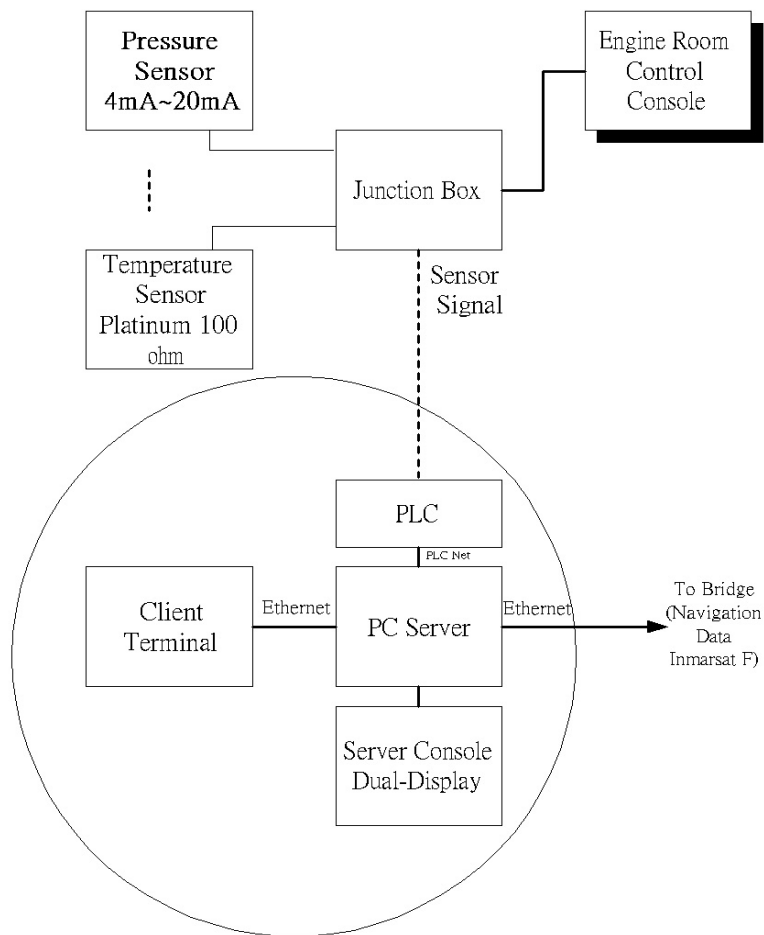


圖 3.4 PLC 的感測資料擷取

### 3.4 船/岸端軟體系統架構

圖 3.5 為本系統的軟體架構，以 multi-agent 分工合作，各 agent 主要工作如下

#### 1. 船端 comm agent (屬於衛星通訊平台)

- (1) 工作於船橋伺服器，若無機艙伺服器亦可單獨運轉使用。
- (2) 提供船上衛星通訊需求。
- (3) 提供 GPS 的船位、航向、航速，到船舶監控系統。
- (4) 定時回報船位、航向、航速、文字訊息等資料。

