

文章编号:1000-4696(2002)01-0001-08

试论超浅吃水船阻力性能和耐波性能

林树人 *

摘 要:针对实际设计的船舶,结合模型试验研究,探讨超浅吃水船阻力性能和耐波性能的特点,解决设计中所提出的有关问题。

关键词:超浅吃水船;阻力性能;耐波性能

中图分类号:U661 **文献标识码:**A

On Resistance and Seakeeping Performance of Super-Shallow Draught Ships

LIN Shu-ren

Abstract: Combined with ship model experiments, the relevant features of the resistance and seakeeping performance of super-shallow draught ships are described for actually designed ships and the solution of the problems in design is given.

Key words: Super-shallow draught ship; resistance performance; seakeeping performance

1 概述

从 20 世纪 60 年代开始,以油轮为先导,船舶出现大型化的发展趋势。船舶大型化有两个方面的含义:其一,船舶绝对几何尺度大大增加;其二,船舶的方型系数 C_b 达到 0.8 以上,形成肥大型船。船舶大型化后,装载量大幅度提高,取得了可观的经济效益。到了 70 年代,统计数据表明,25 ~ 30 万吨的油轮占世界油轮总的 50%;接着,散货船、多用途船也迅速大型化。由于受航道水深的制约,大型化船舶的吃水不可能再有明显的增加,于是出现了浅吃水肥大船,其船型特征是:长宽比 $L/B < 5.5$,宽度吃水比 $B/T > 2.8$,方型系数 $C_b = 0.80 \sim 0.835$ 。到 80 年代,在浅吃水肥大船的基础上,发展了超浅吃水船(USDV),这时 B/T 可达到 6.4,一些特种船舶,如模块运输船,其 B/T 甚至更大。到了 90 年代,在世界先进的造船国家,浅吃水船、超浅吃水船的相关技术进一步完善;我国也有几型浅吃水肥大船成功地投入营运,技术难度更大的超浅吃水船也开始出现。常规船、浅吃水肥大船、超浅吃水船的区分,关键在 B/T 的取值。一般认为, $B/T < 2.8$ 为常规船, B/T 在 2.8 ~ 4 为浅吃水船, $B/T > 4$ 则为超浅吃水船。

在上述各档区间,各国所造出的船的吨位、 B/T 等也不尽相同。这是根据各具体的货源、运距、航道水深、潮差及港口设施等综合论证后确定的。所以,浅吃水船、超浅吃水船是一个相对的概念:对于较深的航道条件,可造出吨位、尺度很大的浅吃水船或超浅吃水船;对于较浅的航道条件,超浅吃水船的吨位、尺度就相应地较小。总的指导思想是提高船舶对港口、航道水深的适应性,让造出的船舶具有尽可能多的装载量和较好的营运效益。

时至 21 世纪之初,回顾世界船舶技术的发展历程,集装箱船获得了长足的进展,已经出现可装载 6000 TEU 以上的第六代超巴拿马型的集装箱船;并据资料,有 70 % 的货物可用集装箱船装运^[1]。但在物流

收稿日期:2002-04-22

* 原属运输系统部

中,仍有大量的矿砂、煤炭、散装化肥以及原油仍须由散货船或液货船装运。浅吃水船、超浅吃水船仍然可在散、液货运送中发挥着不可或缺的作用,表现出久远的生命力。所以,浅吃水船、超浅吃水船的节能、高效、低成本始终是摆在船舶研究者面前的研究课题,并且这些研究完全符合我国沿海港口航道水深较浅的国情。

2 对浅吃水船、超浅吃水船的一般评述

早期,国外有人提出,单桨浅吃水船的 L/B 不能小于 5, B/T 不宜大于 4。这种提法反映了浅吃水船在技术上有一系列难题;至于超浅吃水船,似乎成了禁区。的确,这类船舶在快速性、操纵性、耐波性等方面,存在着与常规船舶不同的地方,各项性能指标一般都趋于恶化。

就快速性而言,这类船舶线型丰满、湿表面积大,傅氏数低,粘性阻力在总阻力中所占比例很大,安装球首作用不大。而且船型短、宽,进流角大,尾部流场又极易分离,所以常规船型中较易解决的问题,这里却显得棘手。船尾设计是个难点,但若采用双尾鳍,将尾部设计成纵流型,可延缓流线分离。形状较为理想的尾鳍,对提高推进效率有利。

