

* 面向 21 世纪的高性能船舶(续)

恽 良 鄂成杰

(中国船舶及海洋工程设计研究院)

2.5 高速双体船

高速双体船种类很多,但一般可分为:(一般)高速双体船、小水线面双体船和穿浪双体船

2.5.1 一般高速双体船

由于一般高速双体船的设备简易,既没有水翼艇复杂的自控和水翼系统;也没有气垫船的围裙与升力系统;没有小水线面双体船的复杂的自控、传动、也没有穿浪双体船的复杂的船体结构与外形。但有比单体船有更为宽敞的甲板面积,因此成本较低,建造与维护简单,为用户所欢迎,近年来在高速客船中依然获得优先发展,在 1993 年建造与订购的高速客船中占 53%,1994 年占 59%,在我国也进口了大量的此种类型的船,但缺点是高速时阻力性能较差,耐波性也不太理想。

2.5.2 小水线面双体船

小水线面双体船基本上由三大部分组成,即水下体(提供浮力)、桥体结构(生活与工作平台)、支柱(呈双凸流线形截面,作为前二者之联结体)。见图 14 所示。

小水线面双体船不仅因其主要排水体积置于水下而受波浪影响小,而且由于采用细薄支柱,受到波浪的扰动力也大大减小;此外,该船的自摇周期很长,一般大于波浪的干扰周期,因此船的需波性特好,波浪中运动小,失速小。如日本的小水线面供应船“海洋”号的升沉自周期高达 11~13s,纵摇达 14~17s,横摇达 18~20s,因此在波浪中摇摆极小,在四级浪中横摇有意平均幅值仅 2°,船中垂向加速度低于 0.1g;在七级海况、有意波高达 9m 时,纵摇也仅 4°,横摇 6°,船中加速度仅 0.13g。因此,其特点是耐波性好,甲板面积大,形成海上稳定平台。

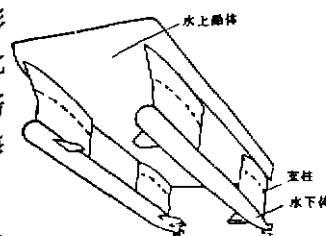


图 14 小水线面双体船示意图

缺点是吃水深,自稳性差,需要增加一套较复杂的鳍翼以控制船在海面上的运动和航态,另外动力传动较复杂。

用途为海洋调查船、客船、直升飞机母舰等。

我国 70 年代中开始此船型的研究工作。708 所、701 所进行了各种总体方案论证和船模试验研究,702 所则在流体、结构等关键技术性能方面进行船型主尺度优选,静水功率耐波性、操纵性等方面预报研究工作,但迄今这些研究仅局限于原理性探讨,未涉及工程实施。

收稿日期:1997-02-27

* 上接本刊 1997 年第 3 期

日本从 1973 年开始基础研究,1976 年转入实用发展,1978 年转入商品生产,已建 20t ~ 300t 等 9 艘此型船,作为客船、海洋调查船等,用于风浪特大的海区。

美、英、前苏联等国也积极开展了此项工作,但在实用上由于上述原因进展很慢。

2.5.3 穿浪双体船

为了改善高速双体船的耐波性,澳大利亚国际双体船公司于 80 年代初开展了高速穿浪双体船型的研究。在双体船的基础上采取了一些措施:如小的干弦;长而瘦削的片体;高高抬起的主船体;扩大两片体间的横向间距(图 15 所示),这样就加大了摇摆频率,减小了波浪干扰,并减小了船体横摇,波浪抨击、失速、并改善了布置。由于没有复杂的设备和突出的难点,于是获得迅猛发展,1984 年建成第一艘 1.1t 的试验艇,到 1990 年建成 700t 左右的 74m 长的穿浪艇,仅花了 7 年的时间,而去年已建成总重达 5 000t 总长达 126m,航速为 40kn 的大型高速穿浪双体船,大型化发展异常迅速。由于船舶吨位加大,航速仍维持在 40kn,故傅氏数很低,仅 $F_{rl} = 0.6$ 左右,有很好的快速性与经济性。

