

船舶動力系統之可靠性分析

馬豐源

中國驗船中心

輪機組組長

摘要

船舶動力系統是一個相當複雜系統，它不僅是由各式各樣的系統所組合而成，且各個系統的組成如主要裝備之輔機系統或發電機系統，均由兩部或兩部以上組合而成，一般大都誤認為並聯系統，其實不然於船舶上所安裝的裝備其控制應屬於備便性的系統。由於船舶是遠離陸地的獨立系統，為達成船舶的各項任務，應保證各該系統能作較長時間的安全運轉。而動力系統為船舶推進系統主要的動力源，若此裝置失效或故障，將使船失去動力，不僅將使該船處於危險狀態，亦可能導致海損事故的發生。因此，船舶之動力系統，除經濟性外，尚應考量其安全性及可靠性，而影響其可靠性因素有很多，例如基本設計、製造標準、維修、低磨耗及提高缸套溫度以降低腐蝕等等。本文旨在介紹如何分別就並聯與備便兩方面作推演計算及運用可靠性理論來探討船舶動力系統的問題。

關鍵詞：船舶動力系統、可靠性

前言

船舶是遠離陸地的獨立系統，為達成船舶的各項任務，應保證此系統能作較長時間的安全運轉。而且，海洋氣象環境複雜、工作環境嚴峻，局部配件發生故障可能導致海損事故的發生，結果不僅影響到運輸任務的達成，還可能對人員生命和財產造成危害，甚至會對周圍海域的環境帶來污染。

船舶的推進系統係由推力源、動力裝置及船體組合而成，它必須是最有效的，即推動船舶所需的能量應盡可能地小。推力源通常指的是推進器，而動力裝置則可能是蒸汽鍋爐和渦輪機、燃氣輪機、柴油機或者是核動力裝置。動力裝置為船舶推進系統主要的動力源，若此裝置失效或故障，將使船失去動力，其結果不僅使該船處於危險狀態，且可能導致海損事故的發生。風帆也可能是推進裝置的一部分。推進系統中各個部份應盡可能協調配合，才能使船具有優良的操縱性能和航海性能。

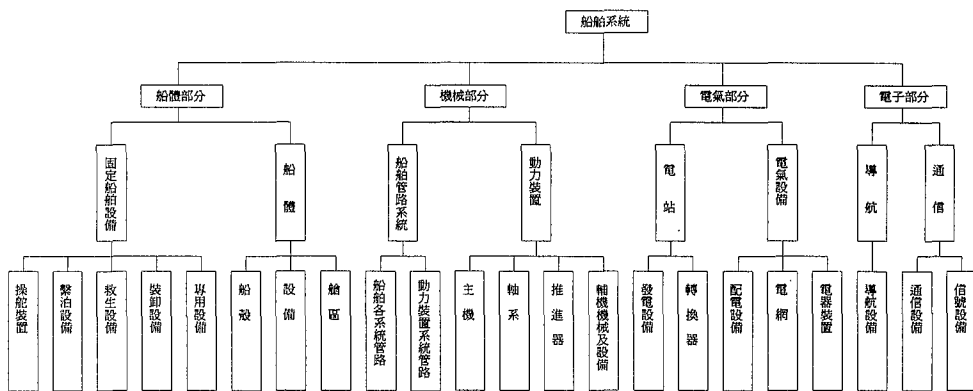
故障樹(FT)就是用以表示那些組成部分的故障模式或外界事件或其組合將導致產品發生故障模式的邏輯圖。故障樹分析法是通過對可能造成故障的軟體、硬體、環境和人為因素進行分析，畫出故障樹，從而確定產品故障原因的各種組合方式和(或)其發生概率的一種分析技術。故障樹分析(FTA)是一種樹形

圖解邏輯分析方法。本文即係以故障樹分析的雛形來探討船舶動力系統。

船舶系統

現代船舶是一個相當複雜系統，它是由各式各樣的系統所組合而成，除船體結構系統和機械動力系統外，還包括電子系統、為因應特種船舶所需的化工系統，若為軍艦則尚應包括武器系統。欲對船舶系統進行分析，就先應對各個組成的成分進行分類。分類的方式，其一是按結構 - 功用分類，即按各系統的結構特徵以及船舶運航時各系統對船舶總體的作用不同而將它們各歸其類；另一則是按其重要程度分類，主要將船舶各系統分成影響船舶安全性及任務完成的和不影響船舶安全性及任務完成的兩類。