就操纵性而言,这种船型的回转性比常规船好,但其航向稳定性和应舵跟从性却往往较差。在浅水中,它的航向稳定性会有所好转,但随水深减小,舵叶前缘的轴向平均伴流分数会明显增加,敞航时舵效很差。若采用双机双桨双舵,对解决操纵性问题有利。

就耐波性而言,浅吃水船及超浅吃水船宽度宽,吃水浅,初稳性 GM 大,其横摇自摇周期比相当吨位的常规船舶要小,横摇的状况恶化,另外,吃水浅, L/T 大,这又使船首底部砰击、波浪中失速、螺旋桨出水等现象严重起来。把超浅吃水船的概念应用到小吨位船的设计上,碰到的问题会更多。

3 试验研究对象及需要解决的问题

本文研究的对象,是一艘在航道最小水深为 2.5 米并需利用潮差进行航行的运煤船。据实际水深条件,若把该船设计成常规船型,则至多是条排水量为 600 多吨的小船,其载货量非常有限。为了提高营运经济效益,装载量最好能提高到 1500 吨左右,这就必须采用超浅吃水船型。经论证,主尺度如表 1 所示,船型方案的型线示意图参见图 1。

在初步设计阶段,首先面临着这样一些问题:a) 在设定的主机功率下,新船的航速能否达到预定要求? b) 它在波浪中的运动响应如何,是否满足使用要求? c) 这类船舶舢剖面系数很大,船又很扁,安装舳龙骨有没有作用? 如果不装,其阻力性能是否有所得益? d) 该船所服务的航区时常有较大的风浪,在风浪中航行,失速是否严重? 螺旋桨出水概率如何? 前者关系到营运效益,后者关系到设计中螺旋桨直径和桨轴浸深的研究; e) 在风浪中航行,是否会出现频繁的首底部砰击,这又是进行首部线型优化、结构加强以及压载舱布置等设计工作时需要了解的。本文旨在解决上述问题。

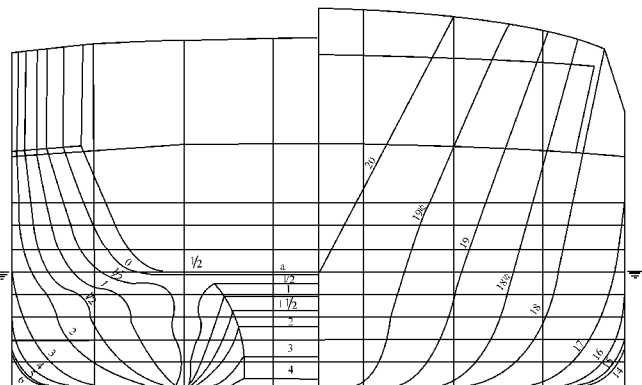


图 1 船型方案的型线示意图

4 试验研究的内容及方法

根据水池尺度和造波频率范围,考虑到阻力试验和波浪试验的需要,确定试验船模的缩尺比为 20。船模为木质,表面喷漆、打蜡,在第 19 站安装一根 $\phi 1$ 的激流丝。舳龙骨安装在第 5 站至第 15 站。在波浪试验中,船模的重心高度、惯性矩及惯性半径系数参见表 2。

4.1 阻力性能试验

拖曳阻力试验安排 4 种测试状态:船模不带舵、不装舳龙骨,测定超载、满载、压载状态下的船体阻力,以及船模不带舵、装舳龙骨满载时的船体阻力。测试结果用 Schuster 公式进行水池阻塞修正,用概率修匀函数

表 1 船型主尺度要素

主尺度要素		符号	单位	实船	模型
总长		$L_0 a$	m	80.9	4.045
总宽		B	m	13.6	0.680
吃水	超载	T_1	m	2.8	0.140
	满载	T_2	m	2.5	0.125
	压载	T_3	m	首 1.3/ 尾 1.8	首 0.065/ 尾 0.090
	超载	C_{b1}	-	0.8375	
方型系数	满载	C_{b2}	-	0.8264	
	压载	C_{b3}	-	0.7920	
	超载	∇_1	m ³	2448.50	0.30606
排水体积	满载	∇_2	m ³	2158.10	0.26976
	压载	∇_3	m ³	1240.94	0.15512
长宽比		L/ B	-	5.95	
宽度吃水比		B/ T	-	5.44	
舦龙骨尺寸			cm	3840 ×24	192 ×1.2