澳大利亚的高速穿浪双体船的主要特征参数见表 6 所示。

表 6 高速穿浪双体船的主要设计特征与参数

规格	常规型			划浪型				
型号	29(m)	28(m)	37(m)	39(m)	49(m)	57(m)	74(m)	104(m)
艇名	—	维多利亚之魂	水银	威尼斯皇子	康达	哥伦布	—	—
年份	1984	1985	1988	1989	1990	—	1990	—
总长(m)	29.2	27.4	38.6	39.6	48.7	56.2	73.6	104.0
片体长(m)	28.0	26.2	32.1	—	—	—	—	—
水线长(m)	25.5	25.0	31.4	—	40.5	47.1	59.9	85.0
船宽(m)	11.2	13.0	16.6	15.6	18.2	19.4	26.2	36.4
片体宽(m)	—	2.20	2.60	—	3.30	4.70	4.33	6.00
吃水(m)	1.75	1.75	1.30	1.60	1.90	2.04	2.50	3.90
常用速度(kn)	26	26	27	27	35	30	35	38
最大速度(kn)	29	28	31	31	39	—	40	—
机型	—	GM12V 92TA	GM16V 92TA	GM16V 149TA	MWM16V TBD60413	—	Rostou 16RK270	—
主机功率(kW)	2×824	2×472	2×1245	2×1435	4×1680	4×1680	4×3650	4×7380
推进方式	螺旋桨	螺旋桨	喷水	喷水	喷水	喷水	喷水	喷水
客位(座)	332	219	318	350	450	300	456	800
车数(辆)	—	—	—	—	—	54	84	300
载重吨	93	—	—	—	63	120	198	750
$V_{max}/\sqrt{gL_{wl}}$	0.96	0.92	0.91	—	1.03	—	0.85	—
运输效率 (人·kn)/kW	5.84	6.50	3.95	3.78	2.61	—	—	—

国外小水线面双体船的主要参数如表 7 所示。

2.6 深 V 型高速单体船

船首部横剖面呈深 V 形,并突出到船体基线的下方(图 18),其优点是耐波性好,减小船艏在波浪中的纵摇,垂荡和垂向加速度。减少船首在波浪中的抨击和出水,减少波浪中的失速。

缺点是静水阻力加大。

主要用于军用艇。如巡逻艇、导弹艇、护卫舰等。

表 7 小水线面双体船性能参数

船名	国籍	建造年份	用途	排水量 (t)	$L \times B \times T$ (m)	最大航速 (km)	材料 甲板/支柱/下体	支柱形式	功率 (Hp)	稳定端	推进传动系统
杜普卢斯号	澳大利亚	1969	海洋作业船	1200	$39.9 \times 17.1 \times 5.2$	9	钢	单支柱	2×1500	固定	直接连接 + 柴油机
卡马利诺号	美国	1973	实验工作船	193/224	$26.8 \times 13.7 \times 4.66$	25	铝/钢/钢	双支柱	2×2250	自控	燃气轮机 + 链条传动
航海-A号	日本	1997	实验船	18.4/22.2	$12.3 \times 6.5 \times 1.55$	17.3/15.4	全铝合金	双/单	2×200	自控	燃气轮机 + 伞形齿轮传动
海鸥号	日本	1979	客渡船	343	$35.9 \times 17.1 \times 3.15$	27	全铝合金	单支柱	2×4050	自控	柴油机 + 伞形齿轮传动
翠崎号	日本	1980	调查观测船	236	$27 \times 12.5 \times 3.2$	21	铝/钢/钢	单支柱	2×1900	手动	柴油机 + 伞形齿轮传动
大鸟号	日本	1980	调查观测船	239	$27 \times 12.5 \times 3.4$	21	铝/钢/钢	单支柱	2×1900	手动	柴油机 + 伞形齿轮传动
萨维利诺号	美国	1981	试验检测船	53	$19.2 \times 9.1 \times 2.13$	19.2	全铝合金	单支柱	2×425	自控	柴油机 + 伞形齿轮传动
哈尔西恩号	美国	1985	海上作业实验船	44/58	$18.3 \times 9.1 \times 2.13$	20	铝合金	单支柱	2×510	自控	柴油机 + V带式传动
海洋号	日本	1985	海上作业实验船	3500	$61.5 \times 28 \times 6.3$	14	钢	单支柱	2×1250	手动	柴油机 + 电动推进
海浪号	日本	1985	游艇	24	$15.1 \times 6.2 \times 1.6$	18	玻璃钢	单支柱	2×250	自控	柴油机 + 螺旋传动
CHUBASC	美国	1986	造船		$21.9 \times ? \times 2.13$	28					
SALON	日本	1986	游艇	195	$22.2 \times 10.2 \times 2.4$	17	玻璃钢				
MICOPETU		1987	近海工程浮吊	96000 ~ 172000	190×87 $\times 10.5 - 21.5$	9.5	钢				直接传动
40M型	美国	1989		371	$43 \times ? \times ?$	- 17					
FDX400	英国	1989			$36.5 \times ? \times ?$	- 30					
T-AGOS19	英国	1990	水下监测	3380	$71.3 \times 28.4 \times ?$		钢		2×800		直接传动
拉迪路、钻石	芬兰	1991	旅游		$130 \times 32 \times ?$						
Cloud	美国	1995	客渡船		$37 \times ? \times ?$		铝			自控	燃气轮机 + 行星齿轮传动