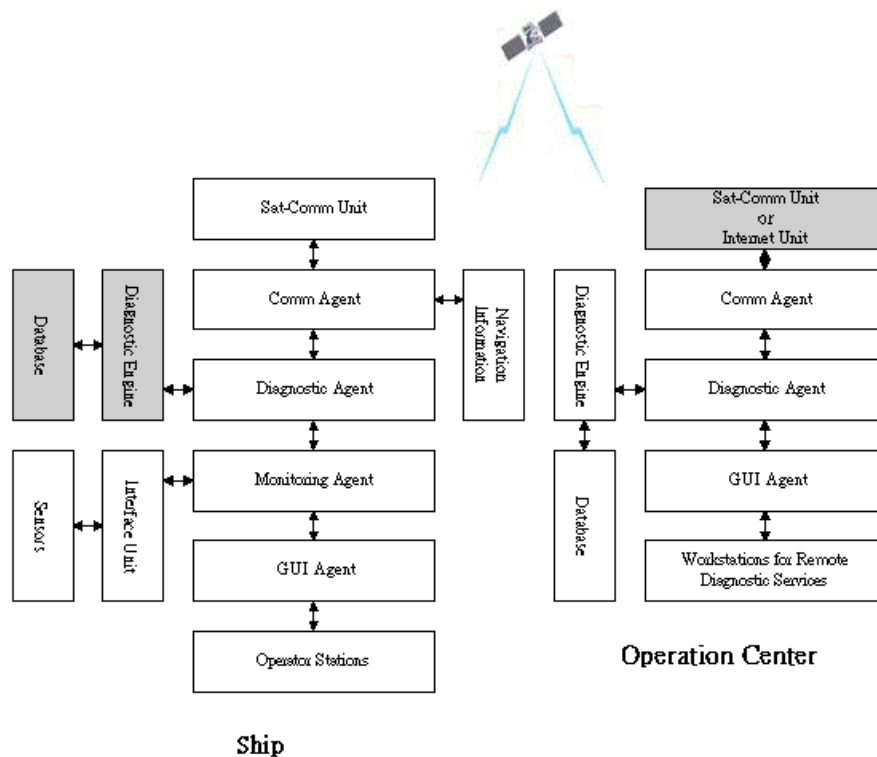


圖 3.5 軟體系統架構

2. 岸端 comm agent
  - (1) 提供岸端系統對衛星通訊的需求。
  - (2) 處理船端的船位回報資料。
3. 船端 diagnostic agent
  - (1) 負責接收 monitoring agent 所提供的感測資料，執行資料存取、資料庫更新的工作。
  - (2) 聯繫岸端 diagnostic agent 取得或傳送資訊。基於通訊限制因素，在適當時機進行特定的資料壓縮以減少資料流量。
  - (3) 將必要的資料送 GUI agent 做圖形資訊顯示。
4. 岸端 diagnostic agent
  - (1) 聯繫船端 diagnostic agent 取得或傳送資訊，執行儲存、資料庫更新及診斷的工作。
  - (2) 將必要的資料送 GUI agent 做圖形資訊顯示。
5. monitoring agent
 

控制 interface unit 取得所需的感測資料。
6. GUI agent
  - (1) 負責圖控的人機介面輸出入。
  - (2) 提供網路通訊功能，Client PC 的連線。

(3) 系統管理。

### 3.5 系統特點

本系統綜合主機廠商與船機監控廠商所提供的服務與平台，使成爲一完整的遠距監控維修管理系統，其特點如下：

- (1) 本系統提供圖控資料傳輸平台
- (2) 本系統提供多媒體的視訊、語音交談、即時訊息功能
- (3) 本系統可進行即時遠距診斷
- (4) 在衛星已連線時，可提供 Email (公務、私人信箱)功能。船公司可自建或租用郵件伺服器或使用網際網路上的其它 Email 信箱，供公務、船員使用
- (5) 在衛星已連線時，可提供網頁瀏覽、檔案及影音下載
- (6) 本系統的衛星通訊平台可依設定自動回報船位、航向、航速、文字訊息等資料

## 肆、低速主機性能分析與出力監控

### 4.1 低速柴油主機的運轉性能與過扭(Torque rich)

使用定距螺旋槳 ( Fixed Pitch Propeller ) 的柴油機，當船舶的載重(或船體阻力)是常數時，柴油機的出力(PS)與主機轉速(或船速)的立方成正比，即

$$P \propto N^3 \text{ 或 } PS = K_1 N^3 \quad (1)$$

$K_1$ : 常數

而通過  $PS=100\%$ ， $N(\text{rpm})=100\%$ 交點的立方曲線稱爲「螺旋槳定律曲線」，參考如圖 4-1。

當船在海上航行，遭遇惡劣海流或船殼髒污時，船體阻力將增加，使主機轉速降低。也就是使主機所費扭矩(或平均有效壓力  $P_e$ ) 增加。

$$T = K_2 \frac{PS}{N} \quad (2)$$

T: 主機扭矩

$K_2$ : 常數

圖 4.1 中，當船體阻力漸漸增加時，主機運轉點(出力線與轉速線的交點)則向左移(例如自 A 點移到 B 點)。如果主機運轉點超過「螺旋槳定律曲線」且位於其左側，則