表 2 船模的重心高度、惯性矩及惯性半径系数

		符号	单位	满载	压载
重心高度		Z_g	cm	15.5	18.0
横摇	惯性矩	I_k	kg cm s ²	132.91	101.87
	惯性半径系数	K_x	-	0.32	0.37
纵摇	惯性矩	I_y	kg cm s ²	3068.12	2197.63
	惯性半径系数	K_y	-	0.27	0.30

消除随机影响 ,摩擦阻力系数采用 57 ITTC 公式 ,用二因次法换算到 15 ℃海水中实船的有效功率。粗糙度补贴取 $C_f = 0.0004$ 。

4.2 耐波性能试验

4.2.1 静水中自由横摇试验

船模满载正浮 ,对安装舦龙骨和不装舦龙骨两种状态进行静水中自由横摇衰减试验。

4.2.2 零速横浪试验

船模满载、正浮、零速 ,分安装舦龙骨和不装舦龙骨两种状态 ,作横浪试验。试验波高 6 cm ,波频范围 $0.6 \sim 1.5 s^{-1}$ 。据测试结果作出横摇频率响应曲线 ,并预报实船横摇。

4.2.3 非零速迎浪试验

船模满载、正浮、带舦龙骨、进速1.035 m/ s(相当于实船航速 9 kn) ,及压载、尾倾、带舦龙骨、进速1.094 m/ s(相当于实船航速9.5 kn) ,作迎浪试验。试验波高 6 cm ,波频范围 $0.4 \sim 0.85 s^{-1}$ 。同步测出船模的纵摇、升沉、波浪中的阻力 ,同时用钽丝测出尾部相对运动。从而得到迎浪航行时纵摇、升沉、阻力增加、尾部相对运动的频率响应曲线 ,并预报实船纵向运动。

4.2.4 波谱

预报船舶运动的不规则波波谱 ,可采用 ITTC 单参数谱和双参数谱 ,也可采用光易谱。本文采用 ITTC 单参数谱及双参数谱：

$$S(\quad) = \frac{A}{5} \exp\left(-\frac{B}{4}\right) \text{ (m}^2/\text{s)}$$

其中 单参数谱 : $A = 0.78, B = 3.11 H_{1/3}^2$;
双参数谱 : $A = 173 H_{1/3}^2 / T^4, B = 691 / T^4$ (此处 T 为特征周期)

5 试验结果表达及对超浅吃水船设计工作的建议

5.1 阻力性能试验的结果和建议

阻力性能试验结果(实船有效功率曲线)参见图 2,其中满载有效功率曲线可作为预报航速的依据。从营运的经济性看,该船的服务航速似不宜太高。从图 2 可知,装上舦龙骨后,船舶的总阻力增加不多。在设计航速附近,舦龙骨引起的阻力增加在 2 % 以内。

与同样吨位的常规船型比,超浅吃水船每载重吨的有效功率要高;但与同样吃水的常规船型比,超浅吃水船每载重吨的有效功率要低。这既是超浅吃水船的弱点所在,也是超浅吃水船的魅力所在。一般说来,增加船长可使有效功率降低,但引起造价增加;减少一些方型系数,有效功率明显降低,但排水量有所减少;船宽的增加,对造价影响较小,但要处理好进流角和控制尾部流场分离。如采用一小球首,有利于处理好进流角问题,并通过首部线型的变化,使流经船底和流经船侧的水流合理分配,尽量减小流线转折。当设计船速高些时,这样处理就会显示出优越性。本船采用双尾形式,这无疑是的好的,已为以往的经验所证实。经验还表明,船尾采用尾柱比用尾轴架好,而不对双尾鳍又比尾柱好。本船尾部采用尾柱,是为了防止渔网卷入螺旋桨。其实,其阻力性能和耐波性能都不及不对称双尾鳍。

