

鄭和寶船復原模型與等排水量福船及沙船的性能比較

Performance Comparison of a Replica Model of Zheng-He's Treasure Ship, Fu-Chuan, and Sha-Chuan with the Same Displacement

陳政宏* 許智超**

Jeng-Horng Chen* Chih-Chao Hsu**
Department of Naval Architecture and Marine Engineering
National Cheng Kung University
Tainan, Taiwan

提要

我們以現代造船學的方法進一步探討了等排水量條件下，鄭和寶船復原模型、福船及沙船的性能，並比較其間的差異。我們以電腦輔助設計軟體計算各船靜水性能，估算阻力與速度之關係，並以數值方法模擬橫搖運動以比較耐海安全性。結果發現在同一速率下，所需馬力或其阻力是福船大於沙船，沙船又大於寶船，而穩度性能上，福船與寶船優於沙船，與等船長條件下的比較結果相同。由相對生存機率分佈則發現，當風浪小時，福船遠優於沙船，沙船又略優於寶船；但風浪大時，寶船漸與福船接近，沙船反而更差。我們之前及本文的研究結果都顯示，福船的確較沙船有更好的穩定性與耐海性，比較不怕大風浪，與許多古書中對沙船及福船的比較與描述是相符的。

關鍵字: 鄭和寶船, 福船, 沙船

Abstract

Modern naval architecture's methods were used to compare the performances of a replica model of Zheng-He's Treasure ship, Fu-Chuan, and Sha-Chuan. Hydrostatic performances and resistance at various speeds were calculated and estimated by a modern computer-aid design software. Stability and seakeeping performance were evaluated by simulating roll motion of each ship. The results show that Fu-Chuan's resistance is larger than Sha-Chuan and the replica model, if they have the same displacement. However, Fu-Chuan's stability and seakeeping performance is much better than the others. This confirms the description and comparison of Sha-Chuan and Fu-Chuan in many ancient books, again.

Keywords: Zheng-He's Treasure Ship, Fu-Chuan, Sha-Chuan

* 國立成功大學造船及船舶機械工程學系，助理教授, Assistant Professor, E-mail: chenjh@mail.ncku.edu.tw

** 國立成功大學造船及船舶機械工程學系，大學部學生, Student

一、引言

在歷史研究中，對史實的考證是最基本而重要的，除了一些歷史文獻的考證外，還能夠為考證提出證據的只有科技方面的分析或實驗方法可以將研究對象的性能或特性予以了解，而不依賴古人在文獻中的描述。而且透過科技方法所得的結果可以和歷史文獻中的記載做比對，而能互相印證或發現疑點。因此，在鄭和寶船的研究中，對於目前已提出的一些鄭和寶船復原模型可信度的研究，也可以用現代科技來提供所需的資料。

基於此一目的，我們過去曾經回顧了近年來對鄭和寶船的相關研究，發現不僅鄭和寶船的尺度問題未獲解決，反而爭論激烈；也發現其中若干研究雖嘗試以科技方法研究，但是研究方法與論述上恐有缺失，對爭論之解決並無實質助益。同時，我們也對一種鄭和寶船復原模型的性能進行初步研究¹，因而發現了依照明史所記載尺寸復原的中國航海學會版之鄭和寶船復原模型的阻力，比等長度的福船與沙船大，穩度與安全性較福船差，但比沙船好；我們也發現了一些古書對福船與沙船性能的比較，是可以利用現代科技方法證實的，甚至一些介於福船與沙船之間的船型，如戰座船等，也可以藉由現代科技方法來了解其性能的特性，並與福船及沙船比較。²由於這些船型比較的重要目的是為鄭和研究提供資料，因此以等船長的船來比較，但是，若要了解古人用船時的考量，僅比較等長的不同船型的性能是不夠的，因為僅僅比較等長的船是無法了解在有一定載貨需求時的選擇考量。因此，我們也曾提出未來的研究中所需要深入探討的項目之一，是關於比較具有相同排水量的不同船型之諸項性能。由於同排水量的不同船型，其船長不同，因此一些與天候有關的性能表現可能也有不同。所以本文延續運用與我們先前研究一樣的方法，來對具有相同排水量之鄭和寶船與典型沙船、福船之船型作比較研究與深入的討論，希望使這些船型比較的研究更為完整。

二、研究方法

（一）船型與尺度的選擇

本文仍然以最普遍的中國航海學會版之鄭和寶船復原模型之排水量作為基準，其滿載排水量為一萬五千噸，再將典型福船與沙船尺寸依幾何相似的方法，即長、寬、深、吃水等，均以線性等比例放大，使其排水量至與鄭和寶船模型之排水量約略相同，也因此其船長就不再相同。典型的福船與沙船外觀請參見圖一，但因圖中的船不復存在，我們採用周世德所實測之沙船線形³作為典型之沙船，以及基隆曾樹銘先生復原之大明運船線形作為典型的福船來研究。而本文所使用之三船型的

¹陳政宏、許智超，鄭和寶船復原模型與典型福船及沙船性能之初步比較研究，《成大學報》，第37卷(2002年，台南市)，頁13-36。

²許智超、陳政宏，四種典型中國式古帆船性能之比較，《成大學報》，第37卷(2002年，台南市)，頁37-58。

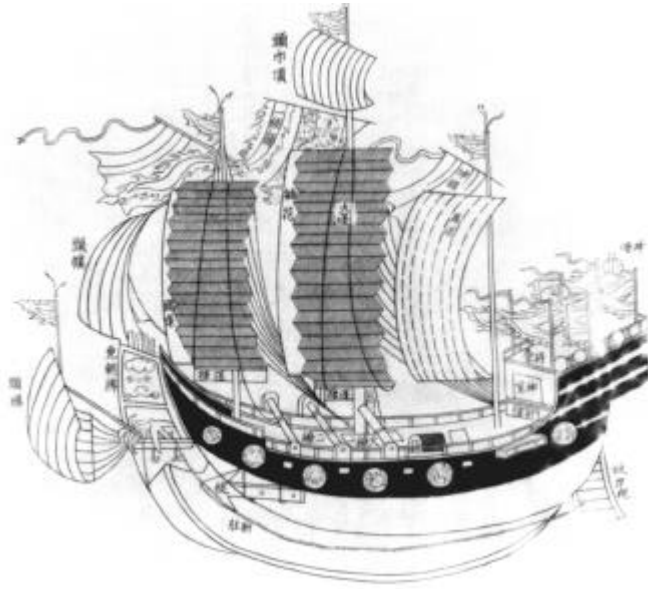
³周世德，中國沙船考略，《中國造船工程學會論文集》，(1962年)，頁111-149。

