

## 船前体形状对阻力和耐波性的影响

姜次平 朱慕时

### 摘 要

本文通过5,000吨近洋干货船一组具有相同后体但不同前体的阻力和耐波性船模试验,以考察前体形状对阻力和耐波性的影响。结果表明:前体线型“V”形化固然能使纵摇和升降有些改善,但其静水阻力将增加。

与此同时,还进行了耐波性的理论计算,将其与试验结果比较,吻合良好。可见,耐波性的理论计算在船舶线型设计中不失为一种简便而有效的手段。前体剖面形状对耐波性的影响程度在压载时较满载时为小。值得指出的是:首部削去较多的前踵在压载状态将导致该处船底砰击频繁的缺点。

船舶线型设计的成功与否,最终取决于船舶在海上的航行性能。但是,要预报船舶在真实海况中的阻力、推进特性、摇荡运动以及诸如甲板上浪、砰击这样一些动态效应是个比较复杂的问题。所以,在以往很长一段时间内一般仍不得不偏重于根据船舶在静水中的性能来选择尺度和线型,而较少顾及其在波浪上的性能。只是由于近年来试验技术的日臻完善和电子计算机应用于耐波性的理论计算,才有可能在船舶设计的早期阶段就对其耐波性也加以仔细的考虑。

本文所讨论的5,000吨近洋干货船,主要经营我国华南和东南亚各国之间的杂货运输。根据有关资料,南海及台湾海峡地区盛行东北季风,每年九月至来年三月期间风浪较大,风力六级以上的频率达20~50%,风浪五级以上的频率亦有20~50%之多;更兼货物流量、流向多变,船舶空放率较高,故而本船的耐波性不容忽视。在初步设计阶段,除在船舶尺度、布置形式、压载系统等方面加以注意外,在线型设计上亦对此进行了重点的研究。

众所周知,船舶线型诸要素中,除主要尺度外,以前体剖面形状对船舶耐波性的影响为最显著。从五十年代中期开始Lewis, Ochi, Taniguchi, Swaan 和 Vossers[1], 以及 Bengtsson[2][3] 等曾进行过这方面的模型试验研究。六十年代末期以来, Ewing, Joosen, Yourkov[4], Beukelman[5] 等根据“切片理论”,利用电子计算机在这方面做了一些研究工作。虽然由于他们研究的船型和研究的侧重点有所不同,结论不尽一致。但是,前体采用V形剖面可望改善船舶的耐波性,特别是在波浪中的运动,这一点却是基本一致的。

同时,必须注意到,采用不同形状的前体剖面亦会影响到船舶的快速性,尤其是静水中的阻力。这方面,国内外都曾开展过广泛的研究。从降低静水阻力的观点看,傅汝德数(Fn)

本文1983年12月20日收到,1984年4月2日收到修改稿。

较低的船舶采用 $V$ 形剖面较合适,此时兴波阻力较小, $V$ 形剖面的船舶因其较小的湿面积而使占主要部分的摩擦阻力降低,从而具有较低的阻力。但当傅汝德数增大至某一值时,情况发生逆转,兴波阻力变得举足轻重,此时采用 $U$ 形剖面,使首部排水体积下移,减小船首兴波,阻力往往能较 $V$ 形为小,尽管 $U$ 形剖面的湿面积较大。本船设计速度13.2节( $Fn=0.21$ )正处于该转换区域<sup>[6]</sup>,采用 $V$ 形还是 $U$ 形剖面值得推敲。

因此,亟须通过船模试验和理论计算来考察前体剖面形状对阻力和耐波性的影响,以作出权衡抉择。

为此,在主尺度确定后,设计了 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 三种线型方案(如图1)进行试验研究。三个方案具有相同的后体线型,而藉改变前体的设计水面线的肥瘦程度以获得不同形状的前体剖面(因此可将设计水面线系数 $C_w$ 作为区分这三个方案的一个特征参数),但保持横剖面面积曲线不变,使试验结果能纯粹地体现剖面形状的影响。

