

# 雙體船推進動力系統效能分析之研究

著者／鄭哲民 陳仁郁

中正理工學院兵器系正83年班  
中華大學科技管理研究所碩士  
曾任後參官、場主任、科長、處長  
現為國防大學管理學院戰略班上校學員

中正理工學院造船系正88年班  
中正理工學院造船工程研究所碩士  
國防大學國防科學研究所博士  
曾任輪機官、損管官、修護官、輪機長  
現為海軍造船發展中心中校研發官

艦艇是一個武器作戰系統移動平臺，其動力裝置效能的發揮，可有效延伸戰場作戰半徑、縱深，對提高艦艇作戰能力有極其重要的作用，故在設計、研製、使用和維修等各個階段，對艦艇動力裝置進行系統效能分析，以期發揮動力系統之最大效能，並進行敏感度分析，為重要的研究課題。

影響艦艇動力裝置效能發揮的因素繁眾，其中動力系統裝置的可靠性和維修性是影響艦艇動力效能極重要之指標。

目前較普遍用於系統效能分析的方法有指數法、解析法和層次分析法等，其中美國工業界武器系統效能諮詢委員會WSEIAC(Weapons Systems Effectiveness Industry Advisory Committee)提出ADC系統效能模型，具有層次分明、容易理解等特點，在武器系統和作戰指揮系統的效能分析中已得到廣泛應用。

本文即利用ADC系統效能模型，對雙體船推進動力裝置進行效能分析，探討其平均故障時間(MTBF)和平均修復時間(MTTR)對其系統效能的影響，藉由本文可加深對系統效益評估的概念與實作能力，對未來類案研究有顯著助益。

## 壹、前言

多船體結構之設計已成為各先進國家新興主流<sup>1</sup>，主要是強調船速快、吃水淺及籌載大等優點，如：美軍之濱海戰鬥艦(Littoral Combat

Ship; LCS)獨立號(如圖1)、中共022級飛彈快艇(如圖3)。因應兩岸兵力不對稱之作戰模式，我國海軍已自力研發出新一代近岸巡邏艦，命名為「沱江」，該型艦採用最先進的

「穿浪式雙體船」(Wave Piercing Catamaran)結構設計(如圖2)，2014年12月23日完成建造，2015年3月31日成軍服役，海軍刻正執行各項戰術評測及效能評估。沱江艦具匿蹤、空間大、速度快、耐波性佳等優異效果，可配備諸多武器系統，專以攻擊大型水面船艦；戰時可在一般漁港進行隱蔽及補給作業，在戰場的生存率上，比大型艦艇更具優勢，未來此型艦艇部署後，即可達到封鎖台灣海峽、截擊犯台艦艇的戰略嚇阻，藉由「創新」、「不對稱」戰力，以小而精、小而巧、小而強，籌建現代化國防武力，滿足台澎防衛作戰需求。

「系統效能」是描述系統完成其任務的總體能力，而「效能指標」是系統完成給定任務所達到程度的度量。「系統效能評估」是軍事運籌學中最具特色課題、發展武器系統重要環節，對武器系統的設計、研製、測評、採購、服勤及維修等都十分重要，也是不可缺少有效工具與方法。準確評估武器系統效能，才能為武器系統的研製、採購、性能提升等各項作為提供客觀依據；作戰行動中，也是指揮官運用兵(火)力重要決策參考。因此，

美國工業界武器系統效能諮詢委員會(Weapon System Effectiveness Industry Advisory Committee; WSEIAC)提出「ADC效能評估法」<sup>5</sup>，藉由對系統可用度(Availability)、信賴度(Dependability)和能力(Capability)三個指標，綜合成描述系統效能的度量函數，用以評估武器系統優劣的綜合性。

本文即利用此ADC系統效能模型，針對雙體船構型進行動力系統效能評估，將主機及噴水推進器(Water Jet)之各種推進系統組合狀態及動力相對輸出功率之百分比，建立其整體動力系統效能評估模型以完成整體推進動力系統效能計算，並藉由調整可靠性和維修性參數，對其整體動力系統進行敏感度分析，瞭解平均失效間隔時間(Mean time between failure; MTBF)及平均維修時間(Mean time to repair; MTTR)對整體推進動力系統之影響。

## 貳、系統效能概念及分析方法

### 一、系統效能的概念

系統效能分析，除考量系統性能展現，應包含系統的可用度(Availability)、



圖1 三體船結構之獨立號<sup>2</sup>

圖2 雙體船結構之沱江艦<sup>3</sup>

圖3 中共022級飛彈快艇<sup>4</sup>

信賴度(Dependability)及性能展現能力(Capability)等，均是衡量系統效能良窳的重要指標。系統效能值是相對數值，不是絕對數值，而用於系統效能分析的方法，區分幾類，一類是依據評定的主、客觀程度，主觀評定方法，如專家評定法、爾菲法(Delphi Method)、層級分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)等，客觀評定法，如熵值法等；另一類是結合定性與定量的評定方法，如灰色關聯分析法、人工神經網路分析法等；再者是依據累積獲得經驗參數為分析基礎，如指數法、試驗統計法、解析法等<sup>6</sup>。各種方法均有其優缺點，針對較常使用方法加以論述。