線形比例與我們之前的研究相同，其主要尺寸與參數則列於表一。本研究希望透過等排水量船隻性能比較，使三種船型間的比較更完整，更確認其間的差異是否與排水量有關聯。

表一 典型福船、沙船與鄭和寶船復原模型的主要尺寸與參數

	寶船模型	沙船	福船	
全長 L (m)	125.65	148.23	130.27	
水線長 L _{bp} (m)	93.0	108.27	107.55	
水線寬 B (m)	44.0	27.40	36.36	
吃水 T (m)	8.0	7.79	12.13	
型深 D (m)	12.0	12.17	15.61	
乾舷 (m)	4.0	4.380	3.48	
長寬比 L _{bp} /B	2.86	3.95	2.96	
寬深比 B/T	5.5	3.52	2.33	
長深比 L _{bp} /T	15.71	13.91	6.89	
乾舷寬比	0.090	0.159	0.095	
方形係數 C _B	0.452	0.646	0.303	
水線面積係數 C _{WP}	0.741	0.820	0.582	
浸水表面積 S (m ²)	3074	3562	5003	
舢剖面係數 C _M	0.713	0.895	0.577	
稜塊係數 C _p	0.634	0.722	0.526	
排水量 Displ. (ton)	15169	15225	14749	
橫搖週期 T _n (sec)	2.26	2.80	2.25	
初定傾高 GM ₀ (m)	16.46	3.804	8.168	
穩度消失角 θ_v	84°	69°	123°	
等效阻尼係數 b	0.01308	0.03014	0.05615	
扶正力矩係數	c1	10.810	3.446	9.013
	c2	- 14.400	13.401	-4.987
	c3	4.200	- 35.513	-2.049
	c4	1.730	25.909	1.959
	c5	- 0.900	- 6.343	-0.388

(a) 典型福船
(圖為封舟)



(b) 典型沙船
(圖為南京船)



(c) 鄭和寶船復原模型



圖一 典型福船(a)、典型沙船(b) (取自王冠倬之《中國古船圖譜》⁴⁾
及鄭和寶船復原模型(c)之外觀

⁴王冠倬《中國古船圖譜》，(北京：三聯書店，2000年)，頁17-28。

(二) 靜水性能與扶正力臂曲線

我們輸入各船型的船殼座標後，以目前世界各大造船廠普遍使用的船舶設計軟體 Tribon M1 來計算表一中各種船型的靜水性能曲線與扶正力臂曲線，由於各船型與先前研究僅有大小差異，其靜水性能曲線也為相似曲線，僅有數值大小不同，故不再贅列。而在計算扶正力臂曲線時，須知曉各型船之重心距離龍骨之高度(KZ 值)，在本文中依然沿用過去之方法，^{5,6}以經驗公式取 $KZ=0.67D$ ，其中 D 為各型船之型深。

(三) 阻力與速度和橫搖穩度與安全性

各船型的阻力及有效馬力與速度的關係也可以用 Tribon M1 估計，而橫搖穩度與安全性探討的方法基本上是使用非線性恆搖運動方程式來比較不同風浪條件下，各船的相對安全性。關於此二部分的研究，本文仍然沿用作者過去的方法，詳細的方法內容及其中所用的公式及所需各項係數之決定方法等，皆於其文中已有詳細介紹，在此不作重複贅述。

(四) 安全域之生存機率分佈

針對船的安全性能表現，我們先前的研究中考慮船隻受風浪的運動。假設船在不同的橫傾斜角與橫傾斜角速度之下開始受規則風浪的影響，以電腦程式模擬船的橫搖運動，並以橫傾斜角與橫傾斜角速度分別為橫軸與縱軸與組成一座標平面，稱為“相平面”。若船在該橫傾斜角與橫傾斜角速度時，受風浪影響的結果會翻覆，則以不同深淺的灰色及黑色標於相平面上相對應之處，表示翻覆的快慢；若不會翻覆，則標以白色，因此白色區域可稱為“安全域”，其大小與形狀可視為該船安全性能的指標⁷。我們也曾提及安全域大小的問題需要更深入之探討，所以我們在此做更進一步之研究。除了承續先前的方法求得相平面與安全域之外，我們再用 Senjanovic 等人所提出的方法，⁸先以各船相平面上安全域的大小為基礎，作成關於風浪大小變化時其各船單獨生存機率之相對變化情形，即以無風力與波浪情況下之安全域面積大小 $A(\text{wind}=0\%, \text{wave}=0\%)$ 為基準，除每一種風浪的情形下該船安全域面積大小 $A(\text{wind}, \text{wave})$ ，作為各船單獨生存機率 $P(\text{wind}, \text{wave})$ 之大小，即

$$P(\text{wind}, \text{wave}) = A(\text{wind}, \text{wave}) / A(\text{wind}=0\%, \text{wave}=0\%) \quad (1)$$