三个方案以前体剖面“ $V$ ”形化的程度排列, $A$ 方案为“中 $U$ ”, $B$ 为“ $V$ ”形, $C$ 为“极 $V$ ”形。因条件的限制,又鉴于某“极 $U$ ”形剖面的型船耐波性欠佳,故未将“极 $U$ ”形剖面的方案入选。表一列出了这三种线型的主要参数。

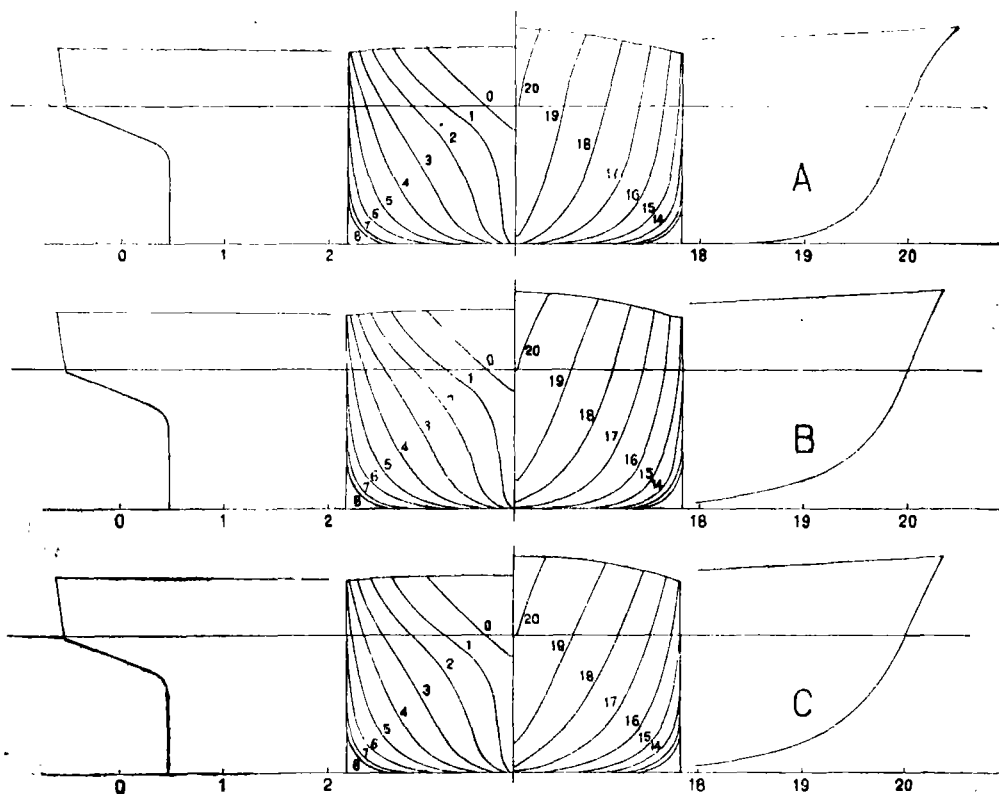


图 1

表 一

试 验 状 态		满 载			半 载			压 载		
线 型 方 案		A	B	C	A	B	C	A	B	C
垂线间长(米)		99.0								
型 宽(米)		16.0								
水 线 长(米)		101.7						92.75	92.40	92.15
吃水(米)	平 均	6.50			5.80			3.50		
	首	6.50			5.80			2.75		
	尾	6.50			5.80			4.25		
型排水体积(米 <sup>3</sup> )		7237	7238	7240	6458	6438	6426	3569	3535	3503
湿 面 积 (米 <sup>2</sup> )		2182	2174	2163	2054	2043	2032	1574	1562	1550
方 形 系 数		0.703			0.693	0.691	0.690	0.646	0.644	0.636
舢 剖 面 系 数		0.983			0.981			0.968		
水 线 面 系 数		0.813	0.821	0.830				0.728	0.729	0.732
水线半进角(度)		23.5	29.5	29.4						