(一)專家評定法：針對較難定量的指標，如機動性、火力、情報通信能力等，由專家進行評定，獲得專家評定之分數後加以分析，以取得系統效能值。缺點：主觀性大、專家遴選方式變數大。

(二)德爾菲法：一種結構化的決策支持技術，通過多位專家的獨立反覆主觀判斷，獲得相對客觀信息、意見和見解，專家之間不可互相討論、聯繫，避免專家意見向少數影響大的專家意見趨同<sup>7</sup>。如陳亮等人(2010年)針對物流企業效益量度指標，運用德爾菲法進行分析並建立合理度量指標體系與科學模型<sup>8</sup>。

(三)層級分析法：美國Thomas L. Satty於1960年代發展，係將複雜的多因素決策問題分解為多個層次因素，經由相互比較和權重計算、排序並擇優<sup>9</sup>。缺點：容易因專家或利益關

係者主觀意見，造成評定結果失真。如鞠東兵等人(2009年)即針對大型水面艦艇動力系統總體性能指標，採用層次分析法(AHP)計算評估各指標的權重與擇優<sup>10</sup>。

(四)熵值法：美國Claude Shannon於1948年10月在《A Mathematical Theory of Communication》發表。「熵」(entropy)用來表示能量在空間中分佈的均勻程度，用熵值來判斷某個指標的離散程度，熵值越大說明系統越混亂，攜帶的資訊越少，不確定性越大<sup>11</sup>。如卓元志等人(2011年)運用熵值法建立一種線性組合預測模型，預測年度用電量需求<sup>12</sup>。

(五)灰色關聯分析法：灰色系統理論(Grey Theory)是由鄧聚龍教授發展的系統科學理論，根據各因素變化相似程度，來判斷因素之間關聯程度，對動態過程發展態勢的量化分析，求出參考數列與各比較數列之灰色關聯度<sup>13</sup>。如張松濤等人(2010年)建立艦艇動力裝置綜合評估的指標體系，使用灰色關聯分析對艦艇動力裝置的性能進行綜合評估<sup>14</sup>。

(六)人工神經網路分析法：神經網路技術可於模式識別與分類、識別濾波、自動控制、預測等方面，應用數學方法發展起來的一種並行分佈模式處理系統，具有高度平行計算能力、自學能力和容錯能力。神經網路分析法通過不斷學習，能夠從未知模式的大量的複雜資料中發現其規律<sup>15</sup>。

(七)指數法：係指一標準之評定方法，由各級專家提出，並採用統一的指標與量化數據，

以供系統效益評估，其評估之結果精確度高，且可避免多數不確定之因子。缺點：須經大量時間的討論，且各系統之分層應明確劃分<sup>16</sup>。

(八)試驗統計法：係指將系統置於某些特定環境中進行性能測試，並藉由所獲得之大量試驗資料加以分析統計，以取得系統效能，其所獲得之結果精準度較高。缺點：耗費之時間及經費相對較大，且無法於系統研製前執行<sup>17</sup>。

(九)解析法：係以數學表達式之方式，描述系統效能模型，其易於了解，且模型之有效性高、通用度廣，已取得了廣泛的運用，包含仿真法、主因素法、能力指數法及美國工業界武器系統效能諮詢委員會(WSEIAC)所建立「ADC效能評估法」等<sup>18</sup>。

上述方法中，就以美國工業界武器系統效能諮詢委員會(WSEIAC)所建立之「ADC效能評估法」效能模型，最容易被理解與接受，目前在武器系統和作戰指揮系統的效能分析中，已得到廣泛的使用。

## 二、ADC系統效能模型分析方法

美國工業界武器系統效能諮詢委員會(WSEIAC)不僅對系統效能提出了定義，而且還律定了評估或計算系統效能的基本模型框架之「ADC效能評估法」效能模型，即系統效能是由系統的有效性、可信賴性和能力等三方面所構成，其系統效能關係式可表示為：

$$E = A \cdot D \cdot C = [e_1 \ e_2 \ \dots \ e_m] \quad (1)$$

其中，E即是「系統效能」，是預計系統滿足一組特定任務要求程度的量度， $e_k (k=1,$

$2, \dots, m)$ 即為系統完成賦予它的第k項任務的效能值。另A、D、C相關組成，說明如下：

(一)可用度(Availability; A)