謂主機是在「過扭」(Torgue Rich)情況下運轉。當柴油機以「過扭」運轉，則其氣缸內的平均有效壓力及熱負荷都增加，對機器將產生下列不良的影響。

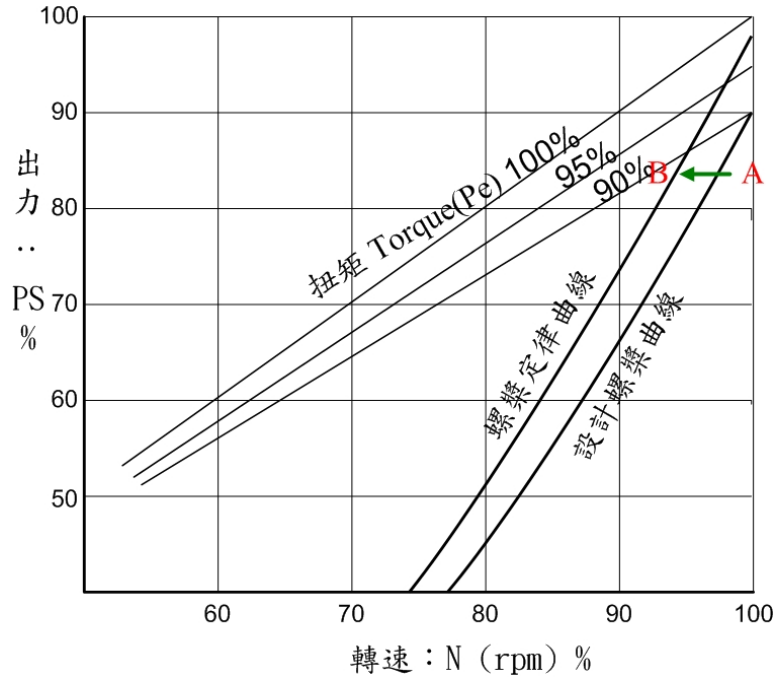


圖 4.1 螺槳定律曲線

1. 排氣溫度升高。
2. 渦輪增壓機產生波振。
3. 燃燒室部分將增加下列的損傷:
  - (1) 氣缸蓋及活塞頭燒損或龜裂。
  - (2) 排氣閥燒損及吹漏。
  - (3) 活塞環異常磨耗及裂斷。
  - (4) 氣缸襯套刮傷及裂損。

為防止「過扭」而產生的這些弊害，當船在新造時，螺槳的設計將視各種船型的需求在轉速上對「螺槳定律曲線作出 1.5%~5.5% 的餘裕，然而當停泊時間太長，或船體髒污更甚時，主機的運轉點將很容易進入「過扭區」。因此，對主機出力應作嚴密的選擇與控制。

#### 4.2 低速柴油主機出力的監控

各類船舶所安裝的主機不論為何種型式，均有其連續使用的允許出力範圍，船上的輪機人員必須嚴格遵守。

## 1. 控制柴油主機實際出力的限制

- (1) 出力限於最大連續出力的 90%。
- (2) 轉速限於最高轉速的 100%。
- (3) 在「螺槳定律曲線」上的 90%最大連續出力，求得其扭矩(或平均有效壓力  $P_e$ )限於 93.22%。

此扭矩係由前述公式(1)、(2)而得，推演如下

$$T \approx \frac{(PS)}{N} \approx \frac{(PS)}{(PS)^{\frac{1}{3}}} \approx (PS)^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

當  $PS=90\%$ 時  $T \approx 93.22\%$

- (4) 其他運轉數據(如掃氣、排氣溫度、氣缸內最高爆發壓力、增壓機轉速、掃氣壓力等)控制在主機製造廠所建議之數據。

## 2. 實際出力的控制

前項(2)-(3)的各種限制圖示如圖 4.2。先正確算出本船主機的出力(PS) 與轉速 (rpm) ，然後將運轉點標示在圖表上，而得知運轉點的位置。如果運轉點位於由三條直線( $PS=90\%$ ， $RPM=100\%$ ， $Torque=93.22\%$ )所圍成的 **A** **B** **C** 區域內，如圖 4.2 所示，則表示此主機是在可連續使用的允許運轉範圍內運轉。反的，如果運轉點落於 **D** 區域，則是超過允許運轉範圍，主機不能長時間在此情況下運轉，必須立刻減低主機出力至允許範圍。

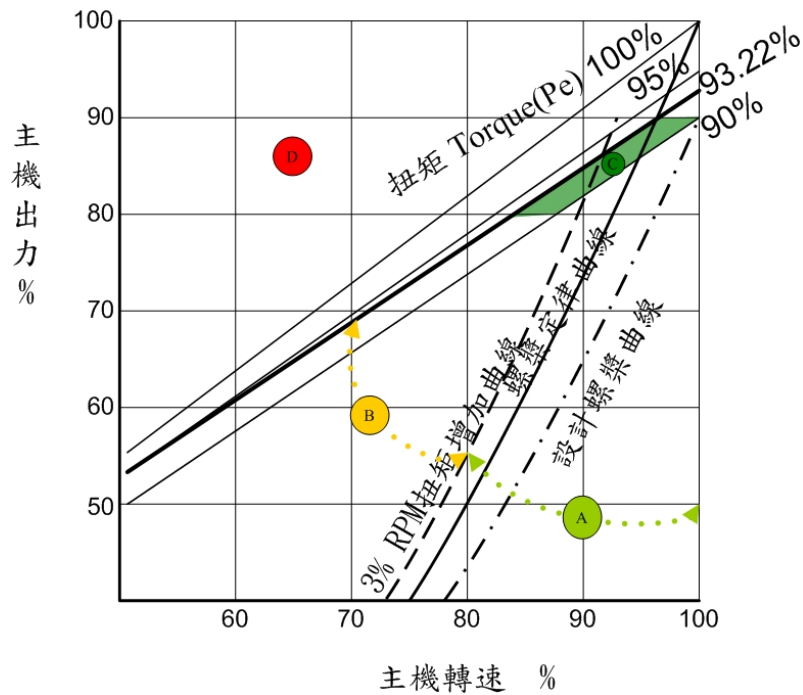


圖 4.2 主機出力與轉速的限制

當監控主機實際出力時，必須特別注意下列事項:

- (1) 盡可能使主機運轉點在允許運轉範圍內，即 **A** **B** **C** 區域內以較高出力運轉。
- (2) 在正常出力下，主機的運轉須低於 3% 轉速扭矩增加(A 區)的情況。
- (3) 當主機連續運轉數超過 3% 扭矩增加，這可能表示船殼過髒，渦輪增壓機效率低、空氣冷卻器太髒等，必須盡快與公司連絡，尋找原因，做出解決之途。
- (4) 當主機在比較高出力及高扭力(C 區)下運轉，其主機運轉數據可能超出製造廠之建議值，因此必須注意防止超限，尤其是排氣溫度。
- (5) 如何正確計算主機出力，強調採用以耗油量計算的 PS2(參考主機現況報告 Engine condition report)

$$PS_2 = \frac{W}{\frac{W_0}{C} \times C_0^1} * PS_1$$

(4)

W：每小時的燃油消耗量 (kg/Hr)

參考燃油溫度，更正其比重

$W_o$ : 廠試 90%負荷時耗油率 (kg/PS Hr)

$C_0^1$ : 廠試所使用燃油的熱值

$C$ : 實測時所用燃油的低熱值 (kcal/kg) 參考預估熱值表

(6) 如前所述，當新船時，其設計有 1.5%~5.5% 的螺槳餘裕，因此，當船體不髒時得以最大出力增加轉速至 100%。除非有明顯的原因，主機轉速，不必限於 MCR 轉速 96.5%(即螺槳定律 PS=90%時下運轉)。

(7) 上述各項不適用於減速經濟航行。

### 4.3 主機過扭的現象與原因

由圖 4.3 典型的主機性能曲線顯示:

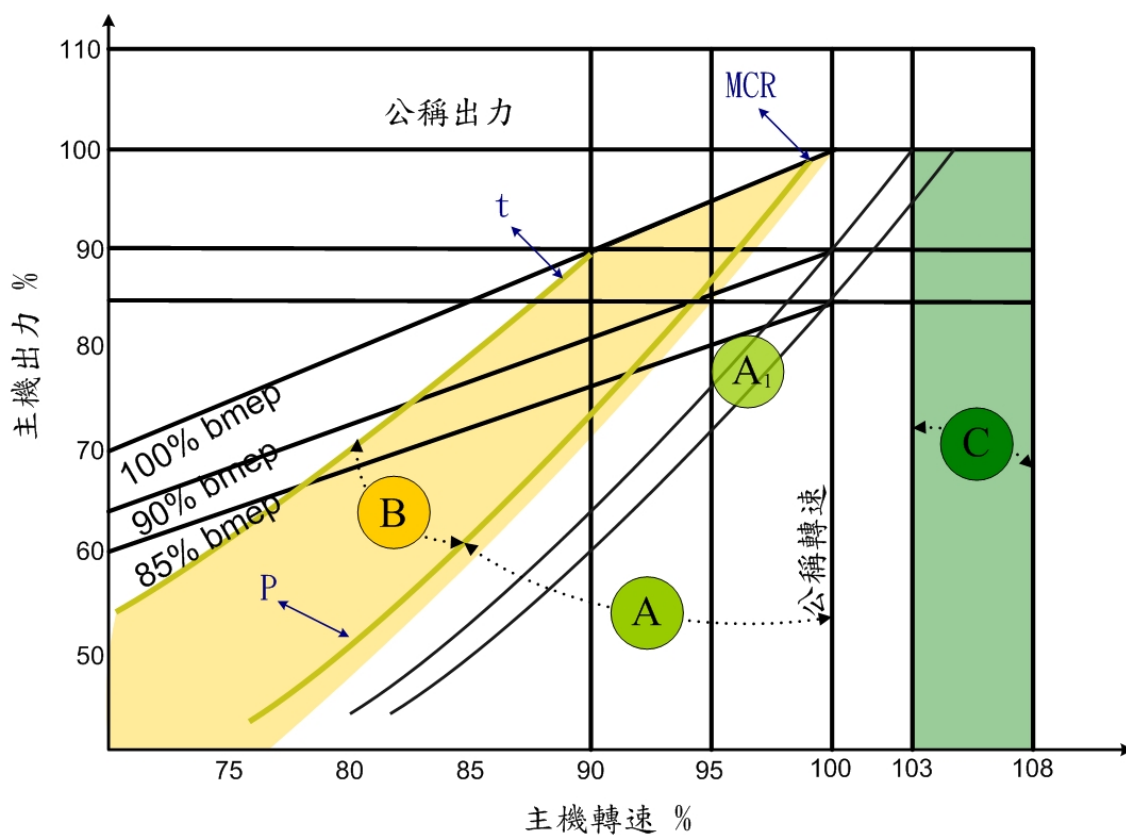


圖 4.3 主機性能曲線

說明:

Ⓐ 連續運轉的最佳區域。



Ⓐ 螺槳設計推薦範圍 (船殼乾淨、滿載、好天氣時的海上試俾，在 100%轉速時主機最適當出力範圍為 85-90%，依船型選定最佳轉速餘裕。

Ⓑ 為累計 2,000 Hr 的工作限制區，其運轉區限制在 95%額定最大連續出力(MCR)範圍內

Ⓒ 為相對 MCR 超轉速 103%~108%的運行區，它只允許在新船試航時試驗 MCR 輸出功率使用。

註：p: 通過 MCR 點的螺槳曲線，正常營運作業點應該在 P 曲線的右方。

t: Ⓑ 區域的最低極限曲線。

當主機的運轉點超越主機性能曲線中的 Ⓐ 區域，而進入 Ⓑ 區域時，將造成下列不良後果:

1. 過度的機械負荷及熱負荷，易導致機件的損壞。
2. 螺槳轉速下降，致燃料與掃氣比(Fuel/Air ratio)增加。掃氣不良，各軸承負荷增加，局部過熱，污染增壓機噴嘴、葉片、導流片及保護格柵，使運轉情況更形惡化。
3. 因排氣溫度超越容許限度而造成下列不良影響:
  - (1) 排氣閥過熱而燒毀。
  - (2) 排氣口及其它通路管可能發生破裂。
  - (3) 氣缸內壁與活塞溫度上升、氣缸油劣化、摩擦面的磨耗增加。
  - (4) 熱效率降低，馬力更形下降。

由此可知，主機在過扭情況下運轉時，不但耗油量增加且易導致故障，必須盡量予以防止。

以流程圖顯示船舶主機造成過扭的原因與不良的後果，如圖 4.4 所示。

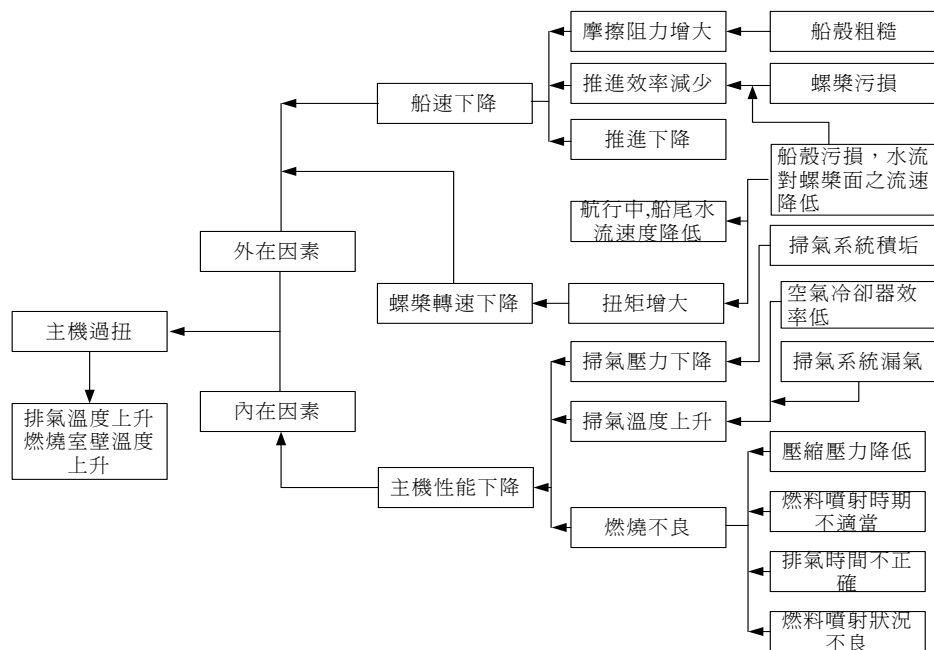


圖 4.4 主機過扭的原因與不良後果

#### 4.4 減低主機過扭的有效措施

防止運轉點進入 (B) 區及在過扭情況下運轉的方法如下:

1. 加強主機保養工作，以防止主機本身性能的劣化。
2. 定期進塢，保持船殼的光滑平順，而減少推進阻力。
3. 使用高性能的防污漆(antifouling paint)。
4. 從設計上改進主機運轉容許範圍，以減低運轉點接近過扭線的