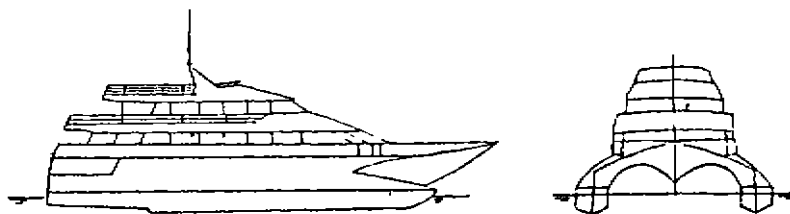


图 15 穿浪双体船示意图



图 16 日本小水线面双体客船“海鸥 2 型”

图 17 74m 双体穿浪客船

3 艰难的发展道路

虽然高性能船有一系列优点。但同时也带来了一系列的困难,这表现在以下几个方面。

3.1 设备要求高

如气垫船的围裙与风机;水翼船的自控与水翼系统;地效翼船的航空结构及动力等在水面上长期使用、自控导航、码头等设备的要求;双体船的喷水推进装置;小水线面船的动力装置与自控设备等。

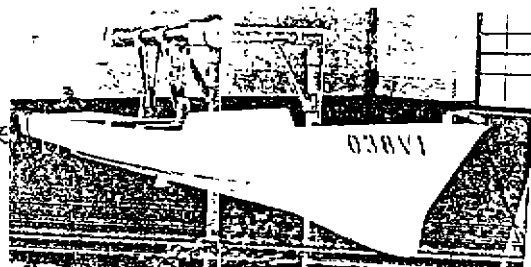


图 18 深 V 型单体试验船模

3.2 上述设备的维修与补充

3.3 技术复杂(如越峰、稳定性、耐波性、操纵性等特点未必一下为用户所理解和谅解。)

3.4 批量与造价(由于批量小,技术复杂,造价高,维修费用高。)

3.5 营运管理的特殊要求

高性能船、尤其是地效翼船对航道、导航、码头,登陆场地等有着特殊的要求。不了解这种特殊性要求,势必造成一哄而上,坚持不下去的情况。这种情况在国外也屡见不鲜。例如:

3.5.1 全垫升气垫船的首创者,英国的气垫船公司经历了一条十分曲折的道路

1965 年 3 条 SRN5 在 3 个月内相继倾覆,70 年代初 SRN4 的围裙在波浪中大面积损坏,后经公司不懈的努力才得以稳定的发展。美国的 LCAC 大型气垫登陆艇经历了 20 多年的徘徊,先后建造了 3 艘大小不同的试用艇 JEFF(A)、JEFF(B)、LCAC001 后才把故障间隔时间从合同的最低限 14 小时增加到目前的 90 小时;在经历了海湾战争的考验后才有了如今耗资 20 亿美元、已建成 90 艘的形势。

3.5.2 美国 Jetfoil 自控双水翼船

在发展初期故障率很高,后经反复改进才逐渐降低,而且也只有将该技术民用化以后才日益成熟、使运行更加可靠。但即使如此美国海军也只发展了 6 艘,而且用到 1996 年也全部退役。