为兼顾阻力和耐波性试验, 采用缩尺比为 40 的木质船模。

阻力试验在上海船舶运输科学研究所水池进行<sup>[7]</sup>, 分满载、半载和压载三种工况, 对试验结果采用柏兰特和许立汀公式计算摩擦阻力, 另加  $0.4 \times 10^{-3}$  作为船模实船换算补贴, 换算至实船(相当于海水,  $15^{\circ}\text{C}$ )的静水裸体有效马力(见图 2)。

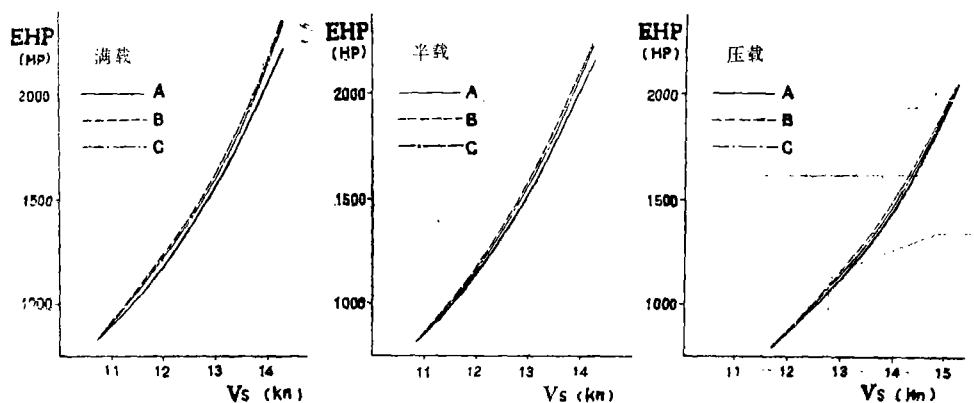


图 2

表二比较了各工况下三种线型的有效马力(以 A 型为 1.0)。虽然 A 型的湿面积分别较 B 型和 C 型大 0.4% 和 0.9%, 但其静水阻力仍较低。满载状态在设计航速 13.2 节处, A 型阻力比 B 型低 4.6%, 比 C 型低 2.5%; 半载时 A 型低 2% 左右; 而在压载工况下, A

型比B型低3.5%，比C型低1.5%，若计及该状态下三者排水量的差异而以单位排水量的有效马力作比较，则A型比B型和C型分别低6%和3.4%。可见，就本船的静水阻力而言，首部取中U形剖面较之V形剖面更适宜一些。

表 二

试验状态	满载			半载			压载		
	12	13	14	12	13	14	12	13	14
A	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B	1.036	1.045	1.050	1.012	1.019	1.032	1.032	1.034	1.016
C	1.025	1.022	1.038	1.009	1.015	0.029	1.015	1.015	1.008

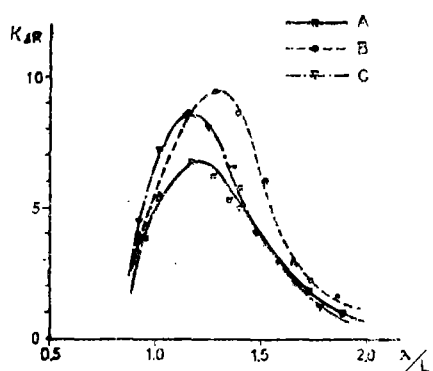
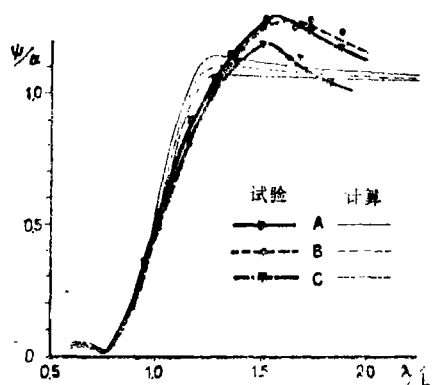
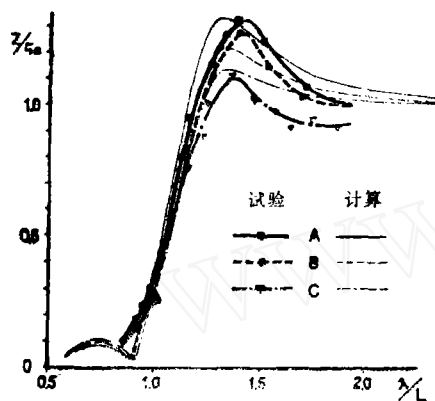