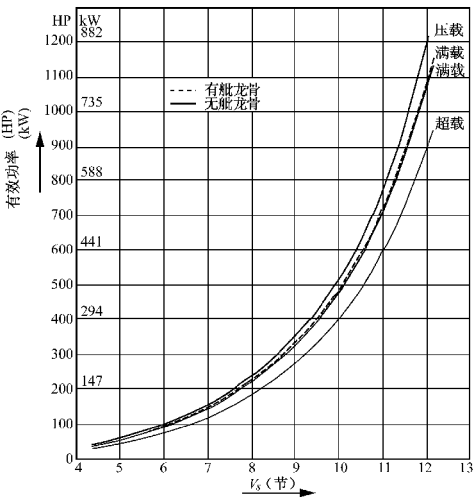


图 2 实船有效功率曲线

5.2 自由横摇衰减试验的结果和建议

从自由横摇衰减试验测出,船舶满载正浮时,加装舦龙骨,横摇固有周期为 5.24 秒;不装舦龙骨,则为 5.21 秒。测试记录参见图 3。两者相差无几,安装舦龙骨后稍大。这和理论上的结论是一致的。

横摇周期如此之短,这是超浅吃水船的概念用在小船设计的必然结果。中国沿海 5 秒周期的波浪出现频率很高,所以应该采取措施。首部若能采用中、小水线面线型,尾部采用较大的双尾鳍,使排水量适当下移,对降低 GM 值有效;同时,可考虑适当增加双层底高度,加大顶边水舱容积,尽量提高船舶的重心高度,使自摇周期得以加大。

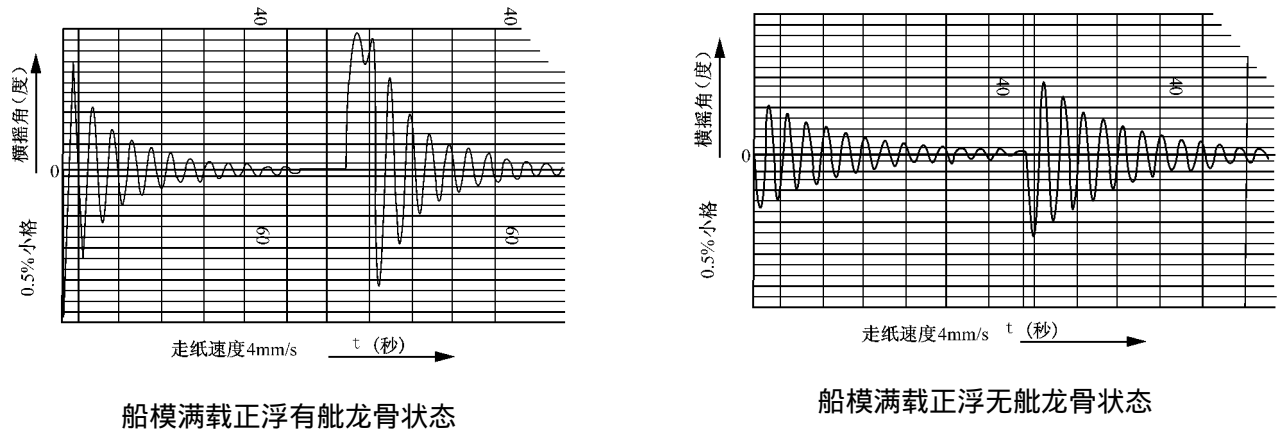


图 3 船模自由横摇衰减曲线

5.3 耐波性试验的结果和建议

耐波性试验的结果见图4~图8。从图4看出,装舢龙骨时船舶的横摇频率响应曲线与不装舢龙骨差异很大。所以,尽管设想过,对 B/T 很大的船可不装舢龙骨,而试验结果表明,对于超浅吃水船,舢龙骨的作用仍在很大,设计中不可省去,甚至应该尽可能加大它的面积。

从波浪试验得出纵摇、升沉、阻力增加及相对运动频率响应曲线,从而预报实船在波浪上运动的各项特征值。预报结果列于表3及表4。

从预报结果看,该超浅吃水船横摇性能尚可,但在较高海况下,横摇值还是大了些,在设计中有必要进一步采取一些减摇措施。

纵摇的情况,满载时尚好;高海况压载航行纵摇较大。该运煤船在回程空放时,需增加一些压载。设计中应充分考虑压载水舱的容积。

升沉的情况,满载状态和压载状态相当。纵摇和升沉值若能控制在较小的范围内,可使船舶的相对运动减小,那么螺旋桨出水飞车、首部砰击、波浪中失速都会相应地缓和下来。减少首部水线面面积,采用小球首和尾部使用较大的尾鳍,使排水量下移,减少波浪的扰动力,增加阻尼力,对改善船舶的纵向运动有较明显的效果。建议在设计中采用。