3.5.3 澳大利亚的穿浪艇

结构设备相对比较简单,而且又具备较好的耐波性。因此从 1984 年建成第一艘 1.1t 的试航船到 1990 年建成总重达 800t 的 74m 穿浪船仅用了 7 年的时间,但是当它在投入英运海湾实际营运时还是遇到了设备损坏、适航性不够理想等一系列问题。在用户英国的海峡航运公司和澳大利亚国际双体船公司的坚韧不拔的努力下,一艘坏了再上一艘,最后有 6 艘运行于英运海峡,确保了航线的通畅。

3.5.4 俄罗斯的飞机式地效翼船(Ekranoplane)

虽然早在 1968 年就从数吨的试验船直接跳到 544t、航速达 500km/h 的“里海怪物”,成为显赫一时的前苏联的秘密武器,后由于稳定性不佳与驾驶员操纵有误而失事。但苏联人对新武器的优先发展几乎不计成本,凭着他们的执着和传统的钻研精神,在 70 年代又相继建成 140t、400km/h 的“Орленок”号和 400t、450km/h 的“Лунь”型。但究竟因为其技术过于复杂,如复杂的跨地效区飞行和稳定性问题,复杂的自动驾驶仪及其探测设备,波浪中的起飞,降落,水浪冲击等一系列技术问题和特殊的导航、码头,航线条件,航道保证等,使其在 30 年过去后只留下 3 艘军用的 Орленок 和一艘 Лунь 导弹艇,而在民用领域毫无建树。即使在今天俄罗斯比较开放的条件,民用地效翼船的技术也很难到国外推广。阿历克谢耶夫在晚年才意识到此艇过于复杂而转向简易的“动力气垫船”Volga-II 型的研究。船是简单多了,但其耐波性也略为逊色,仅用于内河。

至于国内,新技术一哄而上,但由于技术的不成熟而导致一些用户骑虎难下的情况屡见不鲜。国内将全垫升气垫船闲置不用的例子很多,而廉价买来的水翼船过几年后境况也不过如此,这方面的例子很多,不在这里赘述。

因此,笔者认为要使高性能船,尤其是此类船舶中的拔尖产品(如地效翼船等),能得到蓬勃发展则需具备下列条件,即:

- 1) 该项技术是可行的。
- 2) 用于航运部门(或军方)的同步工程是到位的,如维修、关键技术的配套、停泊场地,码头设施,航保条件,安全规范等。
- 3) 发展此项技术的“技、工、贸”应该结合起来,使产品批量化、规范化和规模化。
- 4) 用户对此项技术有比较明确的风险意识和推广新技术的时效化观念。
- 5) 军民合用,单一的军品道路很难进一步推广。
- 6) 国家政策和策略上的重视。

4 面向 21 世纪的高性能船舶

4.1 超高速的地效翼船(WIG)

俄罗斯在这方面具有绝对的优势,他们的专家认为以下几种船型值得发展。

4.1.1 动力增升地效翼船(PARWIG 或 Ekranoplane),如俄国的 Орленок、Лунь 等。

1) 有前置导管推力器以助登陆与起飞,但并不具备两栖性,因此尚有动力滑橇与起落架以保证艇能上下陆。

2) 由于艇的主翼的展弦比较大,故具有较高的高速升阻比,航速可达 200kn 以上。

3) 此型艇不仅能在地效区航行,而且尚可在短时间内飞出地效区,因此其稳定性将显得特别复杂,必须在有效的襟翼、付翼、尾翼和其它操纵手段下用精确的自控设备来保证其纵横向和飞高稳定性,而这些自控设备又必须以精确的测定飞行参数为前提。

4) 在静水或波浪中起飞时具有一定的阻力峰和冲击载荷,但一旦起飞成功后则由于飞高很可越出地效区,故该时耐波性将是“无限”的。

5) 与飞机相比具有造价低,巡逻速度时油耗小,安全可靠等一些优点。

由于此型船的航速很高,航态单一,起飞距离相对较长,此时冲击载荷也大,故其航行保障系统要求就高。根据俄国专家建议,必须有如下的先决条件。

(1) 航线的气象、水文、过往船只预报和上述资料的追踪数据。

(2) 完善的码头设备以备上下陆。

(3) 由于此艇的航态单一,故在空中应划出一块飞高区,以备专用。

(4) 要有较精确的导航设备。

(5) 避碰规范、条件、措施将不同于一般高速船等。

因此俄国专家建议

此型船的超大型化将十分有利;如建造 5 000t 级 300kn 以上的大型客船,由于尺寸的加大,因此船可以在强地效区内航行而具有很好的稳定性和耐波性,使船的操纵简单且更加安全可靠;由于用在越洋航线,导航问题反而简单了。