可用度(A)亦可稱為有效性，係指系統開始執行任務時的狀態量度，與系統的妥善率有關，包含可靠性、可維修性、維修人員數量、維修器材狀況等，是武器、人員、程序之間的函數。若系統是由許多次系統(sub-system)組成，且於部分次系統故障狀態下，全系統仍可降級使用，則將會出現2種(含)以上之系統狀態，可以列向量的方式表示，如下式：

$$A = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n] \quad (2)$$

其中，A即是可用度向量，是在開始執行任務時系統狀態的量度。 $a_i (i=1, 2, \dots, n)$ 表示系統於開始執行任務時，系統處於狀態 i 的可用度(或是機率)。系統可用度可由系統之平均失效間隔時間(Mean time between failure; MTBF)和平均維修時間(Mean time to repair; MTTR)獲得，其關係為：

$$A = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) \quad (3)$$

(二)信賴度(Dependability; D)

信賴度(D)係指系統執行任務過程的狀態，與系統可靠度及使用過程的修復性有關，其形態可表示如下式。式中每一元素代表系統處於該狀態的機率，故每一列總合為1。

$$D(t) = \begin{bmatrix} d_{11}(t) & d_{12}(t) & \dots & d_{1n}(t) \\ d_{21}(t) & d_{22}(t) & \dots & d_{2n}(t) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{n1}(t) & d_{n2}(t) & \dots & d_{nn}(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中， $D(t)$ 即為可信賴性矩陣，是在已知開始執行任務時，系統所處狀態的情況下，在執行任務過程中的  $t$  時刻系統狀態量度。 $d_{ij}(t)$  ( $i, j=1, 2, \dots, n$ )是指在開始執行任務時系統處於狀態  $i$ ，在執行任務過程中的  $t$  時刻，轉移到狀態  $j$  的可信賴性。

在執行任務過程中，如果發生之故障之系統，可以進行修復即稱為「可修復系統」，若不能修復則稱為「不可修復系統」。不可修復系統因無法由故障狀態返回正常狀態或較佳之狀態，其狀態僅會愈來愈差，所以其信賴矩陣會變成為上三角矩陣，型式如下：

$$D(t) = \begin{bmatrix} d_{11}(t) & d_{12}(t) & \dots & d_{1n}(t) \\ 0 & d_{22}(t) & \dots & d_{2n}(t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

### (三)能力(Capability ; C)

能力(C)係指武器系統性能的評估指標，是指由一系列相互關聯的評估指標所構成，它既包括描述系統各種特性的單項性能指標，也包含對有關聯的單項性能指標進行綜合量度、描述武器系統某一方面能力的綜合性能指標，以及對武器系統所有綜合性能指標進行全面、綜合評估的最高層次的綜合評估。簡言之，即為系統完成某一任務的能力。

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1m} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中， $C$ 即為「能力矩陣」，是在已知執行任務過程中的  $t$  時刻系統狀態的情況下，系統完成任務能力的量度。 $c_{jk}$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ;  $k=1, 2, \dots, m$ )是指系統在執行任務過程中的  $t$  時刻處於狀態  $j$  時，完成賦予它的第  $k$  項任務的能力。

## 參、雙體船之動力系統架構及條件設定

### 一、雙體船之動力系統介紹

各國在雙體船動力系統設計一般採用主機搭配噴射推進系統(Water Jet)之組合，主機採複合式柴油機與燃氣渦輪機(Combined Diesel And Gas Turbine; CODAG)或複合式柴油機與柴油機(Combined Diesel And Diesel Engine; CODAD)等搭配方式。噴水推進器配有液壓驅動操控裝置，可有效導引改變噴射水流方向，藉由Water Jet的噴射方向改變艦艇行進方向(如圖四)，可媲美戰機的向量推力噴嘴，大幅提升船舶操控性。另噴水推進器藉由改變水流產生側向推力，較傳統 舵組合側向推力提高2倍以上，可輕易快速轉向，甚至原地360度旋轉，戰術迴轉半徑亦可減少約40%<sup>19</sup>。

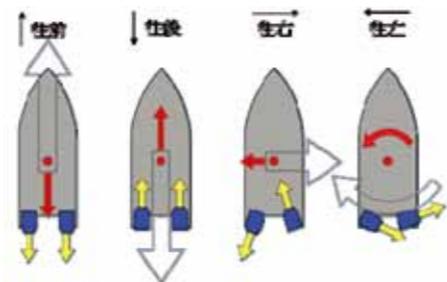


圖4 Water Jet操控方式示意圖<sup>19</sup>

### 二、噴水推進系統之架構

噴水推進器除具備高速高效率優點外，相較傳統車葉推進系統，其產生之振動與噪音，均有顯著降低，尤其船速超過20節時，振動與噪音減少的幅度更高達50%<sup>21</sup>。且藉由變化噴水推進器液壓驅動操控裝置改變噴射水流方向可行類似無段變速功能，用於船舶快速停止與加速等操船功能。另噴水推進器省去葉及舵等裝置，可有效於淺水水域操作，進出淺水港灣，在作戰艦艇運用上極具價值。

