

# 高性能船舶的性能比较

恽 良

**摘要:**本文根据国内外已发表的资料对各种高性能船舶如全垫升气垫船、侧壁气垫船、高速双体船、水翼艇、小水线面双体船、穿浪艇等船型,在静水快速性、甲板面积和舱容、造价、耐波性(包括波浪中失速、垂向加速度等)大型化发展等方面作了简要的比较,从而简略地说明各种高性能船舶的使用特点。

**关键词:**高性能船,船舶性能,高速船,气垫船,水翼艇,小水线面双体船

## 1 前言

众所周知,高性能船舶即指全垫升气垫船 ACV、侧壁式气垫船 SES 或称双体气垫船 ACC、水翼艇 HYC、高速双体船 CAT、小水线面双体船 SWATH、高速单体船或为排水式快艇或为滑行快艇 MH,以及地效飞机或称冲(气)翼艇 WIG 等船型。这些船型近年来发展甚快。其原因为:

(1) 二次大战后各项轻型船体材料(如铝合金、玻璃钢等),大功率轻型动力装置(高速柴油机、燃气轮机),自控、导航设备,均得到很快发展,因此具备了建造此次高速船舶的物质基础。

(2) 内河和沿海的高速客运的需要日益增长。于是在 60 和 70 年代在世界各地发展了水翼艇和气垫船,80 年代高速双体船迅猛崛起,而到了 80 年代末和 90 年代初则各种气垫、水翼、双体、潜体(即刘易士船型)等技术纷纷进行推出渗透,相互杂交(复合),于是由此而又派生出一系列新的高性能

船型,如水翼双体船、穿浪船、潜体水翼艇、双体气垫水翼艇等等。目前高速船正处于最“混乱”的时期,新船型层出不穷。

尽管如此,复合的基本要素还是如下几种技术,即 1) 气垫技术;2) 水翼技术;3) 单体、双体或多体船型以及 4) 深潜浮体船型的配置。

因此可以说目前高性能船舶发展的第一个特点即为多种多样的复合船型的出现。其发展的第二个特点是各种船型均趋向大型化,正如澳大利亚的国际双体船设计公司的总裁 philip Hercus 在 FAST '93 会议上所说的那样,“在 20 世纪的最后 10 年,海上快速运输发展得特别快,这是一个十分年轻的工业但有着巨大的潜力,到了 21 世纪这些高速船无论在尺寸和船速方面将继续增长,并将加速海上快速货船的发展。”也就是说海上快速运输已经不再仅仅局限于海上客船的发展,而且随着尺度的加大,已有可能扩展到海上车客渡船和海上货船(如集装箱船)的发展,见表 1。

表 1 目前世界上正在发展的大型高速船舶<sup>[1]</sup>

设计者/建造者	船型	国家	最大长度(m)	最大宽度(m)	载客	载车	船体材料	最大航速(kn)	总重(t)	附 注
SEC	SEC-750	意大利	91	23	750	180	钢质	50	~2 000	SES
Hovermarine	HM 760	英国	80	25	750	95	玻璃钢	60	~1 000	SES
MTG	SES 600	德国	69	16	380	56	铝	48		SES
Fincantieri	SES 500	意大利	66	18	950	80	铝	46		SES
Cirrus	200 P	挪威	60	17	364	56	玻璃钢	47		SES
Royal schedule	SS-60	荷兰	59	16	436	62	铝	46		SES
Bell Teafon	—	美国	49	15	280	27	铝	43		SES
三菱-三井公司	TSL-A 70	日本	70	18.6	集装箱		铝	50	~800	SES
三菱-三井公司	TSL-A 127	日本	127	27.2	集装箱 1 000 t		铝	50	~3 000	今年 6 月建成 SES
Wegfamarin	W 12000	挪威	120	34	1 200	275	铝	35	~2 000	CAT
Wegfamarin	W 9500	挪威	95	29	1 000	200	铝	40	~1 500	CAT
Incat	WPC	澳大利亚	115	39	1 100	300	铝	38	~2 000	WPC
Incat	Piercer	澳大利亚	74	26	450	84	铝	35	~700	WPC
Stena	CAT	芬兰	124		1 500	375	铝			1995.1~1996.1 交船, CAT