不同類型的船舶，其組成分類也不一樣。以一般商船為例，按結構分類，其系統的劃分圖，如圖一所示。



圖一 船舶系統劃分圖表

可靠性模式之建立

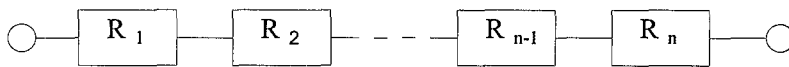
模式通常可分為物理模式和數學模式兩者。物理模式是在物理領域中對事物的重要方面的抽象，體現重現事物的重要特徵，是對事物的直觀描述。數學模式則是用數學方法對物理模式進行的模擬。其表示形式往往是一個或幾個數學式。由於一切事物之間都存著某種程度的相互影響，只不過是各種影響的程度不同而已，要準確地處理這些影響是極其複雜的，也不可能的。因而數學模式是一種近似模式。從模式的作用來看，物理模式是對原系統的較為直觀和濃縮的反映。物理模式對原系統的重要方面有概要性的瞭解，並可藉由物理模式對原系統進行定性分析。然而對事物的分析僅僅停留在定性上是不夠的，要對事物進行深入的瞭解就必須進行定量分析，而定量分析的基礎就是合適的數學模式。

可靠性模式也可分為物理模式和數學模式。建立可靠性物理模式通常是對系統進行使命分析，了解系統使命各個階段的特徵以及階段與階段之間的關係，

在藉此繪出使命邏輯方塊圖。建立可靠性數學模式的方法有很多種，最常用者有可靠性方塊圖、網路法和故障樹法。

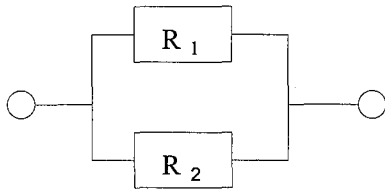
常用的可靠性模式可分為串聯系統、並聯系統、串並聯複合系統、並串聯複合系統、 m 中取 k (k out of m) 複聯系統及備便複聯系統。以下將僅就本文中應用到的系統分別作一簡述。

串聯系統(Series System)為可靠性模式最常用的系統。在串聯系統中，必須每一個分系統均能正常操作時，系統才能滿足既定之工作需求，且系統間失效與否屬於獨立事件。假設系統由 n 個分系統所組成，如圖二所示，且各個分系統均互相獨立，則系統可靠度(R_s)為各個分系統可靠度($R_i, i = 1, 2, \dots, n$)之乘積，亦即 $R_s = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n = \prod_{i=1}^n R_i$ 。



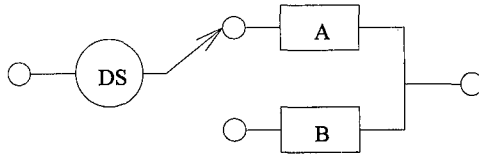
圖二 串聯系統之可靠度方塊圖

並聯系統(Parallel System)為另一常用的系統可靠性模式。在並聯系統中，只要任一分系統功能正常，系統就能滿足既定之工作需求，也就是只有在所有分系統都失效，才會導致系統失效，且系統間失效與否屬於獨立事件。假設系統由 2 個分系統所組成，如圖三所示，且各個分系統均互相獨立，則系統可靠度(R_s)為 $R_s = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)$ 。



圖三 並聯系統之可靠度方塊圖

備便(Standby)複聯系統中，除非原來操作中的分系統發生失效，備便分系統在操作初期並不參與操作，其以二個分系統為例，其方塊圖，如圖四所示，切換開關(DS)代表自動感應器及其它切換機構，可自動使分系統 B 接替分系統 A 的工作，假設各個分系統成指數分布， R_m 為切換裝置的可靠度， λ 為分系統之故障率，則系統可靠度(R_s)為 $R = e^{-\lambda t} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{i!} (\lambda R_m t)^i$ 。