假設某雙體船之動力推進系統，以方塊圖簡化表示成一串並聯系統(如圖5)，可知任一主機均可帶動Water Jet推進，但一部Water Jet最多可接受一部主機帶動。

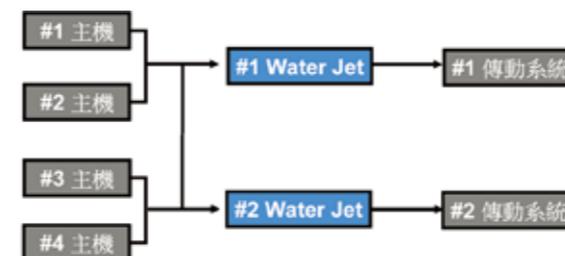


圖5 雙體船動力系統方塊圖 (資料來源：本研究整理)

### 三、動力裝置之系統狀態條件設定

本文以ADC系統效能模型，進行此動力系統效能分析，模式假設如下：

(一)Water Jet和主機系統壽命服從指數分配，系統包括兩種狀態：正常和故障。

(二)任一Water Jet和主機系統故障都會導致動力裝置的功率損失。

(三)任一主機系統故障可導致總功率損失25%。

(四)任一Water Jet系統故障可導致總功率損失50%。

由於系統為6個單元組成之串並聯系統，系統可能之狀態數為 $2^6=64$ 種可能狀態，根據總功率損失的百分比可將動力裝置的系統狀態簡化區分成10種(如表1)，並據此建立系統狀態轉移圖，如圖6。

表1 動力裝置的系統狀態表 (資料來源：本研究整理)

編號	總功率	動力系統狀態
1	100%	所有主機和Water Jet都正常工作
2	75%	只有1台主機故障，其他均正常
3	50%	2台主機故障，其他均正常
4	50%	1台Water Jet故障，其他均正常
5	50%	1台Water Jet和1台主機故障，其他均正常
6	50%	1台Water Jet和2台主機故障，其他均正常
7	25%	3台主機故障，其他均正常
8	25%	1台Water Jet和3台主機故障，其他均正常
9	0%	4台主機故障
10	0%	2台Water Jet故障

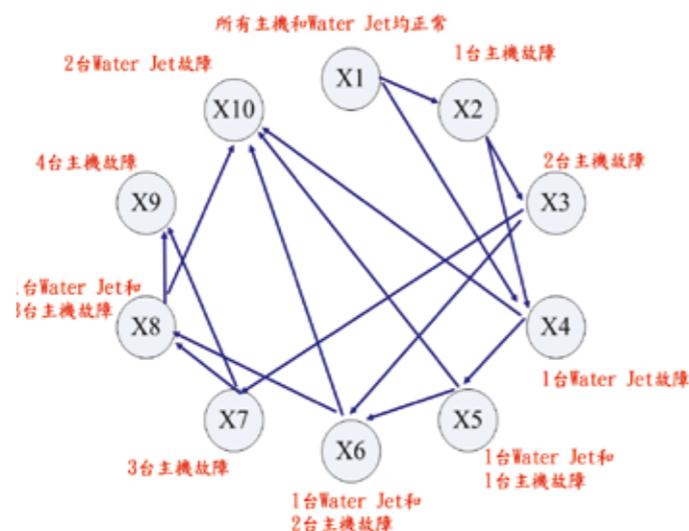


圖6 動力裝置系統的狀態轉移圖 (資料來源：本研究整理)

## 肆、推進動力系統效能評估

根據上述，可知ADC系統效能模型架構如圖7；相關系統效能評估計算流程如圖8，各項計算說明如下：

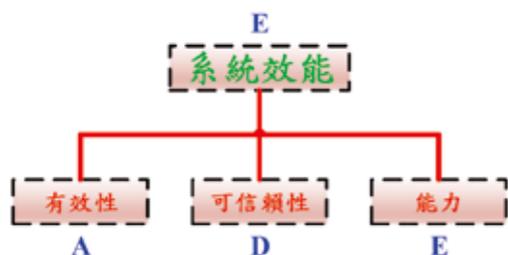


圖7 ADC系統效能模型架構圖 (資料來源：本研究整理)

### 一、系統可用度(A)計算

假設每台主機平均故障間隔時間(MTBF<sub>e</sub>)為180小時，每台主機平均修復間隔時間(MTTR<sub>e</sub>)為20小時，每台Water Jet平均故障間隔時間(MTBF<sub>w</sub>)為200小時，每台Water Jet平均修復