图 3

在我校水池进行了船模在满载和压载两种状态时规则波上的迎浪试验<sup>[8]</sup>，满载状态的试验速度为0.75米/秒和1.05米/秒，分别相当于实船9.2节和12.9节；压载状态的试验速度为1.15米/秒，相当于实船14.2节。试验结果用升沉运动幅值 $Z$ 与波幅 $\xi_0$ 的比值 $Z/\xi_0$ ，纵摇角 $\psi$ 与波倾角 $\alpha$ 的比值 $\psi/\alpha$ 以及阻力增加系数 $K_{\Delta R} = \frac{\Delta R}{\rho g \frac{B_m^2}{L_m} \xi_0^2}$ —随波长 $\lambda$ 与船长

$L$ 之比 $\frac{\lambda}{L}$ 的变化曲线，即所谓的频率响应曲线来表

示(图3—图5)。并按ITTC(1966)波谱，将试验结果换算到实船在有义波高 $H_{\frac{1}{3}} = 4$ 米的不规则波(大致相当于7级风，6级浪)上的情况(参见图6(a)，(b)上的试验换算点“■”，“●”，“▼”)。与此同时，应用三参数的“切片理论”方法作了详尽的计算<sup>[8]</sup>，计算结果以细线一并画入图3—图6中。

无论是试验数据还是理论计算结果，均表明随着前体剖面的“V”形化，船舶在波浪上运动(升沉、纵摇)频率响应特性，一般言之，当 $\lambda > L$ 时，也随之略小，两者中以升沉运动较为显著。至于对波浪中阻力增加的影响，其规律性不如升沉、纵摇运动的强，并似有相反的趋势。剖面形状对耐波性的影响程度还因船舶的装载状态而异，压载时的影响较满载时小。

造成这些差别的原因是，具有相同剖面面积，但形状不同的剖面其运动阻尼和附连水质量不同，剖面形状越“V”，运动阻尼就越大，但附连水质量上的差别相对较小，剖面离船舶愈远，其影响就愈显著，因此V形剖面前体的船舶在运动方面(尤其是升沉)较为优越。而当船舶处于压载状态时，吃水大为减