之所以进行这方面工作,其原因是人们不仅要利用内河而且想发掘海上运输的能力。因为在比较近距离的航程和海峡,运送质轻而容积大的货物,采用高性能船舶在运费方面比空中运输便宜;而且又减轻了陆上道路的阻塞、磨损和交通事故。

此外,从技术上来看,不少人认为船舶造得愈大(在一定范围内),由于航速几乎不变(50 kn 左右),致使傅氏数愈低,则不论在快速性和耐波性方面均有好处,也即技术上的可能性愈大。问题在于经济上的承受能力。因为这些船舶已经不是目前 400 万美元一艘的高速客船(300 客位左右),而是 3~5 千万美元的高速车客渡轮,因此更需要做好海上运输工程开始的经济论证。

高性能船舶的经济技术论证和性能比较就成为当前突出的课题。

各种高性能船舶的定性比较早已见诸各篇论文,如表 2 所示。但是更需要的是定量比较,也即在数量上加以比较,这样使船东或研制者在某个特定航线能正确地确定其所需的船型,本文对高性能船舶的几种基本船型如 MH、CAT、ACN、SES、SWATH、HYC 等进行简略比较。由于 WIG 技术尚不够成熟,实用不多,故不再赘述。

由于船型很多,无法对同一吨位、性能的各型船进行设计比较,而只能根据现有资料进行比较,并加简略分析,因此资料来源未免带有一定的局限性,从这方面来说也仅是有一定量化的“定性”分析。

比较从如下几方面进行:快速性;经济性(即建造成本和营运成本,耗油量等);舱容和甲板面积以及耐波性等,见表 2。

表 2 高性能船舶的性能和装置比较

性 能 \ 船 型	深潜水翼艇 HYC	双体船 CAT	全垫升气垫船 ACN	侧壁式气垫船 SES	小水线面双体 船 SWATH	冲(气)翼船 WIG
1. 航 速	中高速 ~45 kn	中 速 35~40 kn	高 速 ~50 kn	中高速 30~50 kn	中低速 ~25 kn	超高速 ~100~140 kn
2. 中、低速性能和续航力	一般	好	差	尚好	好	差
3. 耐波性	好	尚可	较差	尚可	特好	较好
4. 舱容和甲板面积	一般	宽敞	宽敞	宽敞	宽敞	一般
5. 吃水	较深	一般	极浅	浅	深	负值
6. 两栖性	无	无	有	无	无	有
7. 机动性	很好	好	差	好	尚可	差
8. 船体材料	铝质	铝质, 玻璃钢	铝质	铝、玻璃钢	铝、钢	铝、玻璃钢
9. 动力装置	高速柴油机 燃气轮机	高速柴油机	高速柴油机 燃气轮机	高速柴油机 燃气轮机	高速柴油机 燃气轮机	燃气轮机
10. 传动	复杂	一般	较复杂	一般	复杂	建造复杂
11. 推进器	喷水 水螺旋桨	喷水 水螺旋桨	空气螺旋桨	喷水 水螺旋桨	水螺旋桨	导管风扇
12. 特殊设备和技术难点	1. 水翼的设计与加工 2. 水翼上翻系统 3. 由于设有自稳性, 就必须有一套复杂的自控系统 4. 传动和喷水推进系统	较少	1. 围裙的设计和加工、维修 2. 空气螺旋桨的寿命问题 3. 传动	1. 围裙的维修 2. 垫升系统及其自控系统	1. 传动复杂 2. 自控系统	1. 工程问题尚不太清楚 2. 主机的防蚀、维修、安装的问题