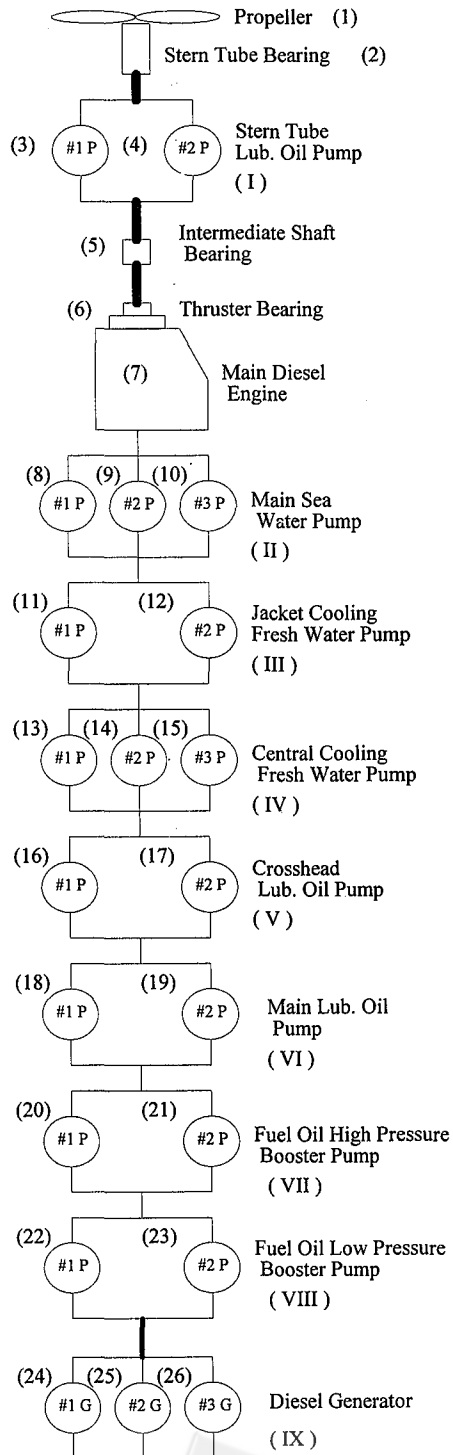


圖四 備便複聯系統之可靠度方塊圖

船舶可靠性模式

一般商船的基本任務是從事客、貨運輸。由此簡單的任務形式決定商船的構造一般而言並不複雜。祇包括船體、動力系統、艤裝設備、舵錨裝置以及簡單的通信導航系統。從任務完成的角度來說，通信系統和艤裝設備的故障與否和任務的完成關係不大。再從壽命和故障頻率來看，船體的壽命遠大於動力系統和導航系統的壽命，其故障率和這兩系統的故障率相比是可以忽略的小量。而導航系統在它未問世以前，吾人就憑著指南針和海圖航行在世界各大洋上，這說明導航系統的故障固然與任務的完成有關但其關係也不太大。剩下的唯一直接影響到任務完成的就是動力系統，因此，商船可靠性分析的重點就移到船舶動力裝置的可靠性，故以動力系統的可靠性模式就可代表商船的可靠性模式。

以中鋼公司 13,200 DWT 礦砂輪為例，以簡化的串、並聯方式來描述船舶動力系統的可靠性模式方塊圖，如圖五所示。對於這簡單的系統，可以用可靠性方塊圖法寫出該系統的數學模式。



圖五 船舶動力系統可靠性方塊圖

可靠性數據的蒐集和分析

隨著可靠性及維修性的深入發展，可靠性數據的蒐集和分析越來越顯示出其重要的價值和作用。有效的資訊和數據是發展可靠性和維修性分析的基礎，是決策的依據；沒有資訊和數據，可靠性工程乃至於整個研製工作就好像無本之木、無源之水。

可靠性數據具有時間性、隨機性、有價性、時效性和可追溯性的特點，可靠性數據多以時間來描述，其時間概念是廣義的包括週期、距離、次數等等，而且發生故障是隨機的，數據的蒐集需花費大量的財力和物力，經分析和處理後的可靠性數據，對可靠性工程的發展和指導具有很高的價值，可靠性數據的產生和利用與壽命周期各個階段有密切的關係，因此，數據的時效性很強；隨著時間的推移，可靠性數據反映可靠性發展的趨勢和過程，如經修改則其可靠性更能大幅增長，當前的數據與過去的數據有關，所以，數據本身還具有可追溯性的特點。