从预报值看来,风浪中的阻力增加较为严重。鉴此,采用前述的方法显得很有必要。

压载时桨出水概率较大,有必要考虑减小桨直径和采取较大的桨轴浸深。尽管大直径低转速螺旋桨具有较高的效率,然而,螺旋桨一旦出水,则无效率可言。这里可考虑用概率方法,在桨螺旋出水效率和效率之间进行权衡优化。另外,增加压载也是解决问题的途径之一。

试验观察得到,在压载尾倾状态下迎浪航行,船首出现砰击(在试验波频0.65~0.75附近)。为减小砰击力,设计中应考虑适当修改首部线型,并在压载水舱布置时,考虑改变纵倾状态,兼顾解决砰击问题。首底部的局部加强应在设计中予以考虑。

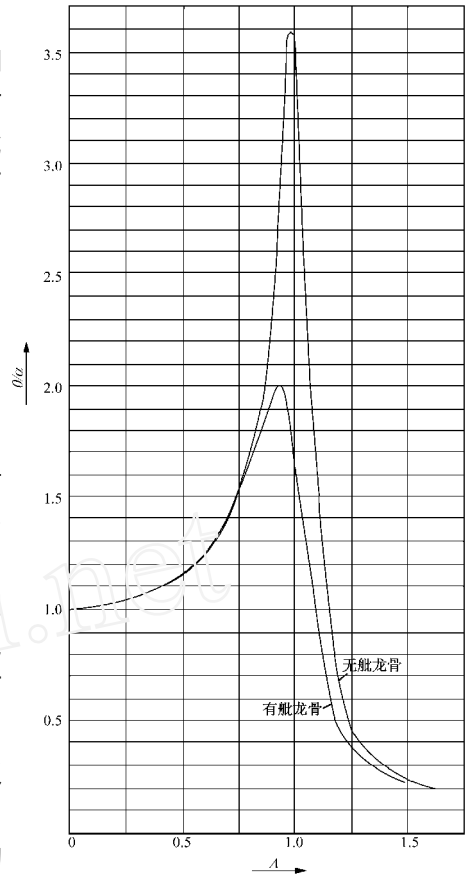


图4 零速横浪试验频率响应曲线

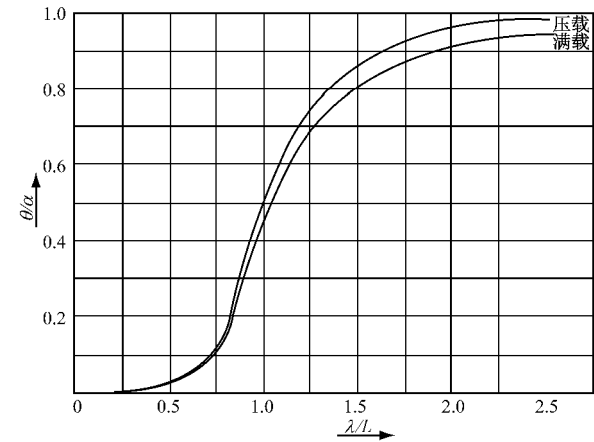


图5 满载及压载迎浪试验纵摇频率响应

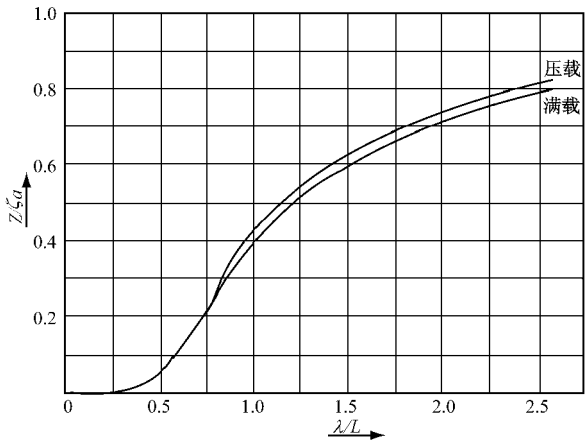


图6 满载及压载迎浪试验升沉频率响应

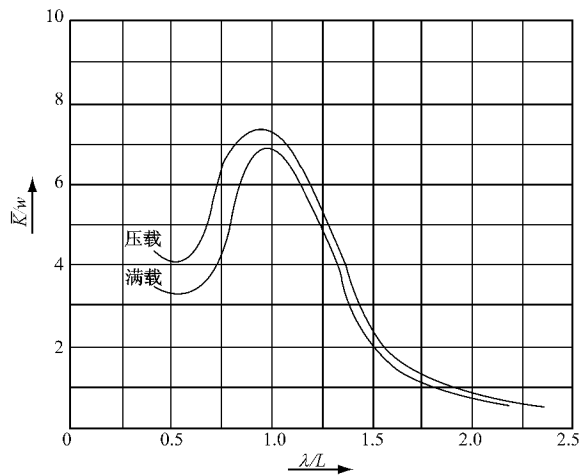


图 7 满载及压载迎浪试验阻力增加频率响应

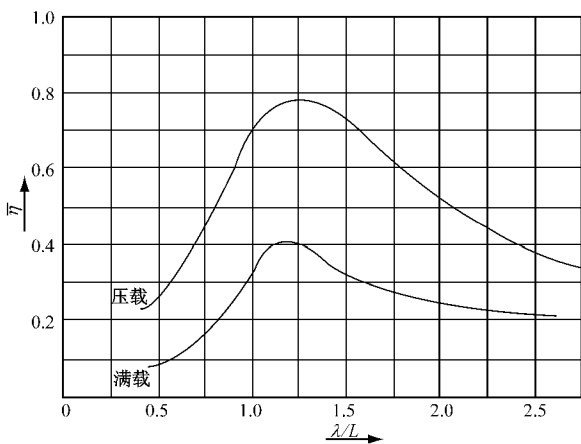


图 8 满载及压载迎浪试验相对运动频率响应

表 3 由单参数谱得出的运动及动力响应特征值

有义波高		$H_{1/3}$ (m)	1	1.5	2	2.5	3	4	5
横摇	有艏龙骨	$\phi_{1/3}$ (°)	5.5	8.2	9.9	10.9	11.7	12.7	13.3
		$\phi_{1/10}$ (°)	7.0	10.5	12.6	13.9	14.9	16.1	17.0
	无艏龙骨	$\phi_{1/3}$ (°)	8.8	12.2	14.0	15.0	15.8	16.7	17.2