## 2 快速性比较

(1) 图 1<sup>[3]</sup>表示一艘长为 25 m、宽为 10 m、总重为 75 t、船速为 45 kn 的高速船舶的由各种力支持的情况。其  $X$  示为静浮力,  $Y$  示为动支持力(如水翼升力、船体的滑行之力等),  $Z$  为动力支持力(即气垫升力)。如点 1 (0, 0, 10) 意为全垫升气垫船, 即全部重力由

气垫力所支持; 点 2 (1, 0, 2, 8, 8) 即 10% 重量由静浮力支持, 2% 重量由 2 个侧壁的滑行之力支持, 而 88% 重量由气垫力所支持, 这是曲型的早年的高速侧壁气垫船即薄侧壁气垫船的受力情况; 点 3 (1, 7, 0, 8, 7, 5) 则表示中等厚度侧壁的侧壁气垫船的情况; 点 4, 5, 6 为厚度愈来愈大的情况; 如点 5 为 (3, 5, 2, 5, 4) 意即 35% 重量由静浮力支持, 25% 为由双体滑行之力支持, 40% 为由气垫力支持, 也

即 60% 的重量由双体所支持,这就成为一种双体气垫船的情况。从图 1 的上方小图可看出气垫力的成份愈大,则阻力愈小,全垫升气垫船的阻力最小,这是由于气垫的作用将船

体拍出水面,不仅减小船体的兴波阻力,而且也减小了船体的摩擦阻力。这是指船舶在高速运行的情况,一般  $F_{\text{a}} > 1.4$ ,从图上可知单船体的阻力最大。