可靠性數據主要可從兩方面獲得，一是從實驗室進行可靠性試驗得到；另一方面可從實際使用現場獲得。從實驗室得到的數據稱為試驗數據，而從使用現場得到的數據稱為現場數據。從實驗室得到的數據由於是由對試驗目的、方法完全瞭解的人，親自參與試驗觀測並記錄而得，因此，其所獲得的數據的不確定性要小得多。而且由於人為控制其試驗條件，對於試驗中發生的故障現象的研究將會更深入。試驗數據來自可靠性試驗、壽命試驗、或加速壽命試驗、功能試驗、環境試驗、定期試驗或綜合試驗等。而從使用現場得到的數據則係記錄開始工作至故障的時間（故障時間）及開始工作至統計之時尚未發生故障的工作時間（無故障工作時間）的數據，是用來評估使用可靠性參數的重要依據。現場數據是極其珍貴的，它反映在實際使用環境和維護條件下的情況，比實驗室的模擬條件更具代表性。

由於台灣本身所生產船舶之機械種類尚屬有限，且並未為船東所普遍接受，致未大量安裝於船舶使用，兼以臺灣生產廠家在生產過程中鮮有作可靠性之研究者，因此，幾無法取得試驗數據，不得已祇能以問卷調查方式來求取現場數據。本文所需的數據即屬現場數據，希望藉由船東長期填寫船舶機械故障紀錄表，此表刊登於海運學刊第三期筆者所撰『以可靠性觀點探討船舶機械的維修策略』一文，若有需要可來電索取，筆者將依據回收的故障紀錄表來統計和分析，尋找其故障的規律性。

動力系統可靠性推演及計算

由圖五的可靠性方塊圖，可知共有九處為有備便並聯的系統，可藉以建立下列兩種數學模式。

以並聯的系統視之，所謂並聯系統，即如果組成系統的所有單元中任一單元正常工作，或者只有系統中所有單元失效，系統才失效。則其系統的可靠度可以表示如式（1）：

$$R_s = \prod_{i=1}^2 R_i \cdot \prod_{j=5}^7 R_j \cdot \prod_{k=I}^{IX} R_k$$

$$R_s = R_I \cdot R_2 \cdot R_5 \cdot R_6 \cdot R_7 \cdot R_I \cdot R_{II} \cdot R_{III} \cdot R_{IV} \cdot R_V \cdot R_{VI} \cdot R_{VII} \cdot R_{VIII} \cdot R_{IX}$$

$$R_I = 1 - (1 - R_3) \cdot (1 - R_4)$$

$$R_{II} = 1 - (1 - R_8) \cdot (1 - R_9) \cdot (1 - R_{10})$$

$$R_{III} = 1 - (1 - R_{11}) \cdot (1 - R_{12})$$

$$R_{IV} = 1 - (1 - R_{13}) \cdot (1 - R_{14}) \cdot (1 - R_{15}) \quad \dots (1)$$

$$R_V = 1 - (1 - R_{16}) \cdot (1 - R_{17})$$

$$R_{VI} = 1 - (1 - R_{18}) \cdot (1 - R_{19})$$

$$R_{VII} = 1 - (1 - R_{20}) \cdot (1 - R_{21})$$

$$R_{VIII} = 1 - (1 - R_{22}) \cdot (1 - R_{23})$$

$$R_{IX} = 1 - (1 - R_{24}) \cdot (1 - R_{25}) \cdot (1 - R_{26})$$

式中：R_s 為系統之可靠度；

R₁, R₂, R₃,R₂₆ 分別為各個裝備之可靠度；

R_I, R_{II}, R_{IX} 分別為各個並聯輔機裝備之可靠度。

以備便的系統視之，所謂備便系統，即如果組成系統的 n 個單元只有一單元工作，當工作單元失效時，借由失效監測及切換裝置接到另一單元進行工作，而目前於船舶上所安裝的輔機裝備兩部或兩部以上，其控制均應屬於此備便性的系統，而非一般所稱的並聯系統，備便系統的可靠度數學模式，如式（2）：

$$R = e^{-\lambda t} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{i!} (\lambda R_m t) \dots (2)$$