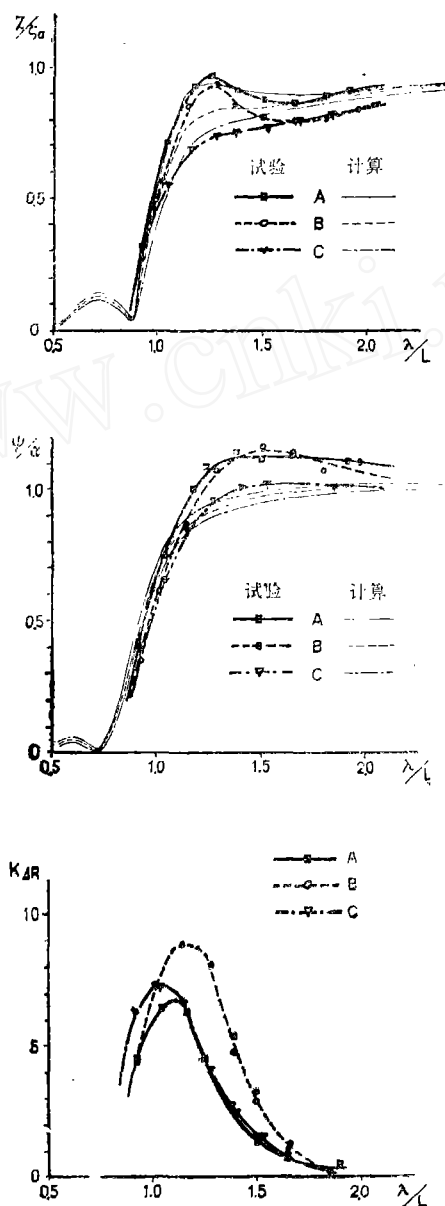


图 4

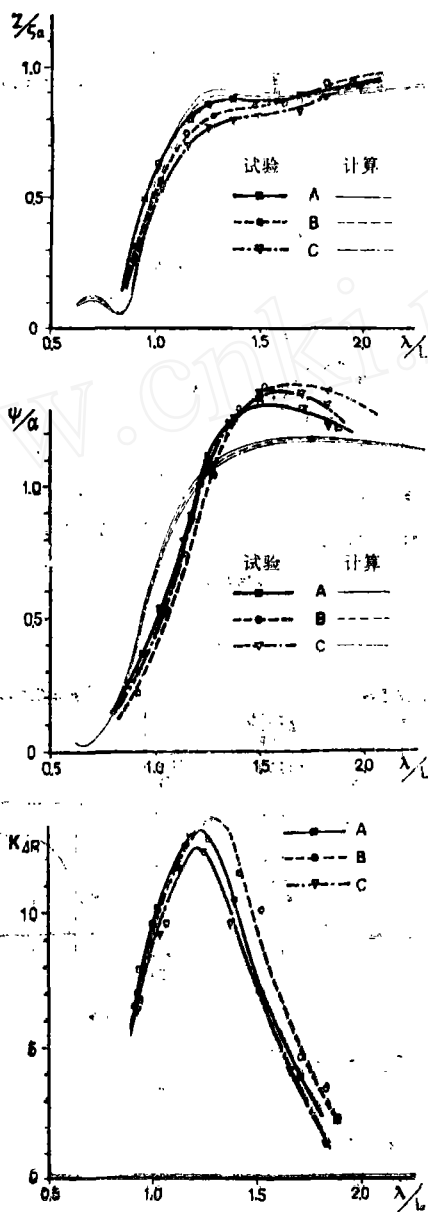
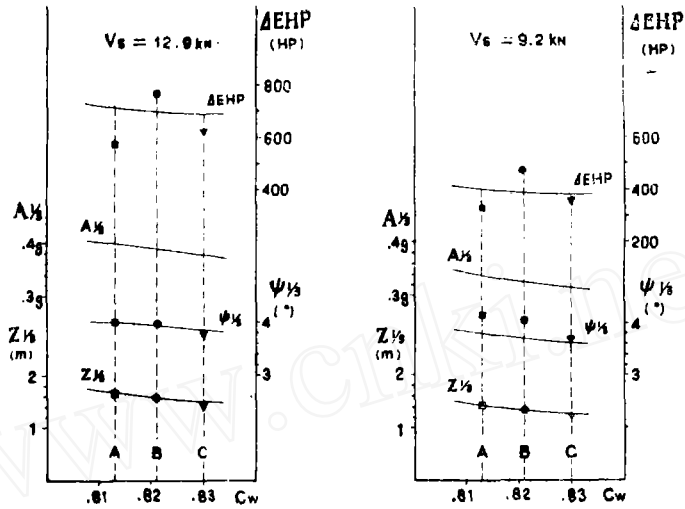
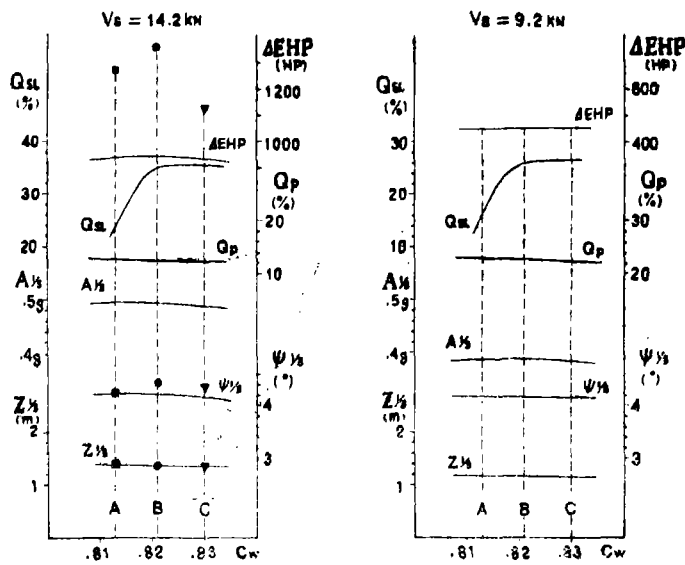