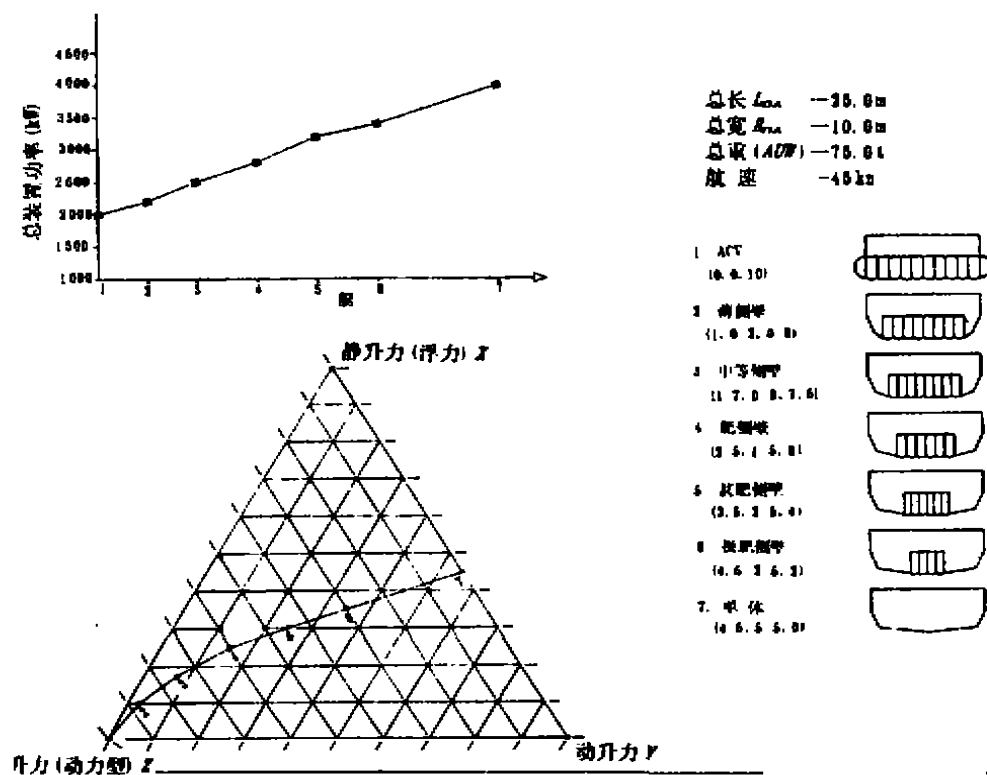


图 1 气垫船功率比较

(2) 当船舶运行速度降低时情况就有些变化,图 2<sup>[3][4]</sup>表示了如上所述的不同气垫升力时的阻力情况,其中  $\xi = \frac{P_c S_c}{W}$  为气垫升力占船总重之比,  $P_c$  为气垫压力,  $S_c$  为气垫面积,可见当  $F_L$  增大时则侧壁愈薄愈好 ( $\xi$  增长);而当傅氏数小时则恰恰相反,其定义点一般在  $F_{L_c} \approx 0.7 \sim 0.9$ 。

(3) 图 3<sup>[2]</sup>同样表示长 25 m, 宽 10 m, 总重 75 t, 航速 45 kn 时单体, 双体和有水翼支持情况下的阻力比较。点 7 (4.5, 5.5, 0) 为单体混合船型, 即 45% 为阿基米德浮力, 55% 为滑力;点 8 (7.3, 0) 为典型双体船, 70% 为双体静浮力, 30% 为双体滑力;点 9

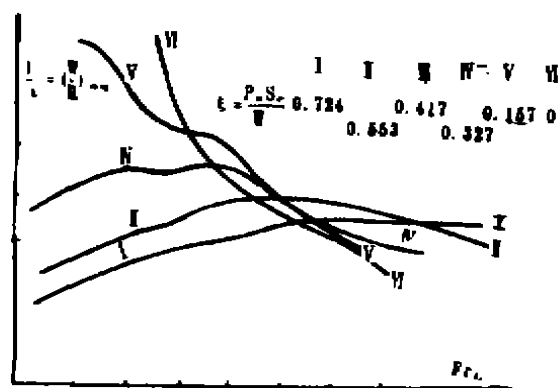


图 2

(3,7,0) 为水翼双体船,即 70%重为水翼和双体滑行力所支持,当然主要为水翼动升力;点 10 (0,10,0) 则为典型水翼艇情况。从图同样可看出,水翼支持力愈大,则阻力愈低,这是由于水翼将船体托于水上减小了船体的兴波和摩擦阻力。

(4) 图 4<sup>[5]</sup>则表示了单体圆舳半排水式快艇,深 V 单体滑行艇、水翼艇、侧壁气垫

船、水翼双体船和气垫船的主机油耗情况  $C^* = \frac{F_{\text{fuel}}}{S_1 \times \Delta_m}$ , 其中  $F_{\text{fuel}}$  为油耗 (kg),  $S_1$  为航行距离 (km),  $\Delta_m$  为排水量 (t)。可见在高速时全垫升气垫船最小,其次为侧壁式气垫船,然后依次为水翼船、深 V 滑行艇和单体半排水圆舳艇等。上述虽为油耗的比较,实为主机总功率和阻力之比较。