式中 R_m 為切換裝置的可靠度。

則其系統的可靠度可以表示如式（3）：

$$R_s = \prod_{i=1}^2 R_i \cdot \prod_{j=5}^7 R_j \cdot \prod_{k=I}^{IX} R_k$$

$$R_s = R_I \cdot R_2 \cdot R_5 \cdot R_6 \cdot R_7 \cdot R_I \cdot R_{II} \cdot R_{III} \cdot R_{IV} \cdot R_V \cdot R_{VI} \cdot R_{VII} \cdot R_{VIII} \cdot R_{IX}$$

$$R_I = e^{-\lambda_1 t} (1 + \lambda_1 R_m t)$$

$$R_{II} = e^{-\lambda_2 t} [1 + \lambda_2 R_m t + 0.5(\lambda_2 R_m t)^2]$$

$$R_{III} = e^{-\lambda_3 t} (1 + \lambda_3 R_m t)$$

$$R_{IV} = e^{-\lambda_4 t} [1 + \lambda_4 R_m t + 0.5(\lambda_4 R_m t)^2] \quad \dots (3)$$

$$R_V = e^{-\lambda_5 t} (1 + \lambda_5 R_m t)$$

$$R_{VI} = e^{-\lambda_6 t} (1 + \lambda_6 R_m t)$$

$$R_{VII} = e^{-\lambda_7 t} (1 + \lambda_7 R_m t)$$

$$R_{VIII} = e^{-\lambda_8 t} (1 + \lambda_8 R_m t)$$

$$R_{IX} = e^{-\lambda_9 t} [1 + \lambda_9 R_m t + 0.5(\lambda_9 R_m t)^2]$$

式中：R_s 為系統之可靠度；

R₁, R₂, R₃,R₂₆ 分別為各個裝備之可靠度；

$R_I, R_{II}, \dots, R_{IX}$ 分別為各個備變輔機裝備之可靠度；

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_9$ 分別為各個備變輔機裝備之故障率。

式（1）及式（2）之推導，即為如前所述。為計算方便起見，假設所有裝備其可靠性（ R ）均為指數分布，亦即 $R = e^{-\lambda t}$ ，且假設所有裝備其故障率（ λ ）如表一所示。該表所列並非實際值，僅供下述作模擬計算之用。

表一 裝備故障率

裝備項目	故障率 (/h)	裝備項目	故障率 (/h)
Propeller	0.2×10^{-6}	Stern Tube Bearing	1.026×10^{-6}
Stern Tube L.O. Pump (λ_1)	1.868×10^{-6}	Interim. Shaft Bearing	1.026×10^{-6}
Thruster Bearing	1.026×10^{-6}	Main Diesel Engine	1.0×10^{-5}
Main S. W. Pump (λ_2)	3.938×10^{-6}	Jacket Cool F.W. Pump (λ_3)	2.818×10^{-6}
Central Cool F.W. Pump (λ_4)	2.818×10^{-6}	Crosshead L.O. Pump (λ_5)	1.868×10^{-6}
Main L.O. Pump (λ_6)	1.868×10^{-6}	F.O. H.P. Booster Pump (λ_7)	1.828×10^{-6}
F.O. L.P. Booster Pump (λ_8)	1.828×10^{-6}	Diesel Generator (λ_9)	1.0×10^{-5}