适用于导弹艇或核潜艇的救生船。

4.1.2 动力气垫船(DACC)

即为上述艇的简易型。由于其主翼为小展弦比,强有力首置推力器的增升作用,因此具有强气垫功能,但飞高极低,几乎接近于零,其特点为:

1) 艇具有两栖性;

2) 由于强气垫的作用,故越峰方便,越峰距离短,波浪冲击载荷小;

3) 艇始终在强地效区运行,安全可靠、稳定性高;

4) 简易、价廉且可以与一般全垫升船一样操纵,驾驶;

5) 由于飞高较小故耐波性较差,航速较低,一般为 $V_S < 60 \sim 70\text{kn}$,俄国专家建议将此船用于内河超高速客运。

4.1.3 动力气垫地效翼船(DACWIG)

此型船实为上述二型的一种杂交型式,因此具有两型的优点,即有两栖性、高速性、又有一定飞高。

1) 高航速 $60\text{kn} < V < 200\text{kn}$;

2) 由于运行于地效区,故经济性好;

3) 由于具有强气垫作用,因此具有多航态航行能力,即既能排水航行,垫态航行,也能高速脱水飞行,也能在海上游弋;

4) 两栖性,可登陆和极好的低速机动性;

5) 在强地效区运行,有很好的自稳性;

6) 便于驾驶、安全、可靠、不需要特殊的航保体系;

7) 隐蔽性好,通行在敌方雷达盲区;

8)建造简单,维护方便,造价介于动力增升地效翼船和动力气垫船之间;

9)由于有一定飞高因此在波浪中起飞阻力小,冲击载荷小,而且有更好的耐波性等。

因此笔者也认为动力气垫地效翼船将是 21 世纪最有希望的超高速客船,同时也可用于导弹艇、巡逻艇、缉私艇、登陆艇等。

4.2 大型车客渡船或集装箱船

随着现代经济的发展,人们愈来愈有可能随车出去旅行或办理公务,因此单纯的高速载客船已不能满足人们的要求。而高速船虽然大型化但其航速仍保持在 40~50kn 左右。则傅氏数相对下降,故无论是处于静水中还是处于波浪中船舶均具有有利的傅氏数。与波长和船长相比,这样的静水快速性、经济性与耐波性都随之提高。因此从 90 年代开始,全球就处于发展大型车客渡船的高潮,至今方兴未艾。

4.2.1 日本的 TSL-A 计划

目前已建成 TSL-A30 型,即 54kn、70m 长、重 800t 左右的侧壁式气垫集装箱船,且正在作航行、营运装卸集装箱的实验,到 20 世纪末建成 TSL-A127 船,即长 127m、航速 50kn、重 3 000t 的气垫集装箱船,从而使日本货运也趋于高速化;他们的观点是随着尺度的扩大,在日本和东亚运行的 3 000t 级侧壁气垫船有足够的耐波性、快速性和经济性。

4.2.2 穿浪双体船

此型船的特点在于具有优良的耐波性、无特殊的设备(如气垫、水翼、围裙等),因此易于大型化,近年来尺寸一直在向大型化发展。而且这类船型技术在各国的运用都较成功,如表 8 所示。我国目前也已引进该项设计专利,正拟建造中国穿浪双体船。