能 (A) 區的左側)或擴大超速的範圍 (A) 區的右側)。

其主要方法如下:

- a. 發展高效率的增壓機，採用二段(Two stages)增壓機及增壓機與主機配合點(Matching point)的改變。
  - b. 加強燃燒室各部件的熱負荷能力及耐久性等。
  - c. 強化各軸承的材料，以增加其承受負荷之強度。
  - d. 研討各動閥、逆動部分的慣性、摺動部分的潤滑，機器本身的震動等問題。
5. 修改螺槳，降低扭矩，以恢復船速

隨著船齡的增加，船舶的主機轉速自然下降，當其主機是柴油引擎而其運轉點進入主機性能曲線左側區內，在過扭情況下運轉時，最有效的補救方法是修改螺槳，以減輕負荷，同時提高轉速，使其運轉點恢復到主機性能曲線右側區內。

修改螺槳 (Propeller modification) 有下列三種方法：

- (1) 葉尖部分割除 (Blade tip cut) —— 葉片尖端切除，以減輕負荷而提高轉速，此種方法必須事先詳細規劃與設計，避免螺槳造成空蝕 (Cavitation) 或扭振動 (Torsional vibration)。此種方式的另一缺點則為螺槳直徑減小，效率降低。
- (2) 葉片扭轉 (Twisting of propeller blades) —— 將葉片用強壓 (Jack 等方式) 改變螺槳的節距 (Pitch)，而提高轉速。此種方式須在特定工廠，具有特殊工具才能實施，甚為不便。而且在強壓施工時，葉片的材質可能受損害。
- (3) 葉片邊緣割除 (Edge cut) —— 此法係將葉片後緣 (Trailing part) 部分切除、整修以改變圓順部分 (Wash back) 及有效節距 (Effective pitch)，以提高轉速，而不影響推進效率及材質。而且施工容易，在任何船塢均施工。甚至螺槳裝在艙軸上時亦可施工，這種是較為理想的螺槳修改方法。

另外換新設計螺槳，除可改善主機過扭現象外，尚可增加推進效率。

#### 4.5 船體、主機、螺槳三者的關係

1. 船殼阻力、螺槳效率及主機馬力三者是決定船速的主要因素隨著船舶出塢的日數，船殼外板因生長海生物，以及因海浪的衝擊而凹凸不平，或日久生鏽等原因，船殼阻力日漸增加，且在航行時，因受風與波浪的影響，亦使船殼阻力增加。而螺槳亦因日久污損，其效率亦日漸降低。同時主機的各氣缸與活塞也因日久磨損而漸增其間隙，致使各缸的平均有效壓力日漸降低，且各缸的排氣溫度亦漸有所不同，各缸不能在理想情況下出力，因而導致主機的轉矩曲線下降，馬力減小。據此觀的，螺槳的設計除了必須對於其理論有明確的觀念外，尤須對日後使用期間三者可能發生的某種程度變化有一深刻的瞭解，方能在船殼、螺槳、主機三方面作一適當的抉擇與配合，使螺槳設計趨於完善，並維持一定的船速。
2. 隨著船舶出塢日數的增加三者性能的變化及其相互的影響。根據英國海軍的研究結果，因船殼污損所增加的阻力在溫帶海域每日約為總阻力的 0.25%，熱帶海域每日約為 0.5%。日本商船大學的實習船齊育丸的長期實船試驗結果，可知船舶剛出塢時期因船殼污損而欲保持船速不變時需增的馬力增加率較小，但隨著出塢日數的增加則漸增其增加率，當船殼全面污損時，同一速度所需的馬力竟可能高達潔淨船殼時二倍以上。

螺槳污損時，其效率亦低，全面污損時的效率亦可降至潔淨螺槳的效率的一半以下。

主機的各氣缸與活塞因日久磨損，漸增其間隙，致使各氣缸的平均有效壓力日漸下降，各氣缸的排氣溫度亦漸相異，致使各氣缸不能在理想情

況下出力而導致主機轉矩曲線降低，馬力因而減小。今以 5,600D.W.T 香蕉船為例，該輪於 1967 年 5 月交船開始航行，該輪主機的最大連續額定馬力 (Max continuous rating, MCR) 為 4,200BHP 190R.P.M，其轉矩為 15,832kg-m，於 1968 年至 1970 年間該輪主機實際運轉的情況，轉矩降至 13,683kg-m~14,520kg-m，因出塢時間而異，此時主機的馬力則降至 3,630~3,852PS。