由表一之各項裝備之故障率，即可換算出各項裝備之年度可靠度，如表二所示。如將各個系統以並聯的系統視之，則利用上述之可靠度數學模式，可以分別求出各個系統之年度可靠度（ $R_I, R_{II}, R_{III}, \dots, R_{IX}$ ）以及整個動力系統之可靠度（ R_S ），如表三所示。但如將各個系統以備便的系統視之，並假設所有輔機切換裝置可靠度（ R_m ）為 0.9、柴油發電機（Diesel Generator）之切換裝置可靠度為 0.95，則利用上述之可靠度數學模式，可以分別求出各個系統之年度可靠度（ $R_I, R_{II}, R_{III}, \dots, R_{IX}$ ）以及整個動力系統之可靠度（ R_S ），如表四所示。吾人比較表二、表三及表四可以得知，若裝備祇有一部時，其可靠度隨時間之增長而下降，但如有一部或一部以上並聯或備便時，則其可靠度有明顯改善，以柴油發電機一部時，當到第五年時其可靠度下降為 0.6453，但如三部並聯使用時其可靠度為 0.9554，如三部備便使用時其可靠度為 0.9697，又如十字頭滑油泵（Crosshead L.O. Pump）一部時，當到第五年時其可靠度下降為 0.9214，但如二部並聯使用時其可靠度為 0.9865，如二部認定為備便使用時其可靠度為 0.9893。因此，船級協會之規範，規定船舶主要之輔機系統須有兩部或兩部以上備便使用。又由表三及表四動力系統可靠度，可得知當到第五年時整個動力系統之可靠度分別下降為 0.5082 及 0.4896，是以目前船級協會所頒發的證書均以五年為有效期，超過五年則需特驗，待其檢驗通再行另簽發證書，其原因，亦可由此得知端倪。由表三及表四可繪出圖六至圖九。

結論

船舶機械原已相當複雜，兼以使用環境的惡劣，以及高自動化的需求及對

經濟效益的追求，極易因設備的不可靠性而帶來嚴重的損失。但目前在台灣關於船舶機械故障的統計資料復告闕如，無法對於船舶機械的故障率作分布分析，因此，本文在作計算推演時，完全係假設其故障率分布為指數分布。其實船舶機械的故障率亦可能為常態分布、威布爾（Weibull. W.）分布等等。

故障樹分析是由上往下以方塊圖作邏輯分析，藉此，對於船舶動力系統可以作更深入的 analysis，同理，亦可對船舶整體的系統作分析，相對地亦可延伸供陸上動力廠、發電廠或其它機械工廠作整體的系統的分析。但是，由於目前尚缺此電腦軟體及程式，所以本文僅利用其概念，以可靠性的觀點來探討船舶動力系統，若能獲得實際的故障分布資料，則對於船舶動力系統可靠性的計算結果，將會更為精確且具有實用價值，當可協助船舶管理人、經理人及操作人作決策的依據和判斷。

參考資料

- [1]. 可靠性數據的蒐集與分析 賀國芳主編 國防工業出版社
- [2]. 船舶機械可靠性技術 江彥橋編著 上海海運學院
- [3]. 船舶可靠性工程導論 易宏、張祖衛、霍步洲、周杰等編著 國防工業出版社
- [4]. 船舶產品可靠性工程 - 可靠性設計 吳德銘、李守仁、王善等編著 哈爾濱工程大學出版社
- [5]. 可靠性維修性可用性評估手冊 潘吉安編著 國防工業出版社
- [6]. 以可靠性觀點探討船舶機械的維修策略 馬豐源 海運學刊第三期

A Study of the Tactics of Power Plant System for Shipboard based on Reliability

F. Y. Ma

Surveyor, and Chief of Machinery Section
China Corporation Register of Shipping

Abstract

Power plant system for shipboard is a complex complete and independent system, the system consisting of marine propulsion power plant, essential service auxiliary machinery and diesel generator. Auxiliaries are always to comprise two or more independent and separate equipment and include their prime mover and controllers which are necessary for the safety of life and the safety or operation of the ship at sea. In general, the auxiliary system is considered to a parallel system, but it should be standby system. The marine propulsion power plant is very important system for propelling, the ship will be under danger condition when the system occurs trouble or damage. So, the system should be high reliability and efficiency. The reliability of the system is influenced by several factors, for example basic engine design, manufacturing standards, maintenance, keep down wear rates and raised linear temperature to avoid corrosion etc. In this paper, Author will calculate with two types of parallel and standby system and research the tactics of Power Plant System for Shipboard based on reliability.