4.2.3 大型双体车客渡船

高速双体船的设计指导思想和上述相同。由于尺寸的加大,其耐波性、快速性、经济性相继增长,近年来也在向大型化发展(如表 8 所示)。

表 8 近年来已建成的大型双体穿浪船与高速双体船

船名	Stena HSS 1500	Condor12	Delphin	CAT 70 HL	Solider3
建造厂	芬兰造船厂	澳大利亚国际双体船公司	澳大利亚 Austal 公司	荷兰双体轮渡公司	挪威克瓦纳公司
总长(m)	126.6	81.15	82	76.6	59.2
总宽(m)	109.5	26	23	22.15	16.5
吃水(m)	4.5	3	3.2	3.6	2.90
装载(t)	1500	300	327.38	291~331	
旅客(人)	1500	693	600	600	448
汽车(辆)	375	180	128	100	51
航速(节)	40	40	40.2	31	33
船型	穿浪双体船	穿浪双体船	穿浪双体船	双体船	双体船
喷水推进	4×KaMeWa 160S II	4×LispLJ 135D	4×KaMeWa 112S II	2×KaMeWa 100S II	
动力装置	4 台燃气轮机 总功率 6800kW	4 台 Ruston 16RK270 高速柴油机 总功率 22000kW	4 台 MTU20V 1163TB3L 高速柴油机 总功率 24000kW	4 台 Caterpillar 3616DITA 高速柴油机 总功率 22800kW	2 台 MTU20V 1163TB73 高速柴油机 总功率 20000kW
满载排水量(t)	~5000	1100			

目前这几种船型竞争激烈,但是显然由于双体船与穿浪双体船的结构设备比较简单,在大

型化发展道路上占有优先地位。随着经济的持续发展,我国对大型车客渡船的需求也会在本世纪末提到议事日程上来,如渤海湾的烟台-大连线,天津-大连线,台湾海峡的基隆-福州线、厦门-高雄线,南方的香港-潮州汕头线,海南岛等都很适合发展这几种船型。

4.3 气垫船

包括全垫升气垫船与侧壁式气垫船,由于其特殊的两栖性(全垫升)、高速、浅吃水,耐水下爆炸冲击波等优点,始终是国际军方关注的焦点。

4.3.1 气垫登陆艇

美国坦克气垫登陆艇 LCAC 已建成 90 余艘,成为标准的登陆工具之一,实现了兵力由船到岸的输送,即经由 LCA 船坞登陆舰到达目的地附近的海面,然后登陆)。此外前苏联不仅也发展了上述类似的船岸气垫登陆艇如 Lebed Gust 等,而且也发展了重达 350t、续航力很大的船岸气垫登陆舰,可以从前苏联本土沿波罗地海直接开到欧洲各国。我国在这方面的发展将面临着漫长的探索。

4.3.2 双体气垫扫雷舰,巡逻猎雷舰与导弹舰

挪威海军认为,在 80 年代建成的民用双体气垫客船的技术较为成熟,可发展成为军用舰船。而且作为气垫扫雷舰时具有对水雷爆炸有较好的承受能力;可将声纳设备通过可伸缩支架的支持置于气垫之中,从而使传感器有很好的效果;气垫航行水下压力场和磁场较小;吃水浅;扫雷工作甲板面积大,舱室宽敞;水阻力小;自由航速高;海上稳性、耐波性好;由于采用了侧风门装置,导航和定位系统精度高;水上隐身设计便于实施。因此挪威自第一条双体气垫扫雷舰于 1994 年 7 月送交海军后,到 90 年代末将交付 9 艘此型船。

我国为海军建成的新交通艇即双体气垫交通艇,主机马力与上述舰艇极为近似。交船 1 年半以来的实用证明该型艇安全、可靠、快速、耐波性大为改善,相似移植到军用作战舰艇将是现实可行的。

此外瑞典海军也正在编制下一代水面战斗舰艇 YS2000 计划,这一计划包括将 80 年代末建成的侧壁气垫导弹艇“斯米格”型推广到多用途隐身气垫舰,即用侧壁气垫技术和隐身技术而大大改善水面舰艇的作战性能。下一步将发展 400 ~ 700t 的沿海气垫护卫舰和 130 ~ 300t 的气垫巡逻艇。

4.4 具有优良耐波性的双水翼自控水翼艇

此型舰艇目前已在我国制造成功,虽然由于造价较高一时难以推广,但相信随着国民经济的不断发展和由于批量生产和设备国产化而带来的造价的降低,将逐渐为军民用户所赏识,尤其是用在载客不多,而耐波性要求极高的场合。

参 考 文 献

- 1 李宝华.中国高速船.中国船舶报,1996.10.26
- 2 周巍,袁敦垒.我国小水线面双体船的应用前景.北京:高速水运发展战略研讨会,1996.11
- 3 中国舰船研究院.高性能船技术发展中的若干问题及其对策.北京:高速水运发展战略研讨会,1996.11
- 4 恽良,彭桂华.动力气垫地效翼船-21 世纪水上高速客运的方向.船舶工程,1996(1)