另外，以各風浪條件下的典型福船之單獨生存機率 $P_F(\text{wind}, \text{wave})$ 為準，與此風浪條件下之沙船的單獨生存機率 $P_S(\text{wind}, \text{wave})$ 與寶船模型的單獨生存機率 $P_B(\text{wind}, \text{wave})$ 比較，計算沙船即寶船模型相對於福船的相對生存機率 $Pr_S(\text{wind}, \text{wave})$, $Pr_B(\text{wind},$

⁵金秋鵬、楊麗凡，關於鄭和寶船船型的探討，《自然科學史研究》，第 16 卷，第 2 期，(1997 年)，頁 183-196。

⁶陳政宏、許智超，鄭和寶船復原模型與典型福船及沙船性能之初步比較研究，頁 13-36。

⁷陳政宏、許智超，鄭和寶船復原模型與典型福船及沙船性能之初步比較研究，頁 13-36。

⁸ Senjanovic, I., Parunov, J. and Cipric, G. “Safety Analysis of Ship Rolling in Rough Sea”, Chaos, Solitons & Fractals, Vol. 8, No. 4, 1997, pp.659-680.

wave) , 即

$$Pr_s(\text{wind, wave}) = P_s(\text{wind, wave}) / P_f(\text{wind, wave}) \quad (2)$$

$$Pr_b(\text{wind, wave}) = P_b(\text{wind, wave}) / P_f(\text{wind, wave}) \quad (3)$$

三、結果與討論

(一) 有效馬力與速率

圖二所示為三個船型的有效馬力對速率關係。由於軟體輸出整數格式的關係，在兩節以下的馬力數據誤差較大。由圖中可以清楚看出在同一速率下，所需馬力或其阻力是福船大於沙船，沙船又大於寶船。若是在速率五節時，福船的阻力比寶船多 92%，比沙船多 50%；而福船則比沙船多 28%。以接近一般帆船的速率來看，若是能提供 50kW 的功率，寶船能達到約 4.4 節，福船可達約 3.5 節，而沙船則能達到約 4.05 節的速率。會造成這樣的原因，可由浸水表面積的大小來解釋。在低速範圍下，總阻力大部分的來源為摩擦阻力，而摩擦阻力與浸水表面積大小直接相關。福船之浸水表面積大於沙船，沙船又大於寶船，所以使得福船阻力大於沙船，沙船大於寶船，亦即寶船船速會大於沙船，沙船船速會大於福船，而此結果與我們過去對等長的三種船型研究結果(阻力為寶船>福船>沙船)不同，是因等長的三種船型之浸水表面積大小為福船大於寶船，寶船大於沙船，但福船與寶船兩者差距小，且寶船船型較肥胖，形狀阻力大，因此阻力大小為寶船大於福船，福船大於沙船，船速大小為沙船大於福船，福船大於寶船。由此，我們可以看出給定的條件不同時(等長或等排水量)，其性能的優劣也有所不同。

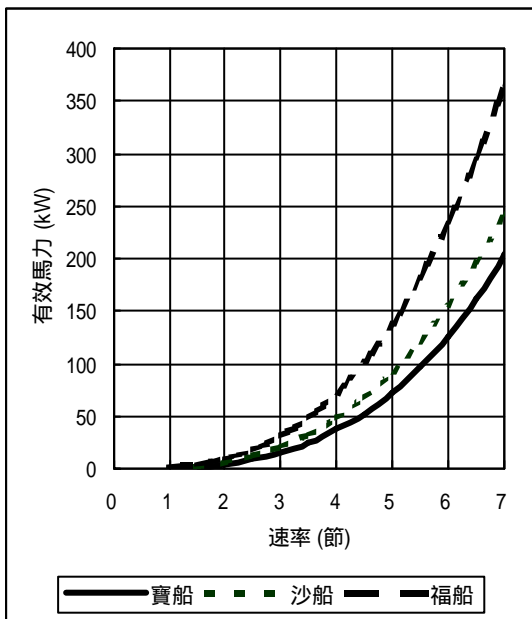
在流體力學中，我們常將物理量予以無因次化，以方便作相對性的比較。圖三所示為三個船型的無因次化之阻力與速度關係。圖中縱軸為無因次化的阻力，即總阻力係數，代表阻力與動壓力乘上浸水表面積後乘績之比，橫軸為無因次化的速度，即福勞得數(Froude No.)，代表影響船的慣性力與重力之比；而 Trea. Ship 代表寶船復原模型，Fu-Chuan 代表福船，Sha-Chuan 代表沙船。在相同的排水量下，在低速範圍隨著速度的增加，亦即福勞得數增加，寶船總阻力係數漸增，代表寶船其總阻力有快速增大趨勢，而福船與沙船卻是下降，表示福船、沙船兩者其船型較適合在高速下航行。我們注意到圖中三條線的趨勢不一，其原因為福船、沙船較適合高速航行，但在超過某速度下，其總阻力係數會開始上升，亦即阻力開始大增，但在高速而且帆船不會到達的範圍，故本文中不予討論。