間隔時間(MTTR<sub>w</sub>)為15小時，由於主機和Water Jet的壽命服從指數分佈，則每台主機和Water Jet的故障率分別為：

(一)主機系統之故障率：  

$$\lambda_e = 1 / MTBF_e = 0.0056 \quad (7)$$

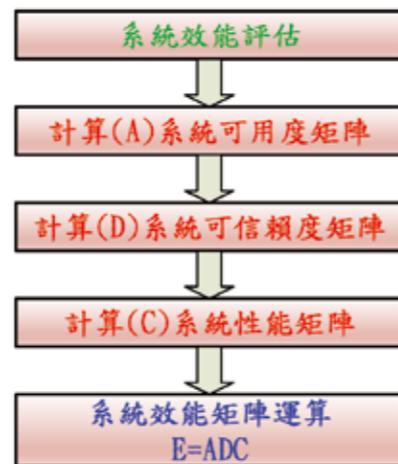


圖8 系統效能評估計算流程 (資料來源：本研究整理)

(二)Water Jet系統之故障率：

$$\lambda_w = 1 / MTBF_w = 0.005 \quad (8)$$

再分別計算主機與Water Jet系統之可用度及不可用度，分別為：

(三)主機系統之可用度：

$$A_e = MTTR_e / (MTBF_e + MTTR_e) = 0.9 \quad (9)$$

(四)主機系統之不可用度：

$$\bar{A}_e = 1 - A_e = 0.1 \quad (10)$$

(五)Water Jet系統之可用度：

$$A_w = MTTR_w / (MTBF_w + MTTR_w) = 0.93 \quad (11)$$

(六)Water Jet系統之不可用度：

$$\bar{A}_w = 1 - A_w = 0.07 \quad (12)$$

根據動力裝置系統的串聯結構，歸納出系統10種不同的狀態，並計算各系統狀態可用度即可得到可用度向量(如表2)：

可用度向量整理可得：

$$A = [0.568, 0.252, 0.042, 0.085, 0.038, 0.006, 0.003, 0.001, 0.000, 0.005] \quad (13)$$

### 二、系統可信賴性(D)計算

在任務期間(t=1小時)，每台主機(R<sub>e</sub>)和Water Jet(R<sub>w</sub>)的可靠度分別為

$$R_e(1h) = e^{-\lambda_e t} = e^{-0.0056} = 0.994 \quad (14)$$

$$R_w(1h) = e^{-\lambda_w t} = e^{-0.005} = 0.995 \quad (15)$$

每台主機和Water Jet的不可靠度則分別為

$$\bar{R}_e = 1 - R_e(1h) = 1 - 0.994 = 0.006 \quad (17)$$

$$\bar{R}_w = 1 - R_w(1h) = 1 - 0.995 = 0.005 \quad (18)$$

根據動力裝置的狀態轉移圖，建立此動力系統可信賴度矩陣，如下頁圖所示：

表2 系統動力裝置各狀態可用度計算結果統計表 (資料來源：本研究整理可用度向量整理可得)

編號	功率	狀態的定義	機率
1	100%	所有主機和Water Jet都正常工作	$A_e^4 \cdot A_w^2 = 0.568$
2	75%	只有1台主機故障，餘正常	$C_3^4 A_e^3 (\bar{A}_e) \cdot A_w^2 = 0.252$
3	50%	2台主機故障，餘正常	$C_2^4 A_e^2 (\bar{A}_e)^2 \cdot A_w^2 = 0.042$
4	50%	1台Water Jet故障，餘正常	$A_e^4 \cdot C_1^2 A_w \bar{A}_w = 0.085$
5	50%	1台Water Jet和1台主機故障，餘正常	$C_3^4 A_e^3 (\bar{A}_e) \cdot C_1^2 A_w \bar{A}_w = 0.038$
6	50%	1台Water Jet和2台主機故障，餘正常	$C_1^3 A_e^2 (\bar{A}_e)^2 \cdot C_1^2 A_w \bar{A}_w = 0.006$
7	25%	3台主機故障，餘正常	$C_3^4 A_e (\bar{A}_e)^3 \cdot A_w^2 = 0.003$
8	25%	1台Water Jet和3台主機故障，餘正常	$C_3^4 A_e (\bar{A}_e)^3 \cdot C_1^2 A_w \bar{A}_w = 0.001$
9	0%	4台主機故障	$\bar{A}_e^4 \cdot A_w^2 = 0.000$
10	0%	2台Water Jet故障	$A_e^4 \cdot \bar{A}_w^2 = 0.003$