图 6



(a) 满载状态



(b) 压载状态

图 6

小,剖面形状的差别比起满载状态时小得多,因此剖面形状对压载耐波性的影响自然就不及满载时显著了。

经验告诉我们,货船耐波性出现问题往往是在“压载空放”状态,此时,首部( $0.05L$ 处)砰击概率 $Q_{SL}$ 和螺旋桨出水概率 $Q_P$ 是除了运动(有义升沉幅值 $Z_{\frac{1}{3}}$ ,有义纵摇幅值 $\psi_{\frac{1}{3}}$ ,首柱运动加速度幅值 $A_{\frac{1}{3}}$ )、马力增加( $\Delta EHP$ )外,表征耐波性的另两个重要特征量。而图6(b)表明, $V$ 形剖面的 $B$ 、 $C$ 方案对于 $A$ 方案并没有占有明显的优势。

值得指出的是,尽管 $V$ 形剖面前体的 $B$ 型、 $C$ 型在波浪中升沉、纵摇运动略小,但其首部 $0.05L$ 处船底于压载时的砰击概率却反而远较 $A$ 型为大( $H_{\frac{1}{3}}=4$ 米时,约大50%! ),在规则波上试验观察到的情况是如此,试验及理论计算结果亦是如此。图7给出了三个方案压载状态,航速为14.2节和9.2节时,在不同海况下首部( $0.05L$ 及 $0.125L$ 处)船底的砰击概率。这是因为 $V$ 形的首部剖面伴随着削去较多的前踵,致使该处剖面的实际吃水较小,如 $B$ 、 $C$ 型首 $0.05L$ 处的吃水仅为 $A$ 型的60%,在波浪中运动时船底势必较易露出水面,导致该处船底砰击反较方案 $A$ 频繁。