(二) 橫搖穩度與安全性

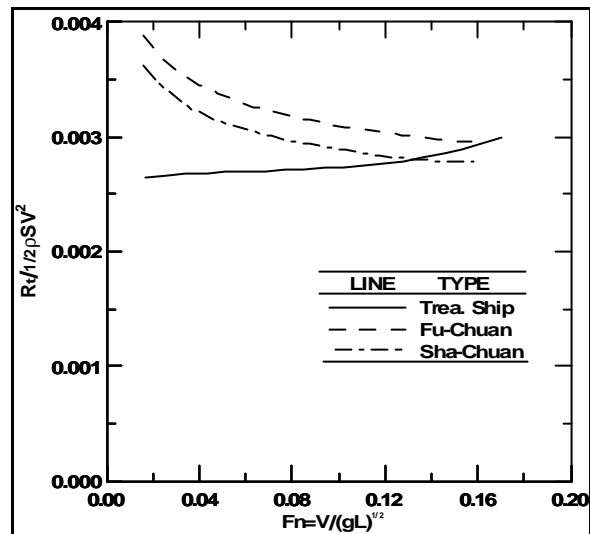
1. 扶正力臂

圖四所示為三個船型的扶正力臂曲線，可以看出船隻傾斜後扶正能力與傾斜角的關係，以及在橫搖運動中代表船隻扶正力矩何時消失的穩度消失角 q 。如圖所示，

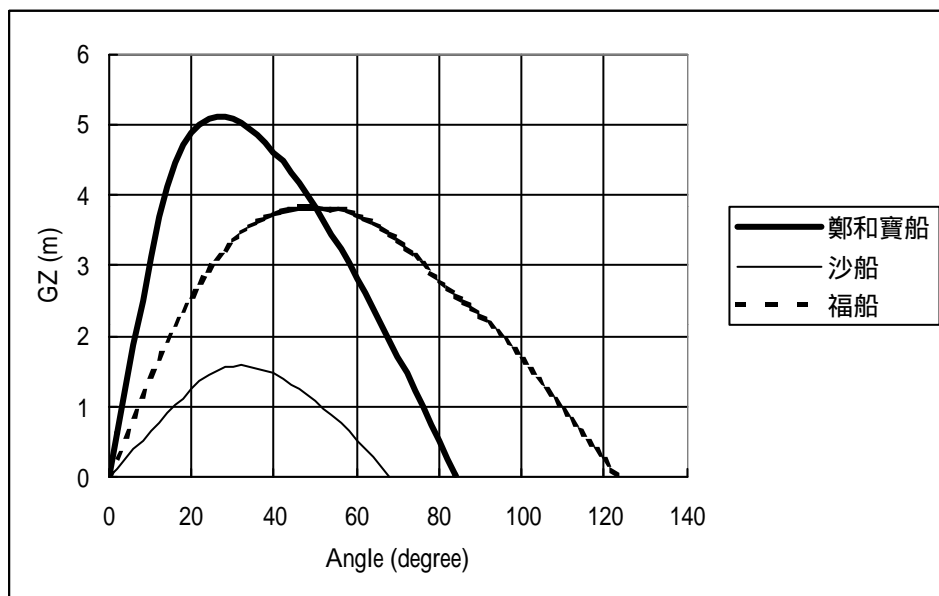
福船的穩度消失角極大，約為 123 度，寶船模型為 84 度，而沙船角度為 69 度。福船與寶船模型的穩度消失角相當大，但並非不合理或不可能。一些現代船隻也常有超過 90 度的穩度消失角。但是，穩定範圍和穩度消失角也為顯示船舶穩度好壞的指標。因為當船舶橫傾角超過穩度消失角後，其扶正力臂為負值；此時作用力促使船舶繼續橫傾，直到翻覆。而穩度消失角與舦剖面係數 C_M 、稜塊係數 C_p 有關，亦即與水下截面積之形狀有關。福船稜塊係數最小，狀似圓型；使其穩度消失角最大。沙船稜塊係數最大，狀似方型；使其穩度消失角最小。而寶船稜塊係數居中。所以其穩度消失角介於福船與沙船之間。



圖二 各船型速率與有效馬力之關係



圖三 各船型阻力係數與福勞得數之關係



圖四 各船型的扶正力臂曲線關係圖

而最大扶正力臂及其對應的橫傾角為衡量大傾角穩度之重要指標。由圖可知扶正力臂的最大值是寶船的大於福船，福船大於沙船，但以最大值發生的角度來看，福船大於寶船，寶船大於沙船。福船的船寬不大、吃水深但乾舷仍大，造成其最大扶正力臂出現之角度較大。表示其能承受極大的橫傾角，在海上有良好的運動性。寶船其船寬較大、乾舷也大，使其扶正力臂最大值較早出現，故仍具有足夠之扶正力矩。沙船的船寬較小，雖有乾舷，但是不大，仍使其扶正力臂值小，穩定性能亦較低。