$$D = \begin{bmatrix} R_1^2 R_c^2 & C_1^2 R_c^2 \bar{R}_c^2 & 0 & R_1^2 C_1^2 \bar{R}_c R_c & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_c^3 R_c^2 & R_c^2 C_1^2 \bar{R}_c^2 R_c^2 & C_1^2 \bar{R}_c & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_c^2 R_c^2 & 0 & 0 & C_1^2 \bar{R}_c & C_1^2 \bar{R}_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_c^4 R_c & C_1^2 \bar{R}_c & 0 & 0 & 0 & 0 & \bar{R}_c \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_c^3 R_c & C_1^2 \bar{R}_c & 0 & 0 & 0 & \bar{R}_c \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_c^2 R_c & 0 & C_1^2 \bar{R}_c & 0 & \bar{R}_c \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_c R_c^2 & C_1^2 \bar{R}_c & \bar{R}_c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_c R_c & \bar{R}_c & \bar{R}_c \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

由於動力系統可信賴度矩陣計算過程複雜，極易因疏失而導致計算結果錯誤，本文利用 Mathematica 數學軟體進行運算，此軟體操作簡易且可有效縮短計算時間，計算結果如下：

$$D = \begin{bmatrix} 0.968 & 0.022 & 0 & 0.010 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.974 & 0.016 & 0.010 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.979 & 0 & 0 & 0.010 & 0.011 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.973 & 0.022 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.005 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.979 & 0.016 & 0 & 0 & 0 & 0.005 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.984 & 0 & 0.011 & 0 & 0.005 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.984 & 0.010 & 0.006 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.989 & 0.006 & 0.005 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

### 三、系統性能指標(C)計算

根據主機及Water Jet動力推進系統輸出總功率，假設穿浪式雙體船航速達到24節，並持續高速航行1小時，對照主機輸出轉速可得在各種不同輸出功率下之航速，如表3，並假設獲得動力系統運轉至總功率100%、75%、50%、25%、0%時之機率值分別為0.90、0.85、0.75、0、0。

表3 動力推進系統輸出功率與航速對照表

總功率	100%	75%	50%	25%	0%
航速(Kt)	32	29	25	20	0
航速保持24Kt的機率	0.90	0.85	0.75	0	0

(資料來源：本研究整理)

因此，當航速到達24節時，動力推進系統在10種系統狀態下之機率值歸納如表4。

表4 動力推進系統在航速24Kt下之機率值統計表

系統狀態編號	對應總功率	航速保持24Kt的機率
1	100%	0.90
2	75%	0.85
3	50%	0.75
4	50%	0.75
5	50%	0.75
6	50%	0.75
7	25%	0
8	25%	0
9	0%	0
10	0%	0

(資料來源：本研究整理)

將表4建立成能力矩陣型式，如下：

$$C = [0.90, 0.85, 0.75, 0.75, 0.75, 0.75, 0, 0, 0, 0]^T \quad (21)$$

### 四、整體推進動力系統效能計算

最終將所計算出之A、D、C矩陣實施矩陣運算，即將式(12)、(20)、(21)代入式(1)中，即可求得該船艦持續高速24節以上、航行1小時之整體推進效能，計算結果如下：

$$E = A \cdot D \cdot C = 0.882 = 88.2\% \quad (22)$$

## 伍、敏感度分析

由以上計算可以看出，可靠性參數和維修性參數是影響動力裝置系統效能大小之關鍵因子，意即主機和Water Jet系統的有平均故障間隔時間(MTBF<sub>o</sub>、MTBF<sub>w</sub>)和平均修護時間(MTTR<sub>o</sub>、MTTR<sub>w</sub>)變動，將進而造成動力裝置系統整體效能之改變。以下即進一步探討，調整這些參數值之變動，以分析其對整體動力系統效能的影響，分析結果說明如下：

### 一、平均故障間隔時間(MTBF)敏感度分析

分別計算主機及Water Jet平均故障間隔時間MTBF<sub>o</sub>、MTBF<sub>w</sub>由0至500小時，對系統效能的影響並繪製敏感度分析圖，如圖9。

由圖9中敏感度分析，可以得知：

(一)主機和Water Jet的平均故障間隔時間對其系統效能影響大致相當。

(二)現有指標值MTBF<sub>o</sub>、MTBF<sub>w</sub>均處於對E曲線的飽和點，即這一指標稍微下降，系統效能就會顯著降低，所以當可靠性指標下降時，應儘快通過維修等措施，恢復其可靠性。

(三)MTBF<sub>o</sub>、MTBF<sub>w</sub>上升，系統效能雖然也上升，但上升幅度不大，所以當投入很大的費用進一步提高其可靠性時，成效不高。