		$\phi_{1/10}$ (°)	11.2	15.6	17.8	19.2	20.1	21.3	22.0
纵摇	满 载	$1/3$ (°)	0.22	0.80	1.5	2.2	2.8	3.7	4.3
		$1/10$ (°)	0.28	1.0	1.9	2.8	3.6	4.7	5.4
	压 载	$1/3$ (°)	0.23	0.87	1.6	2.4	3.0	4.0	5.6
		$1/10$ (°)	0.30	1.1	2.1	3.0	3.9	5.1	5.8
升沉	满 载	$Z_{1/3}$ (m)	0.06	0.18	0.36	0.55	0.74	1.05	1.26
		$Z_{1/10}$ (m)	0.07	0.23	0.45	0.70	0.94	1.34	1.60
	压 载	$Z_{1/3}$ (m)	0.05	0.17	0.33	0.52	0.70	1.00	1.20
		$Z_{1/10}$ (m)	0.07	0.22	0.43	0.66	0.89	1.27	1.53
阻力 功率增加	满 载	R (t)	0.55	2.01	4.13	6.27	8.14	10.9	12.7
		EHP (HP)	33.6	124	255	387	502	675	786
		(kW)	24.7	91.4	187.4	284.4	369.0	496.1	577.7
	压 载	R (t)	0.69	2.46	4.90	7.31	9.42	12.6	14.6
		EHP (HP)	45.1	160	319	476	614	818	950
		(kW)	33.1	117.6	234.5	350.0	451.3	601.2	698.3
桨出水 概率	满 载	P_1	0	0	0	0	0	0.002	0.008
	压 载	P_1	0	0.139	0.495	0.686	0.777	0.854	0.884
桨飞车 概率	满 载	P_2	0	0	0	0	0	0	0
	压 载	P_2	0	0	0.038	0.172	0.309	0.79	0.562