2. 橫搖週期

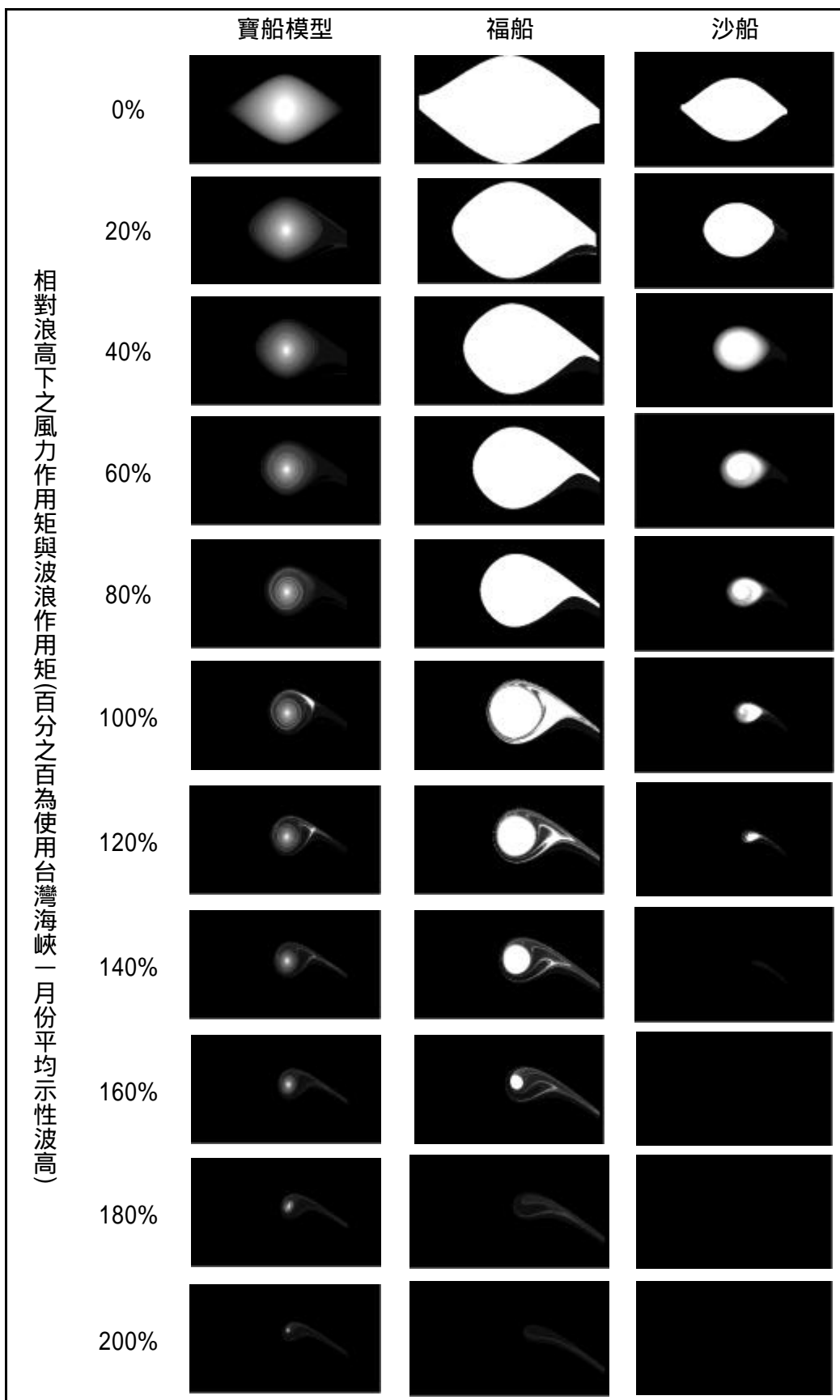
各船型橫搖週期的數值載於表一之中。由這些數字可以發現，三種船型所具有的橫搖週期都約略相似，從 2.2 秒到 2.8 秒左右，與我們先前的研究相似。會影響橫搖週期的各參數中，除重心高度為估計外，都是由船體形狀計算而得，應為準確的數字，但是仍與金秋鵬與楊麗凡的研究⁹有不小的差距，其原因有二。一是金秋鵬與楊麗凡的船型尺度外推放大時，並非依照幾何相似的方法（與本研究不同）；二是對計算慣性矩的部分，金秋鵬與楊麗凡所使用的現代船舶經驗公式與目前古船的直接計算結果差異不小，可能不能適用於古船上。這些在我們先前的研究中¹⁰已有詳細說明。

3. 對風力與波浪的反應

我們仍然沿用作者過去模擬船隻橫搖運動的方法，以電腦數值計算解船隻的非線性橫搖運動方程式，依照結果不同，繪出由初始條件傾斜角 θ 與角速度 $\dot{\theta}$ 為軸所構成的相平面。圖五為各船在風力作用矩與波浪作用矩同時漸增的情況下，相平面中安全域漸受侵蝕的情形，圖中縱軸為風力作用矩與波浪作用矩的相對大小，100%相對浪高表示以台灣海峽量測到之一月份平均示性波高與平均風速，所計算出之風力作用矩與波浪作用矩的大小。而圖中白色區表示在該風浪條件下，該船經歷 16 個風浪作用週期後，仍然不會翻覆，因此稱為「安全域」。我們以此相平面及安全域的觀念來比較各船型遇到風浪時的反應。由圖五可以看出，福船的穩度安全性是三種中最好的，而沙船則很差。圖中也可以清晰看到安全域在風浪漸增時，逐漸被侵蝕的過程不是單純規則的，因此安全域圖形呈現的是俗稱混沌的非線性動力學中常見的碎形(fractal)圖案。

⁹金秋鵬、楊麗凡，關於鄭和寶船船型的探討，頁 183-196。

¹⁰陳政宏、許智超，鄭和寶船復原模型與典型福船及沙船性能之初步比較研究，頁 13-36。

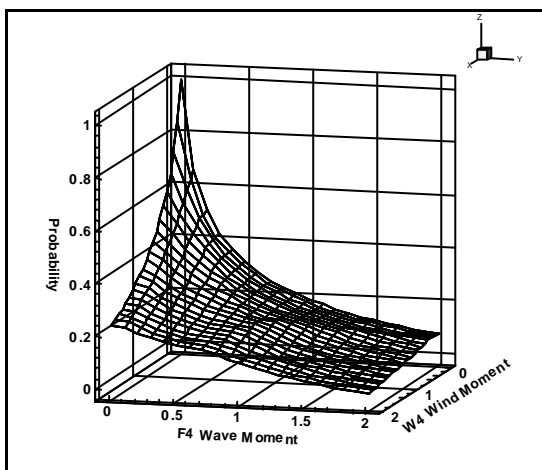


圖五 各船型受風浪作用之橫搖運動相平面 ($-130^{\circ} \leq \varphi \leq 130^{\circ}$, $-2.1 \leq \dot{\varphi} \leq 2.1$)