### 二、平均修護時間(MTTR)敏感度分析

分別計算主機及Water Jet平均修護時間MTTR<sub>o</sub>、MTTR<sub>w</sub>，由0至1000小時，對系統效能的影響並繪製敏感度分析圖，如圖10。

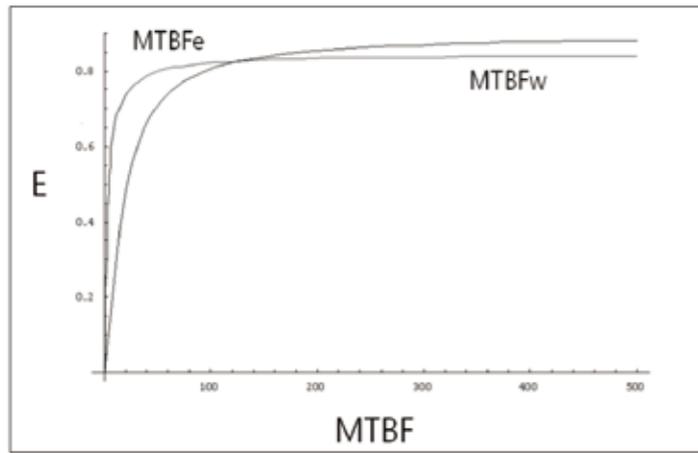


圖9 主機和WaterJet平均故障時間敏感度分析 (資料來源：本研究整理)

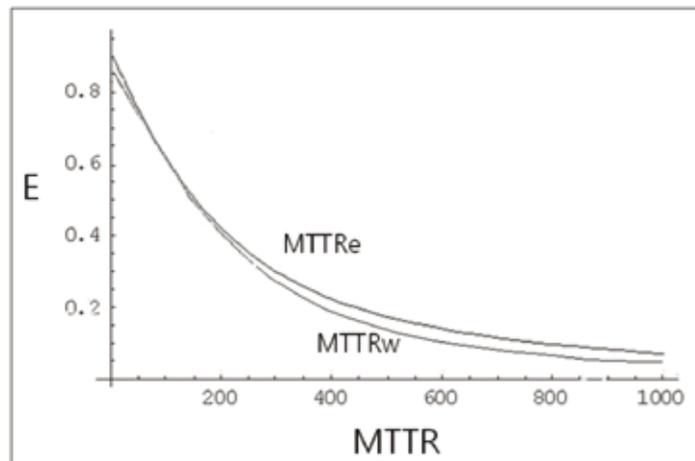


圖10 主機和WaterJet平均修復時間敏感度分析 (資料來源：本研究整理)

由圖10中敏感度分析，可以得知：

(一)主機和WaterJet的平均修復時間對整體動力系統效能影響較大。

(二)MTTR<sub>e</sub>、MTTR<sub>w</sub>上升，系統效能將大幅下降，所以當投入很大的費用進一步提高其維修性時，收益較高。

(三)MTTR值越小越好，但維修保障費用會隨

MTTR值的減小而有明顯增加，因此在動力裝置設計和使用中應該重視維修性設計及維修。

## 陸、結論

本文拓展了ADC系統效能模型的應用範圍運用，利用ADC系統效能模型建立了雙體船的動力裝置系統之ADC矩陣，及其主要組成系統的可靠性和維修性之間的關係，並計算出該系統於高速24節以上、航行1小時之整體推進效能為88.2%。文中並進行了動力裝置可靠度及維修度的靈敏度分析，結論獲得動力裝置主要組成系統的最佳可靠性和維修性參數值。

本文所使用之各項數據皆非實際值，僅以舉例方式說明利用ADC系統效能模型進行雙體

船推進系統效能分析之方式，從中可得知動力裝置的可靠性和維修性對整體動力系統效能有一定之影響，將可靠性和維修性指標參數保持在一定範圍之內，既可使動力裝置發揮其最佳效能，又可有效避免為要求過高的可靠性和維修性指標而投入的巨額費用。後續若能自使用及維修單位取得相關正確數據，將可更進一步