表 4 由双参数谱得出的运动及动力响应特征值

H _{1/3} (m)			1				1.5				2				2.5			
T _{1/3} (s)			6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9
横摇	有舦	$\phi_{1/3} (^\circ)$	4.4	3.6	3.0	2.5	6.7	5.5	4.5	3.7	8.9	7.3	6.0	5.0	11	9.1	7.5	6.2
	龙骨	$\phi_{1/10} (^\circ)$	5.7	4.7	3.8	3.2	8.5	7.0	5.7	4.7	11	9.3	7.6	6.3	14	12	10	7.9
	无舦	$\phi_{1/3} (^\circ)$	6.2	4.9	3.9	3.2	9.2	7.3	5.9	4.8	12	9.8	7.9	6.4	15	12	9.8	8.0
	龙骨	$\phi_{1/10} (^\circ)$	7.9	6.2	5.0	4.1	12	9.3	7.5	6.1	16	12	10	8.2	20	16	13	10
纵摇	满载	$1/3 (^\circ)$	0.86	0.95	0.91	0.82	1.3	1.4	1.3	1.2	1.7	1.9	1.8	1.6	2.2	2.4	2.3	2.1
		$1/10 (^\circ)$	1.1	1.2	1.2	1.0	1.7	1.9	1.7	1.6	2.2	2.4	2.3	2.1	2.8	3.0	2.9	2.6
	压载	$1/3 (^\circ)$	0.93	1.0	0.97	0.87	1.4	1.5	1.5	1.3	1.9	2.0	1.9	1.8	2.3	2.5	2.4	2.2
		$1/10 (^\circ)$	1.2	1.3	1.2	1.1	1.8	1.9	1.9	1.7	2.4	2.6	2.5	2.2	3.0	3.2	3.1	2.8
升沉	满载	$Z_{1/3} (m)$	0.21	0.25	0.26	0.24	0.32	0.38	0.39	0.37	0.43	0.51	0.52	0.49	0.53	0.63	0.65	0.61
		$Z_{1/10} (m)$	0.27	0.32	0.33	0.31	0.41	0.49	0.50	0.47	0.54	0.65	0.66	0.62	0.68	0.81	0.83	0.79
	压载	$Z_{1/3} (m)$	0.20	0.24	0.25	0.23	0.30	0.36	0.37	0.35	0.40	0.48	0.50	0.46	0.50	0.60	0.62	0.58
		$Z_{1/10} (m)$	0.25	0.31	0.32	0.30	0.38	0.46	0.47	0.44	0.51	0.62	0.63	0.59	0.64	0.77	0.79	0.74
阻力、功率增加	满载	$R (t)$	1.0	0.83	0.62	0.45	2.3	1.9	1.4	1.0	4.1	3.4	2.5	1.8	6.3	5.2	3.9	2.8
		EHP (HP)	63	52	39	28	140	116	86	62	250	207	154	111	391	323	241	173
	压载	$R (t)$	1.2	0.97	0.72	0.51	2.7	2.2	1.6	1.2	4.7	3.9	2.9	2.1	7.4	6.0	4.5	3.2
		EHP (HP)	77	63	47	34	174	142	105	75	309	252	187	134	482	393	292	209
桨出水	满载	P_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
概率	压载	P_1	0.090	0.099	0.069	0.033	0.343	0.359	0.304	0.219	0.548	0.562	0.512	0.426	0.687	0.691	0.652	0.579
桨飞车	满载	P_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
概率	压载	P_2	0	0	0	0	0.006	0.008	0.003	0.0009	0.060	0.068	0.044	0.018	0.166	0.179	0.136	0.078
H _{1/3} (m)			3				4				5							
T _{1/3} (s)			6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9				
横摇	有舦	$\phi_{1/3} (^\circ)$	13	11	9.0	7.4	18	15	12	10	22	18	15	12				
	龙骨	$\phi_{1/10} (^\circ)$	17	14	11	9.5	23	19	15	12	28	23	19	16				
	无舦	$\phi_{1/3} (^\circ)$	18	15	12	9.6	25	20	16	13	-	24	20	16				
	龙骨	$\phi_{1/10} (^\circ)$	24	19	15	12	-	25	20	16	-	-	25	2.0				
纵摇	满载	$1/3 (^\circ)$	2.6	2.8	2.7	2.5	3.5	3.8	3.6	3.3	4.3	4.7	4.5	4.1				
		$1/10 (^\circ)$	3.3	3.6	3.5	3.1	4.4	4.8	4.6	4.2	5.5	6.0	5.8	5.2				
	压载	$1/3 (^\circ)$	2.8	3.0	2.9	2.6	3.7	4.0	3.9	3.5	4.7	5.0	4.9	4.4				
		$1/10 (^\circ)$	3.6	3.9	3.7	3.4	4.8	5.2	5.0	4.5	6.0	6.5	6.2	5.6				
升沉	满载	$Z_{1/3} (m)$	0.64	0.76	0.78	0.73	0.85	1.0	1.0	0.97	1.1	1.3	1.3	1.2				
		$Z_{1/10} (m)$	0.82	0.97	1.0	0.93	1.1	1.3	1.3	1.2	1.4	1.6	1.7	1.6				
	压载	$Z_{1/3} (m)$	0.60	0.72	0.74	0.70	0.80	0.97	0.99	0.93	1.0	1.2	1.2	1.2				
		$Z_{1/10} (m)$	0.77	0.92	0.95	0.89	1.0	1.2	1.3	1.2	1.3	1.5	1.6	1.5				
阻力、功率增加	满载	$R (t)$	9.1	7.5	5.6	4.0	16	13	10	7.2	25	20	15	11				
		EHP (HP)	563	465	347	250	1000	827	617	444	1563	1292	964	694				
	压载	$R (t)$	11	8.7	6.5	4.6	19	15	11	8.2	30	24	18	13				
		EHP (HP)	695	566	421	302	1235	1007	748	537	1929	1574	1168	838				
桨出水	满载	P_1	0	0	0	0	0.002	0.003	0.001	0.001	0.019	0.024	0.014	0.003				
概率	压载	P_1	0.765	0.774	0.743	0.684	0.860	0.865	0.846	0.008	0.908	0.912	0.898	0.872				
桨飞车	满载	P_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0006	0.0010	0.0004	0				
概率	压载	P_2	0.287	0.303	0.250	0.170	0.496	0.511	0.458	0.370	0.638	0.650	0.607	0.529				