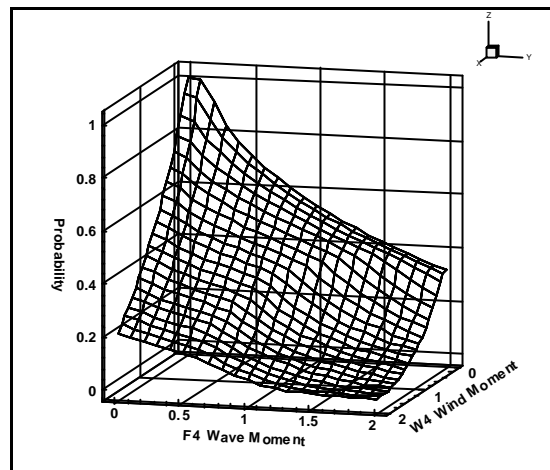
4. 對風力與波浪反應之生存機率

a. 各船型之單獨生存機率

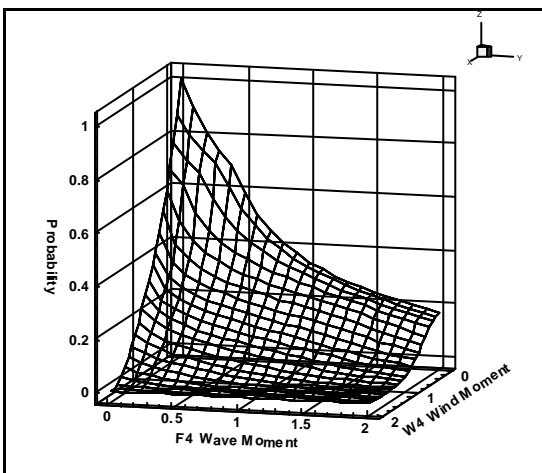
圖六、圖七、圖八各為寶船模型、福船、沙船之單獨生存機率分佈圖形。可看出各船在遇到風浪漸增下，其生存機率的變化都不相同。由圖六中可觀察出寶船模型在受到波浪作用矩漸增的情況下，其安全機率下降的趨勢，比在受到風力作用矩漸增的情況下明顯。表示在波浪作用矩增加的情況下，會比在風力作用矩增加的情況下，對寶船模型生存機率造成之下降影響較明顯，亦即寶船模型之安全域受波浪作用矩漸增情形下，其安全域受侵蝕的情況會比風力作用矩增加的情況下嚴重。而福船與沙船的情況卻相反，風力作用矩增加所帶來的改變，快於波浪作用矩增加所帶來的改變。但是沙船受風力作用矩的影響非常明顯，而且不論是風力或波浪的略為增加，均使其生存機率快速下降；福船則有較好的抗風浪性，其因風力或波浪的增加而減少的生存機率，是三種船型中下降最慢的。由此，我們可以看出，此三型船的穩度安全性應以福船最佳，寶船模型次之，沙船最差。這與等船長條件下的比較結果¹¹則是相同的。



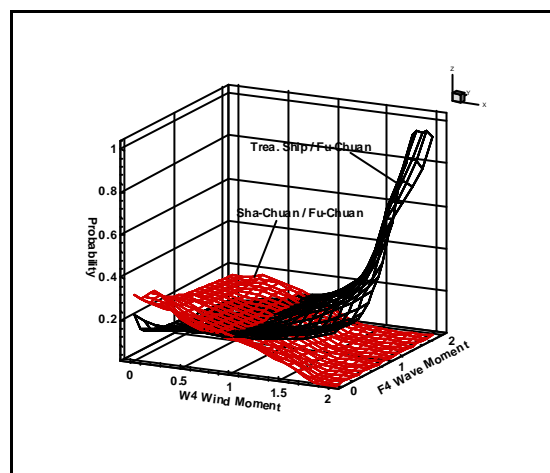
圖六 寶船船型之單獨生存機率分佈圖



圖七 福船船型之單獨生存機率分佈圖



圖八 沙船船型之單獨生存機率分佈圖



圖九 寶船與沙船相對於福船之相對生存機率

¹¹陳政宏、許智超，鄭和寶船復原模型與典型福船及沙船性能之初步比較研究，頁 13-36。

b. 相對生存機率分佈

此外，我們以福船的生存機率為基準，比較其他兩型船在相同風浪條件時相對於福船的生存機率。圖九即為寶船與沙船相對於福船之生存機率分佈圖。由圖中可看出沙船在風浪較小的情況下，其安全域比寶船略大，相對生存機率略高，但均遠小於福船。但在風浪較大的情形下，反而是寶船之生存機率較大，說明沙船在面對風浪漸增大的情形下，其安全域受侵蝕的情況愈來愈嚴重，而寶船其趨勢則較平緩，因此其生存機率反而逐漸與福船接近。也就是說，風浪小時，福船遠優於沙船，沙船又略優於寶船；但風浪大時，寶船漸與福船接近，沙船反而更差。

（三）古書中對福船與沙船性能的比較

對中國古帆船的工藝技術究竟到達什麼程度，有一項可以推論最大船長的方法是利用考古證據，以挖掘出之舵桿長度(11m)，依照船型比例反推其船長。但是由於沙船與福船之船型差異大，其船長與舵桿長的比例也相差很多，若以一般典型船隻的比例推估，有 11 公尺長舵桿的沙船船長在 100 公尺以上，但若為福船，則只約有 50~60 公尺長。由此我們可見船型爭議的重要性是在於船型與推論出的寶船長度息息相關。由於許多古書上都有對福船與沙船差異的比較，我們以現代科技工具分析其船型性能後，可以與古書中的記載互相比較印證。在此，我們以明朝中葉以後作者皆具有實際經驗的四本代表性著作為根據，並去除一些較晚期、內容明顯可見是抄自此四本書的書籍。但即便在此四本書中，因著書年代不同，也有互相引用處，如胡宗憲常引戚繼光的說法，但我們仍取文字不盡相同者，比較各家對福船與沙船比較的說法，整理列於表二。

從表二中可以發現，除了何汝賓外，各家對福船與沙船性能差異的認知是福船較適用於南洋(約為長江口以南)的深水大浪環境，而沙船較適合於北洋(約指長江口以北)的環境。關於這點，明朝的謝杰在《虔臺倭纂 沙舡圖》中的說明也明白提到：“是沙舡與鷹舡相須，與福舡相反也，用者各擇所宜”。雖然，何汝賓的《兵錄》中既說福船是「曠海深洋，回翔穩便」，又說沙船是「諸船惟此最穩」，此間似有所矛盾，也與其他人說法不同；但是無論如何，這四本書都肯定福船是利於航行於深海有大浪處的。而我們之前及本文的研究結果都顯示，福船的確較沙船有更好的穩定性與耐海性，比較不怕大風浪。因此，這種許多古書上的說法與使用現代科技工具分析船型性能的結果是相符的。