精確描述相關平均故障時間及平均修復時間對整體推進系統效能之影響，俾達系統效能之最佳化。

## 參考資料

### 一、中文資料

#### (一)書籍

- 1 肖元星、張冠杰，《地面防空武器系統效費分析》，(國防工業出版社，2006年)。

#### (二)期刊

- 1 徐慶瑜，〈多體船於海軍之發展與應用〉，《海軍學術月刊》，第42卷，第2期，2008年。
- 2 郭齊勝、袁益民、鄧志剛，〈軍事裝備效能及其評估方法研究〉，《裝甲兵工程學院學報》，第18卷，第1期，2004年3月。
- 3 陳亮、趙萌，〈德爾菲法探討物流企業效益度量指標體系〉，《物流工程與管理》，第32卷，第2期，2010年2月。
- 4 鞠東兵、何萬國、戴日輝，〈層次分析法在大型水面艦艇動力系統總體性能分析中的應用〉，《艦船科學技術》，第31卷，第8期，2009年8月。
- 5 卓元志、劉家軍、王明軍、張小慶、劉益瑾，〈基於熵值法的組合模型用電量預測方法研究〉，《電網與清潔能源Power System and Clean Energy》，第29卷，第5期，2011年5月。
- 6 張松濤、餘鳳豪、呂飛、秦福星，〈基於模糊灰色關聯分析的艦艇動力裝置綜合評估〉，《船海工程Ship & Ocean Engineering》，第39卷，第4期，2010年8月。
- 7 高尚、婁壽春，〈武器系統效能評定方法綜述〉，《系統工程理論與實踐》，1997年，第7期，1997年7月。
- 8 楊維漢，〈因應反恐戰爭對新一代水面艦艇推進系統之展望〉，《海軍學術月刊》，第43卷，第3期，2009年。

### 二、網路

- 1 <https://zh.wikipedia.org/wiki/濱海戰鬥艦>(accessed: 2016/1/30)。
- 2 <http://navy.mnd.gov.tw/Publish.aspx?cnid=866&p=67654&Level=2>(accessed: 2016/1/30)。
- 3 <https://zh.wikipedia.org/wiki/導彈快艇>(accessed: 2016/1/30)。
- 4 <https://en.wikipedia.org/wiki/Pump-jet>(accessed: 2016/1/30)。
- 5 <https://zh.wikipedia.org/wiki/德爾菲法>(accessed: 2016/2/15)。
- 6 <https://zh.wikipedia.org/wiki/層次分析法>(accessed: 2016/2/15)。
- 7 <http://zh.wikipedia.org/wiki/資訊理論>(accessed: 2016/2/25)。
- 8 <http://wiki.mbalib.com/wiki/灰色關聯分析>(accessed: 2016/2/25)。
- 9 <http://wiki.mbalib.com/wiki/神經網絡分析法>(accessed: 2016/2/25)。

- 1 徐慶瑜，〈多體船於海軍之發展與應用〉，《海軍學術月刊》，第42卷，第2期，2008年。
- 2 <https://zh.wikipedia.org/wiki/濱海戰鬥艦>(accessed: 2016/1/30)。
- 3 <http://navy.mnd.gov.tw/Publish.aspx?cnid=866&p=67654&Level=2>(accessed: 2016/1/30)。
- 4 <https://zh.wikipedia.org/wiki/導彈快艇>(accessed: 2016/1/30)。
- 5 肖元星、張冠杰，《地面防空武器系統效費分析》，(國防工業出版社，2006年)。
- 6 郭齊勝、袁益民、鄧志剛，〈軍事裝備效能及其評估方法研究〉，《裝甲兵工程學院學報》，第18卷，第1期，2004年3月。
- 7 <https://zh.wikipedia.org/wiki/德爾菲法>(accessed: 2016/2/15)。
- 8 陳亮、趙萌，〈德爾菲法探討物流企業效益度量指標體系〉，《物流工程與管理》，第32卷，第2期，2010年2月。
- 9 <https://zh.wikipedia.org/wiki/層次分析法>(accessed: 2016/2/15)。
- 10 鞠東兵、何萬國、戴日輝，〈層次分析法在大型水面艦艇動力系統總體性能分析中的應用〉，《艦船科學技術》，第31卷，第8期，2009年8月。
- 11 <http://zh.wikipedia.org/wiki/資訊理論>(accessed: 2016/2/25)。
- 12 卓元志、劉家軍、王明軍、張小慶、劉益瑾，〈基於熵值法的組合模型用電量預測方法研究〉，《電網與清潔能源Power System and Clean Energy》，第29卷，第5期，2011年5月。
- 13 <http://wiki.mbalib.com/wiki/灰色關聯分析>(accessed: 2016/2/25)。
- 14 張松濤、餘鳳豪、呂飛、秦福星，〈基於模糊灰色關聯分析的艦艇動力裝置綜合評估〉，《船海工程Ship & Ocean Engineering》，第39卷，第4期，2010年8月。
- 15 <http://wiki.mbalib.com/wiki/神經網絡分析法>(accessed: 2016/2/25)。
- 16 高尚、婁壽春，〈武器系統效能評定方法綜述〉，《系統工程理論與實踐》，1997年，第7期，1997年7月。
- 17 同註16。
- 18 同註16。
- 19 楊維漢，〈因應反恐戰爭對新一代水面艦艇推進系統之展望〉，《海軍學術月刊》，第43卷，第3期，2009年。
- 20 <https://en.wikipedia.org/wiki/Pump-jet>(accessed: 2016/1/30)。
- 21 同註19。