6 结 语

1) 由阻力性能试验结果可知,本船的静水阻力性能尚好。从试验得出的有效功率曲线可作为预报航速的依据。若采用建议的措施,可望其阻力性能获得一定的改善。

2) 从耐波性能预报看出,在限定海况下,本船尚可满足使用需求。但需进一步改善压载状态时的运动响应。所以应进一步考虑压载舱的容积及布置,如采用排水量适当下移等措施,可望从总体上改善耐波性能。

3) 舢龙骨的减摇效果是显著的,且所增加的静水阻力有限。所以,舢龙骨不应省掉。

4) 压载迎浪航行时,螺旋桨出水概率较大。应适当选取螺旋桨直径,加大桨轴浸深,考虑适当增加压载,并从改善总体纵向运动入手,缓和波浪中的失速。

5) 压载迎浪航行时,船首底部出现砰击。应考虑首部线型的修改和首底部的局部加强,压载水舱的布置应考虑能适当调整纵倾,以期缓和砰击。

参考文献:

- [1] 朱国强. 漫话集装箱运输[J]. 航海, 2002, (2): 41 ~ 44.
- [2] 三菱重工. 超浅吃水船(USDV)の開発[J]. 船舶, 1981, 54(11).
- [3] 川崎重工. 超広幅 超浅吃水重量物搬運船[J]. 船舶, 1983, 56(17).
- [4] 谷林英毅. リア ンブ ンフ ィ ン 双 胴 船 尾[J]. 日本造船学会志, 1982, (632).
- [5] 多贺野宽. 肥大船の操縦运动における異常現象の研究[J]. 日本造船学会论文集, 1975, (138).
- [6] 梶田悦司. 超肥船型に操縦性能に関する研究[J]. 日本造船学会论文集, 1975, (137).
- [7] 日本钢管. 超広幅 浅喫水石炭船の開発[J]. 船の科学, 1982, 30(8).
- [8] NKK develops very wide hull form design. 造船 1982, 27(4).