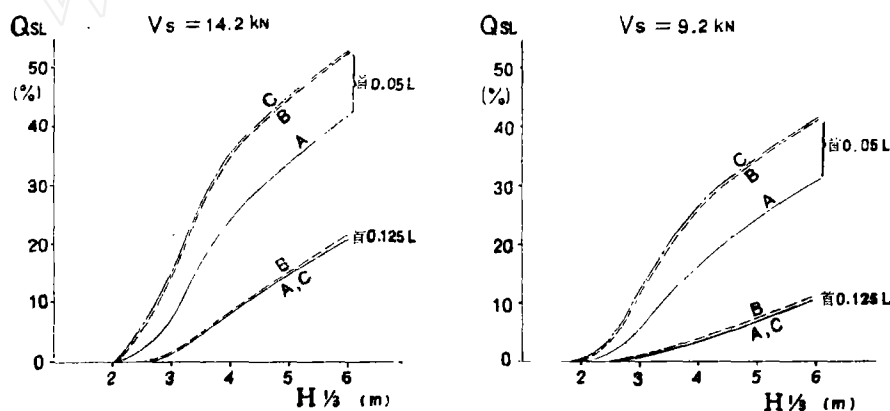


图 7

因此,从纵摇和升沉的角度看, $V$ 形剖面的 $B$ 、 $C$ 方案略好于 $A$ 型,但无明显优势可言,却存在着易于砰击的缺陷。

此外,从试验数据和理论计算结果的比较可以看到两者趋势相同,数值接近,吻合尚好。要是说两者的频率响应曲线尚存在一定差别的话,那末换算到不规则波上的情况就相差无几了。而从实用的角度来看,更有意义的恰恰是后者。这表明尽管耐波性的理论计算中包含了一些简化和假定,但其在船舶线型的设计中仍不失为一种简便而行之有效的,特别是在没有条件进行试验的情况下更是如此。

顺便提一下,本船最后选用了 $A$ 方案线型,并已先后在广州、武昌、芜湖等地批量建造,首制船“红旗173”满载试航航速达到13.32节,几年来营运实践证明性能良好。

最后,在此向参加过本工作的上海船舶运输科学研究所潘静霞同志,上海交通大学黄祥鹿同志、俞湘三同志,上海船舶设计研究院王正夏同志、孙善英同志及其他有关同志深表谢意。蒋慰昌同志自始至终支持本工作,提供了很好的意见,在此一并致谢。



## 参 考 文 献

- [1] W.A.Swaan, G.Vossers "The Effect of Forebody Section Shape on Ship Behaviour in Waves" RINA July 1961 Vol 103 №3
- [2] B.G.Bengtsson "Influence of V and U Shaped Fore Body Section on Motion and Propulsion of Ships in Waves" SSPA № 49, 1962
- [3] B.G.Bengtsson "Influence of V and U Shaped Fore Body Section on Motion and Propulsion of Ships in Waves at Ballast Draught" SSPA №56, 1965
- [4] N. Yourkov "Vertical Motion of Ships with Different Form of Forebody" ISP March 1973 Vol 20 № 223
- [5] W.Beukelman, A.Huijser "Variation of Parameters Determining Seakeeping" ISP July 1977 Vol 24 № 24 № 275
- [6] Я.И.Бойтунский "Сопротивление Боды Движению Судов" 1964
- [7] "5,000 吨近洋干货船船模阻力试验报告" 交通部上海船舶运输科学研究所船模试验池 1976.7
- [8] "5,000 吨近洋干货船耐波性试验报告" 上海交通大学船模试验池 1976.8
- [9] "5,000 吨近洋干货船(方案)耐波性估算书" 上海船舶设计院 1976

# Effects of the Shape of a Ship's Fore Body on Its Resistance and Seakeeping Qualities

Jiang Ciping      Zhu Mushi

## Abstract

This paper, based on the experiments on a group of models of a 5,000 D.W.T. ocean-going general cargo ship, presents the effects of the shape of its fore body upon the ship's resistance and seakeeping qualities. The models have identical aft bodies but different fore bodies. The results show that, although some improvements in pitching and heaving motion can be gained with the use of a V-shaped fore body, the resistance in calm water will increase.

Theoretical calculations have also been made of the seakeeping qualities. The results compare well with those from the model experiments. Therefore, theoretical calculation of the seakeeping qualities is substantially a simple and effective means in the design of ship lines. The effect of the shape of the fore body on seakeeping qualities in ballast condition is somewhat smaller than on those in full-load condition. It is worth notice that too much cutaway of the forefoot will result in increased probability of slamming at the bow bottom in ballast condition.