（四）寶船尺度與船型的爭議

自從鄭和寶船的尺度爭議興起以來，有關如何復原的討論也非常熱烈。其中最基本的一項爭論的焦點是其船型究竟屬於福船或沙船。有人從建造地點南京來推論屬於沙船(周世德, 1962)，也有人指出當時永樂帝調派福州工匠至南京，所以推

論不一定是沙船，反而有可能是福船。但是光從建造地與建造者而言，此二論點互相抵銷，僅表示沙船與福船皆有可能，而未能替爭論提供進一步解決的線索。

表二 古書中對福船與沙船的比較

年代	明嘉靖年間	明嘉靖年間	明萬曆乙未刊本	明崇禎刻本
作者	胡宗憲	戚繼光	謝杰	何汝賓
書名	籌海圖編 ¹²	紀效新書 ¹³	虔臺倭纂	兵錄 ¹⁴
福船優點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 高大如樓，其底尖，其上闊，其首昂而口張 2. 矢石火炮皆俯瞰而發 3. 敵舟小者相遇，即犁沉之 4. 而敵又難於仰攻 5. 誠海戰之利器也 6. 能行於順風順潮回翔 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 高大如城 2. 福船城風下壓，如車輾螳螂，鬥船力而不鬥人力，是以每每取勝 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 高大如樓，底尖上闊¹⁵ 2. 矢石火炮皆向下而發¹⁵ 3. 乘風衝犁如車輾¹⁵ 4. 敵舟遇之，隨犁隨沉，又不能仰攻¹⁵ 5. 真海戰之利器¹⁵ 6. 能破大浪¹⁶ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 高大如樓，底平深大 2. 曠海深洋，回翔穩便 3. 斗頭高闊，裕于衝犁
福船缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不便亦不能逼岸而泊，須假哨船接渡而後可。 2. 北洋有滾塗浪，福船、蒼山船底尖，最畏此浪 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 惟利大洋，不然多膠於淺 2. 非人力可驅，全仗風勢 3. 無風不可使 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 惟利大洋深處¹⁵ 2. 底尖，畏滾塗浪¹⁶ 	
沙船優點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 惟便於北洋(北洋淺) 2. 不畏滾塗浪 		<ol style="list-style-type: none"> 1. 出入波濤，如履平地，然便於北洋¹⁶ 2. 便於守港¹⁶ 3. 不畏滾塗浪(北洋水淺有滾塗浪)¹⁶ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 底平篷高，易于駕駛 2. 便捷輕利，一日千里 3. 諸船惟此最穩
沙船缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不便於南洋(南洋深) 2. 沙船底平，不能破深水之大浪 		<ol style="list-style-type: none"> 1. 難避矢石¹⁷ 2. 不便於南洋¹⁶ 3. 不便於衝敵¹⁶ 4. 底平，不能破大浪(南洋水深有大浪)¹⁶ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 用披水板把持，以防偏側 2. 但身直膀低，未若鳥船得法

¹²胡宗憲，《籌海圖編 經略 兵船》，(收於《景印文淵閣四庫全書》，台北市：台灣商務印書館，1983年)。

¹³戚繼光，《紀效新書 治水兵篇 福船說》，(收於《景印文淵閣四庫全書》，台北市：台灣商務印書館，1983年)。

¹⁴何汝賓，《兵錄 水攻總說》，(收於《四庫禁燬書叢刊》，北京：北京出版社，2000年)。

¹⁵謝杰，《虔臺倭纂 福舡圖》，(收於《玄覽堂叢書》，台北市：國立中央圖書館，1985年)。

¹⁶謝杰，《虔臺倭纂 沙舡圖》

¹⁷謝杰，《虔臺倭纂 鷹舡圖》

過去也曾有人依福船與沙船的性能差異，來推論鄭和寶船的船型，認為應屬耐海性能較好，也是較常用於來往東南亞的福船式海船。由此可知，若執著於寶船長度，則目前出土的物證僅足以支持 60 公尺長的福船式船隻。雖然這並未排除更長船舶的可能性，但是對證實寶船長度則無助益。反之，若非要目前出土的物證來佐證寶船長度，則寶船船型必須為沙船式的，然而沙船不宜大洋航行的說法出現於許多古籍中，因此沙船似乎有其內在邏輯矛盾處，除非能有證據對此矛盾有所合理的解釋，否則沙船說不易成立。總之，船長、船型與物證之間的關係，使得急欲證明寶船既有《明史》記載的長度，又宜深海遠航者遲遲未能取得不違反邏輯與物理的證據與論述。

再者，我們可以將尺度與船型合併來檢驗目前各假說的合理性與可能性。尺度上，由於目前並無人主張介於 70m 與 120m 之間長度的，我們將目前各方假說中約為 125~140m 長的稱為“大”的，而長度 70m 以下的稱為“小”的。因此兩種尺度與兩種船型組合成四種可能性，我們依照目前各方曾提出的論述依據，一一檢驗並整理其合理性與可能性。而過去曾有人¹⁸提出長寬比等論述依據，由於已被船型所包含，不另立一項比較。比較的結果列於於表三中。首先，我們看是否有其他非關鄭和的歷史文獻中曾出現類似船隻(船型與尺度)的記載描述或圖片的。由於，古今中外目前已知的其他文獻中，尚未出現任何長度在 100 公尺以上的中國式帆船，因此，大沙船或大福船是未能獲得其他文獻支持其可能性的。而小沙船與小福船不僅有許多明朝時海事相關書籍中的記載，至清末也開始有許多照片為證，因此其存在是不容置疑的。