### 3. 船殼污損後對於螺槳與主機出力的影響

圖 4.5 為某船的馬力曲線，當船殼污損時，因阻力增加，馬力曲線亦上移，若螺槳轉速仍為  $N_1$  時，則其船速將由  $V_1$  降至  $V_2$ ，此時螺槳所需的扭矩亦因較潔淨船殼時螺槳所需的扭矩為大，見圖 4.6，但事實上主機的連續額定扭矩曲線有一定值，已無法供應螺槳所需的扭矩，而只能供應  $T_3$  的扭矩，故螺槳轉速必由  $N_1$  降至  $N_3$ ，轉速既降則主機的出力亦降，見圖 6.2.5。

由此觀的，若主機最大連續額定轉速為  $N_1$ ，則主機雖有  $PS_1 (= \frac{2\pi N_1 T_1}{75})$

但船殼污損時的螺槳僅能吸收  $PS_3 (= \frac{2\pi N_3 T_3}{75})$ ，亦即主機有一部份馬力

$[= \frac{2\pi}{75} (N_1 T_1 - N_3 T_3)]$  是螺槳無法發揮出來而形成浪費。

為了避免船殼污損時船行阻力增加而船速降低，終導致主機馬力無法全部發揮，造成船速驟降的惡劣結果。則可循以主機轉速  $N$  的預留及船殼的有效馬力曲線的預留法，加以預防的。

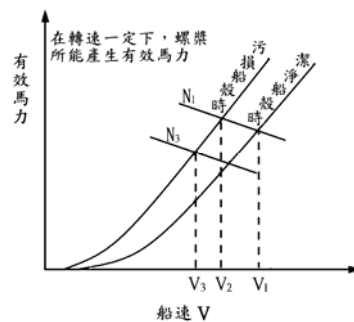


圖 4.5 船速／馬力關係曲線

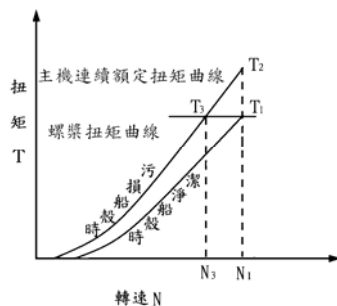


圖 4.6 轉速／扭矩關係曲線

#### 4.6 主機性能與螺槳轉速餘裕

為使船體、主機及螺槳在預期使用年限內可完全配合，在設計試航船速（假設在潔淨船體與螺槳、平靜海面及深水狀況）及額定馬力下，螺槳設計轉速應較額定轉速為高，此預留量即螺槳轉速餘裕（Propeller RPM Margin, P.R.M.），如圖 4.7 所示。一般而言，螺槳轉速餘裕係由主機製造廠及船廠視實際需要決定的，通常約取為 1.5~5.5%，一般的小漁船因主機都具有等扭矩性能，故多取為 1.5~3.5%。

範例：如螺槳轉速餘裕 P.R.M=5.5%

假設：船舶於設計滿載吃水，主機出力 100%，轉速 100%（即 MCR）時，船速為 100%

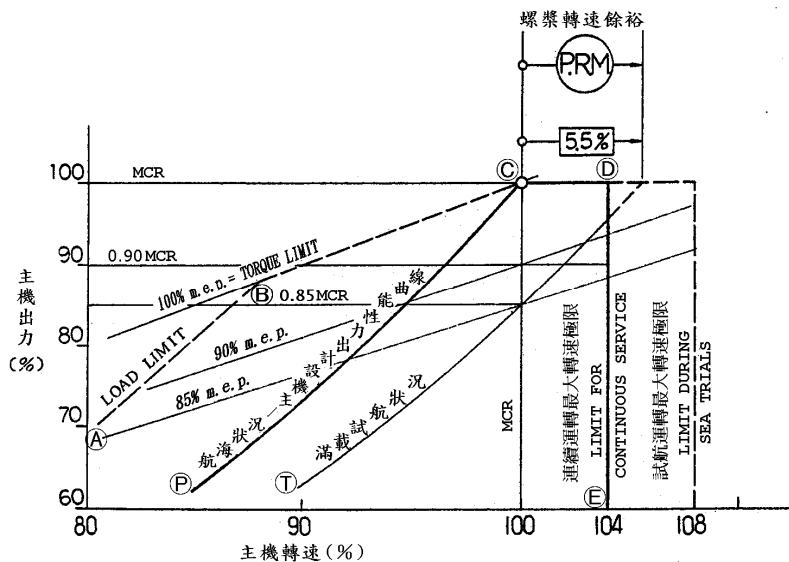


圖 4.7 主機性能與螺槳轉速餘裕

## 伍、結論

在參訪國內主要船公司的後，了解船東關心的是如何減少主機的燃油消耗率，船長如何因應海氣象的變化劃定最佳航路，以減少耗油等課題。為因應大部分船東的需求，本研究的應用系統係朝船舶主機性能的遠距監測與診斷發展，進而改進船舶推進效能，俾減少主機耗油率，避免主機不當運轉而使機件受損龜裂以節省配件消耗。同時可提醒船東最佳的船舶進塢檢修時間，以利維持最佳航速。