Key word: Marine Power Plant, Reliability

表二 裝備年度可靠度表

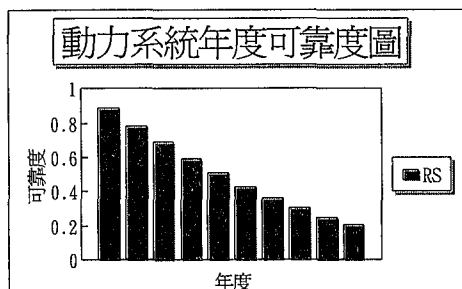
	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年	第六年	第七年	第八年	第九年	第十年
R ₁	0.9982	0.9965	0.9947	0.9930	0.9913	0.9895	0.9878	0.9861	0.9844	0.9826
R ₂	0.9910	0.9822	0.9734	0.9647	0.9561	0.9475	0.9390	0.9306	0.9223	0.9140
R ₃	0.9838	0.9678	0.9521	0.9366	0.9214	0.9065	0.8918	0.8773	0.8631	0.8490
R ₄	0.9838	0.9678	0.9521	0.9366	0.9214	0.9065	0.8918	0.8773	0.8631	0.8490
R ₅	0.9910	0.9822	0.9734	0.9647	0.9561	0.9475	0.9390	0.9306	0.9223	0.9140
R ₆	0.9910	0.9822	0.9734	0.9647	0.9561	0.9475	0.9390	0.9306	0.9223	0.9140
R ₇	0.9161	0.8393	0.7689	0.7044	0.6453	0.5912	0.5416	0.4962	0.4546	0.4164
R ₈	0.9661	0.9333	0.9017	0.8711	0.8416	0.8130	0.7854	0.7588	0.7331	0.7082
R ₁₁	0.9756	0.9518	0.9286	0.9060	0.8839	0.8130	0.7854	0.7588	0.7331	0.7082
R ₁₃	0.9756	0.9518	0.9286	0.9060	0.8839	0.8130	0.7854	0.7588	0.7331	0.7082
R ₁₆	0.9838	0.9678	0.9521	0.9366	0.9214	0.9065	0.8918	0.8773	0.8631	0.8490
R ₁₈	0.9838	0.9678	0.9521	0.9366	0.9214	0.9065	0.8918	0.8773	0.8631	0.8490
R ₂₀	0.9841	0.9685	0.9531	0.9380	0.9231	0.9085	0.8940	0.8799	0.8659	0.8521
R ₂₂	0.9841	0.9685	0.9531	0.9380	0.9231	0.9085	0.8940	0.8799	0.8659	0.8521
R ₂₄	0.9161	0.8393	0.7689	0.7044	0.6453	0.5912	0.5416	0.4962	0.4546	0.4164

表三 系統年度可靠度表（並聯系統）

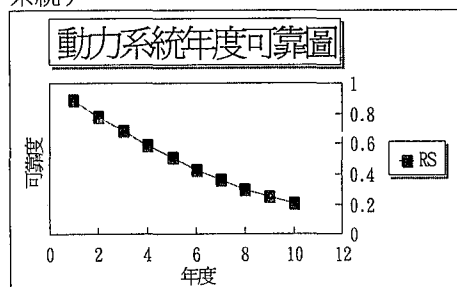
	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年	第六年	第七年	第八年	第九年	第十年
R ₁	0.9982	0.9965	0.9947	0.9930	0.9913	0.9895	0.9878	0.9861	0.9844	0.9826
R ₂	0.9910	0.9822	0.9734	0.9647	0.9561	0.9475	0.9390	0.9306	0.9223	0.9140
R ₅	0.9910	0.9822	0.9734	0.9647	0.9561	0.9475	0.9390	0.9306	0.9223	0.9140
R ₆	0.9910	0.9822	0.9734	0.9647	0.9561	0.9475	0.9390	0.9306	0.9223	0.9140
R ₇	0.9161	0.8393	0.7689	0.7044	0.6453	0.5912	0.5416	0.4962	0.4546	0.4164
R _I	0.9997	0.9989	0.9977	0.9960	0.9938	0.9913	0.9883	0.9849	0.9813	0.9772
R _{II}	0.9999	0.9997	0.9991	0.9978	0.9960	0.9936	0.9901	0.9860	0.9810	0.9752
R _{III}	0.9994	0.9977	0.9949	0.9912	0.9865	0.9810	0.9748	0.9679	0.9603	0.9522
R _{IV}	0.9999	0.9999	0.9996	0.9992	0.9984	0.9974	0.9960	0.9942	0.9921	0.9895
R _V	0.9997	0.9989	0.9977	0.9960	0.9938	0.9913	0.9883	0.9849	0.9813	0.9772
R _{VI}	0.9997	0.9989	0.9977	0.9960	0.9938	0.9913	0.9883	0.9849	0.9813	0.9772
R _{VII}	0.9997	0.9990	0.9978	0.9962	0.9940	0.9916	0.9888	0.9856	0.9820	0.9781
R _{VIII}	0.9997	0.9990	0.9978	0.9962	0.9940	0.9916	0.9888	0.9856	0.9820	0.9781
R _{IX}	0.994	0.9959	0.9877	0.9742	0.9554	0.9317	0.9037	0.8721	0.8377	0.8012
R _S	0.8874	0.7829	0.6864	0.5928	0.5082	0.4317	0.3632	0.3028	0.2505	0.2053