表三 寶船尺度與船型假說之檢驗

推論依據	大沙船說	大福船說	小沙船說	小福船說
其他文獻記載	無 (0)	無 (0)	有 (1)	有 (1)
建造地	無法推論 (0)	無法推論 (0)	有可能 (1)	可能性低 (0)
建造者	無法推論 (0)	無法推論 (0)	有可能 (1)	有可能 (1)
航行地	不合理 (-1)	合理 (1)	不合理 (-1)	合理 (1)
出土舵桿	有可能 (1)	證據不足 (0)	有可能 (1)	有可能 (1)
安全穩定性	可能性低 (0)	有可能 (1)	幾乎不可能 (-1)	有可能 (1)
速度	有可能，待檢驗(0)	有可能，待檢驗(0)	有可能，待檢驗(0)	有可能，待檢驗(0)
結構與製造	資料不明待檢驗(0)	資料不明待檢驗(0)	資料不明待檢驗(0)	資料不明待檢驗(0)
檢驗總分	0	+2	+2	+5

¹⁸管勁丞，鄭和下西洋的船，《東方雜誌》，第 43 卷，第 1 號，(1947 年)，頁 47-51。

其次，以建造地點或建造者而言，由於沒有文獻支持，我們也無法就其來推論大船或大福船的可能性及合理性。由建造地點則可以推論小沙船是有可能，因為曾有許多小沙船製造於南京；而小福船的可能性就低了，但是由於有建造者自福建來，因此也不能排除其可能性。第三，從航行地點看，古中國人多以福船、廣船一類的行駛於此東南亞與印度洋區域，因此福船說是合理的，而目前又無證據顯示改用沙船的理由，因此沙船說就此而言是不合理的。第四，由出土舵桿的長度推論，約 11 公尺的長度適合用於約十倍長的沙船或四到六倍長的福船，而既然有大船，較小的船當然也有可能。所以，大小沙船與小福船皆是合理的說法。另外，對大福船說，我們可以推論其舵桿長約 $120\text{m}/5=24\text{m}$ 長，材質為古中國帆船常用的鐵梨木，其材料強度可由材料力學文獻中得到，而在推估其船轉向所需力矩後，我們才可以推論此長度舵桿之合理性。此點尚待學者研究。第五，由安全穩定性看，我們的研究與古籍既載相符，皆顯示福船較佳，因此較為合理，而小沙船的穩度極差，不太可能用於遠洋航行。

而速度上，目前我們只推算出各航速下所需之推力大小，有待學者依照合理之流體力學原理或實驗結果推算出合理風帆之推力，兩相比較後再與文獻中的鄭和航程記載比對航速，方可知其合理性。至於結構與製造方面，雖然明朝的《龍江船廠志》¹⁹或清朝的《欽定福建省外海戰船則例》²⁰中對古時造船所用的材料甚至工法有詳細描述，然而欠缺圖片輔助，恐怕不易對結構強度方面作足夠精確的估算，也不易檢驗以其方法製造大船的可能性。此外，由於寶船的尺度記載正確與否，雖仍有爭議，但就算能確定寶船的尺度，船型的不同仍會造成船隻性能與載重量極大的差異，這可以從陳政宏、許智超(2002)的論文與本文的資料中輕易看出。因此船隻性能與載重量將來也可以成為可以檢驗這兩種假設合理性的工具。

我們若以量化的方法將上述推論給分，無法推論或待檢驗者與低可能性者給予中性的 0 分，而有可能或合理者給肯定的+1 分，而不可能與不合理者為否定的-1 分。此分數在表三中以括號內的阿拉伯數字表示。我們從上述各項評比結果相加所得之總分可以看出，小福船說在目前的證據中得分遠高於其他假說，而且最重要的是此假說在各項中無任何負面的得分，也就是說不僅合理性與可能性最高，其內在邏輯的一致性也是最高的。就目前的證據看來，小福船說是較合理的。相反的，一些急欲證明寶船長度超過 120 公尺者之希望所在的大沙船說，反而是所有的可能性中最不可能的。然而，合理的並非就一定是事實，或是必然存在過。我們還需盡各種可能，從文獻、科技、邏輯推論等各方面研究，才有可能還原史實，或至少逼近史實，而不致淪為各為不同意識形態偏見所惑的情形。

¹⁹李昭祥，《龍江船廠志》，(收入《玄覽堂叢書》，台北市：國立中央圖書館，1985 年)。

²⁰《欽定福建省外海戰船則例》，(收入《台灣文獻叢刊》第 125 種，台北市：台灣銀行經濟研究室編，1961 年)。

四、結論

我們以現代造船學的方法進一步探討了等排水量條件下，鄭和寶船復原模型、福船及沙船的性能，並比較其間的差異，我們的發現如下，與我們先前的研究大都一致：

- (1) 在同一速率下，所需馬力或其阻力是福船大於沙船，沙船又大於寶船。此結果與等長的三種船型結果不同，是因浸水表面積不同之故。
- (2) 從扶正力臂曲線比較各船型的穩度性能，福船與寶船優於沙船。
- (3) 從單獨生存機率分佈圖形可知：穩度安全性以福船最佳，寶船模型次之，沙船最差。這與等船長條件下的比較結果相同。
- (4) 由相對生存機率分佈可知：當風浪小時，福船遠優於沙船，沙船又略優於寶船；但風浪大時，寶船漸與福船接近，沙船反而更差。
- (5) 我們之前及本文的研究結果都顯示，福船的確較沙船有更好的穩定性與耐海性，比較不怕大風浪，與許多古書中對沙船及福船的比較與描述是相符的。
- (6) 依目前的證據與合理推論的結果檢驗，小福船是最有可能的船型與尺度，但由於無直接證據，也無法完全排除其他可能，因此寶船的船型與尺度尚不能定論。

五、誌謝

本文所用部分古船資料為基隆古船研究者與船模製造家曾樹銘先生提供，謹此致謝。