在系統平台建置上，目前 Inmarsat-B/Inmarsat-F 廣為國內船公司所採用，但 VSAT 在頻寬與持續連線的優點有可能成為本研究的重要助力。雖然目前涵蓋全球的 C-band VSAT 的天線尺寸較大，而天線尺寸較小的 Ku-band VSAT 尚未完成全球涵蓋，本研究仍規劃 Inmarsat-B、Inmarsat-F 及 VSAT 三者為遠距通訊的載體，皆可在本系統使用。

本研究的基礎架構除供原定的遠距監控與診斷使用外，尚有多項功能可供其他的用：視訊、語音、即時訊息的雙向交談；Internet 上的 Email 收發；瀏覽網頁；自動回報船位及文字訊息。

## 參考文獻

1. Pratt, T., Bostian, C.W., & Allnutt, J.E. (2003) Satellite Communications, 2<sup>nd</sup> Edition, Wiley & Sons, New York.
2. FURUNO. Inmarsat Fleet F77 Earth Station, Retrieved January 5, 2006, from <http://fleet.inmarsat.com/pdf/FELCOM70.pdf>
3. JRC. JUE-410F Fleet F77 Ship Earth Station, Retrieved January 5, 2006, from [http://www.jrcamerica.com/product.asp?Product\\_id=17527&d\\_id=5311&l2=&l1=5311](http://www.jrcamerica.com/product.asp?Product_id=17527&d_id=5311&l2=&l1=5311)
4. Nicopolitidis, P., Wireless Network, John Wiley & Sons, New York, 2003
5. Bing, B., Wireless Local area Network, John Wiley & Sons, New York, 2002
6. Palter, D.C., Satellite and The Internet: Challenges and Solutions, Design Pub, California, 2004
7. Harris, M., Communications at Sea: Marine Radio, Email, Satellite, and Internet Services, Sheridan House, New York, 2003
8. You, S., Krage, M. & Jalics, L. (2005,4), Overview of Remote Diagnosis and

Maintenance for Automotive

Systems, <http://delphi.com/pdf/techpapers/2005-01-1428.pdf>

9. Ronald K. Jurgen, "On- and Off-Board Diagnostics - Automotive Electronics Series," Published by Society of Automotive Engineers, Inc. 2000.
10. Jianhui Luo, Fang Tu et al, "Intelligent modelbased diagnostics for vehicle health management," Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering, pp. 13-26, April 2003, Orlando, USA.
11. Marlink, Sealink Maritime VSAT, Retrieved January 5, 2006, from [http://www.marlink.com/dt\\_product\\_front.asp?gid=166&mgid=&g6=x&g13=x&g164=x&t=Products&t2=Services](http://www.marlink.com/dt_product_front.asp?gid=166&mgid=&g6=x&g13=x&g164=x&t=Products&t2=Services)
12. GE, Marine Automation, Retrieved January 5, 2006, from <http://www.geindustrial.com/cwc/solutions?id=1081>
13. MES (2005, November). e-GICS --- With an aim to achieve more advanced technical service for all customers of MITSUI MAN-B&W Engines. MES Technoservice Co., Ltd.
14. Terasaki. WE22 Operation Manual, Terasaki Electric Co., Ltd.
15. BEMAC Uzushio. A Proposal of the Machinery Alarm Monitoring and Control System in Ubiquitous Computing, Uzushio Electric.
16. JRCS, Integrated Automation System SMS-32-K, Retrieved July 9, 2006, from [http://www.jrcs.co.jp/eng/product/product\\_a\\_1.html](http://www.jrcs.co.jp/eng/product/product_a_1.html)
17. Kongsberg Online services  
(<http://www.maritime-simulation.kongsberg.com/KS/WEB/NOKBG0237.nsf/AllWeb/50523E60922D15E2C1256E7F0031B695?OpenDocument>)
18. 海洋大學導航與通訊研究所 (2003,1).沿近海漁船監控硬體設備性能及海上測試.
19. 張乃加、趙儒民, "船舶網路式安全監控的研究", pp. 1-14, NI DAYS 2002-2003, National Instruments.

20. 聯合船舶設計發展中心，船舶整合式數位監控系統開發製造，Retrieved from [http://www.usddc.org.tw/chinese/itis94/G943020\\_船舶整合式數位監控系統開發製造.pdf](http://www.usddc.org.tw/chinese/itis94/G943020_船舶整合式數位監控系統開發製造.pdf)