表四 系統年度可靠度表（備便系統）

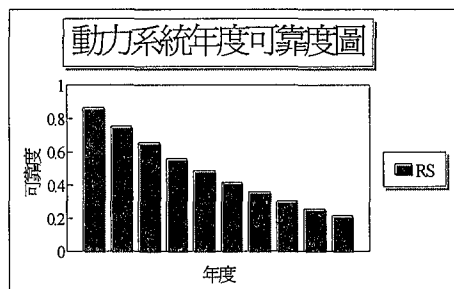
	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年	第六年	第七年	第八年	第九年	第十年
R ₁	0.9982	0.9965	0.9947	0.9930	0.9913	0.9895	0.9878	0.9861	0.9844	0.9826
R ₂	0.9910	0.9822	0.9734	0.9647	0.9561	0.9475	0.9390	0.9306	0.9223	0.9140
R ₃	0.9910	0.9822	0.9734	0.9647	0.9561	0.9475	0.9390	0.9306	0.9223	0.9140
R ₆	0.9910	0.9822	0.9734	0.9647	0.9561	0.9475	0.9390	0.9306	0.9223	0.9140
R ₇	0.9161	0.8393	0.7689	0.7044	0.6453	0.5912	0.5416	0.4962	0.4546	0.4164
R _I	0.9983	0.9963	0.9942	0.9918	0.9893	0.9866	0.9837	0.9807	0.9775	0.9741
R _{II}	0.9965	0.9930	0.9895	0.9858	0.9821	0.9783	0.9744	0.9703	0.9661	0.9618
R _{III}	0.9973	0.9941	0.9905	0.9865	0.9821	0.9773	0.9721	0.9667	0.9609	0.9548
R _{IV}	0.9975	0.9951	0.9926	0.9901	0.9875	0.9849	0.9823	0.9796	0.9769	0.9741
R _V	0.9983	0.9963	0.9942	0.9918	0.9893	0.9866	0.9837	0.9807	0.9775	0.9741
R _{VI}	0.9983	0.9963	0.9942	0.9918	0.9893	0.9866	0.9837	0.9807	0.9775	0.9741
R _{VII}	0.9983	0.9964	0.9943	0.9920	0.9896	0.9869	0.9841	0.9812	0.9781	0.9748
R _{VIII}	0.9983	0.9964	0.9943	0.9920	0.9896	0.9869	0.9841	0.9812	0.9781	0.9748
R _{JX}	0.9955	0.9906	0.9848	0.9779	0.9697	0.9601	0.9490	0.9365	0.9225	0.9072
R _S	0.8708	0.7571	0.6565	0.5677	0.4896	0.4208	0.3606	0.3081	0.2624	0.2227



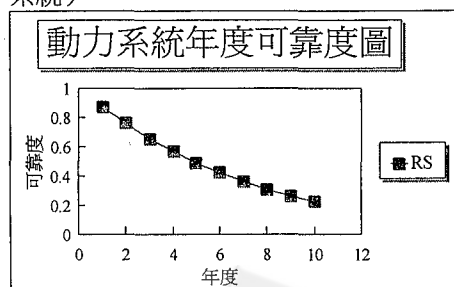
圖六 動力系統年度可靠度長條圖（並聯系統）



圖七 動力系統年度可靠度曲線圖（並聯系統）



圖八 動力系統年度可靠度長條圖（備便系統）



圖九 動力系統年度可靠度曲線圖（備便系統）