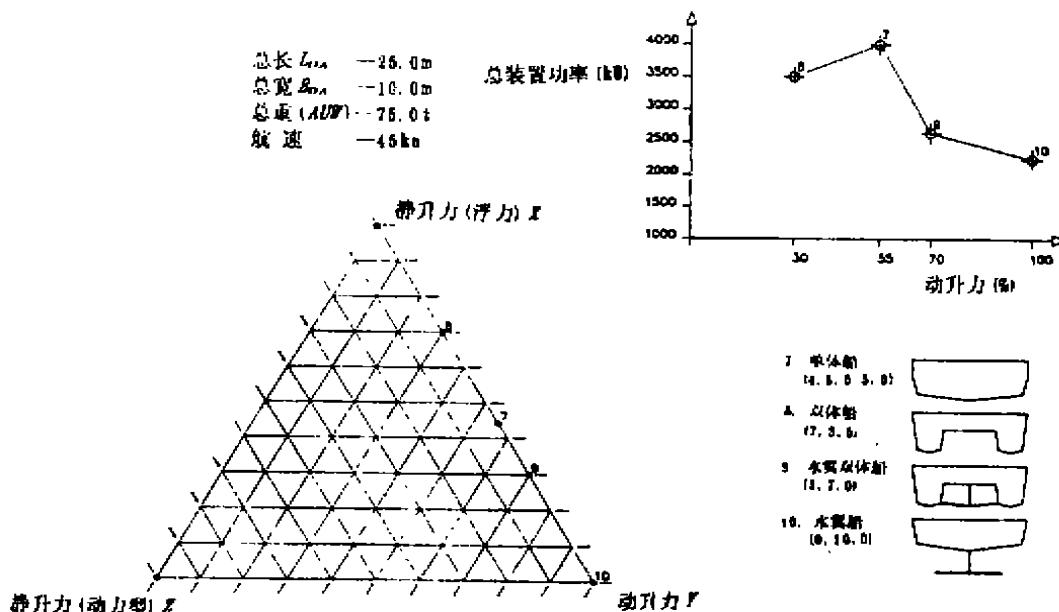


图 3 动力支持船功率比较

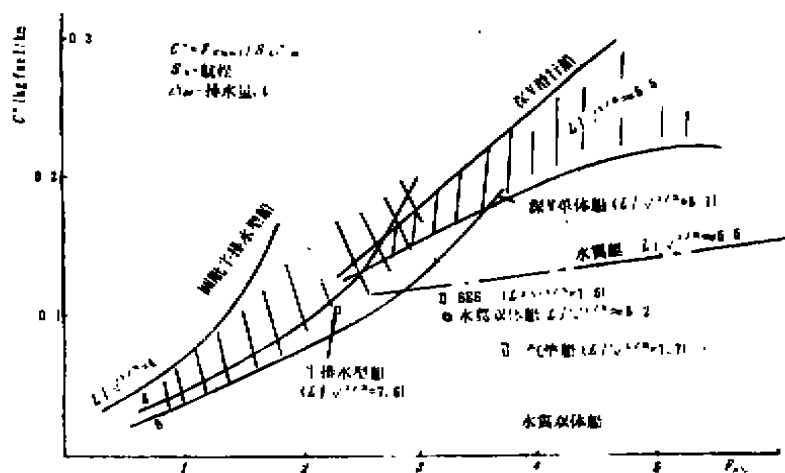


图 4 高速船的油耗比

(5) 图 5<sup>[6]</sup>则完全是一种现有船舶的统计资料。由图可见,全垫升气垫船一般用于  $V=50\sim70$  kn,侧壁气垫船则用于  $40\sim50$  kn,水翼船和水翼双体船则用于  $35\sim45$  kn,双体船则多数用于  $28\sim40$  kn,当然这都是指几十吨的小艇。

(6) 比较了 1 000 t 船采用按侧壁气垫船船型、深 V 型单体船、常规单体船和穿浪艇,小水线面双体船时所需之总功率,以及每海里所需之燃油消耗量并列于图 6、7。由图可知,在相当大的速度范围内最为经济的是侧壁式气垫船,其次是深 V 型单体船,再其次是穿浪艇,而最不经济的是常规单体船和小水线面双体船 (SWATH)。

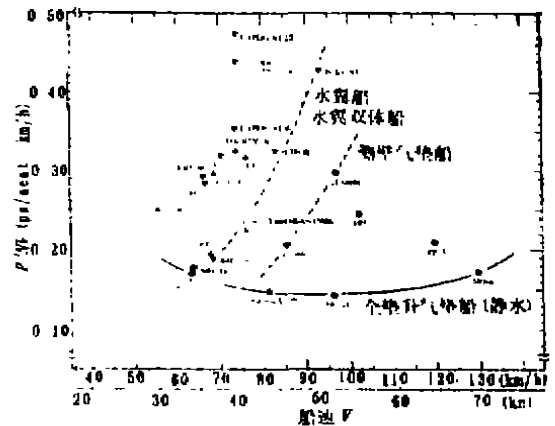


图 5 高速船的  $P/NV$  和  $V$

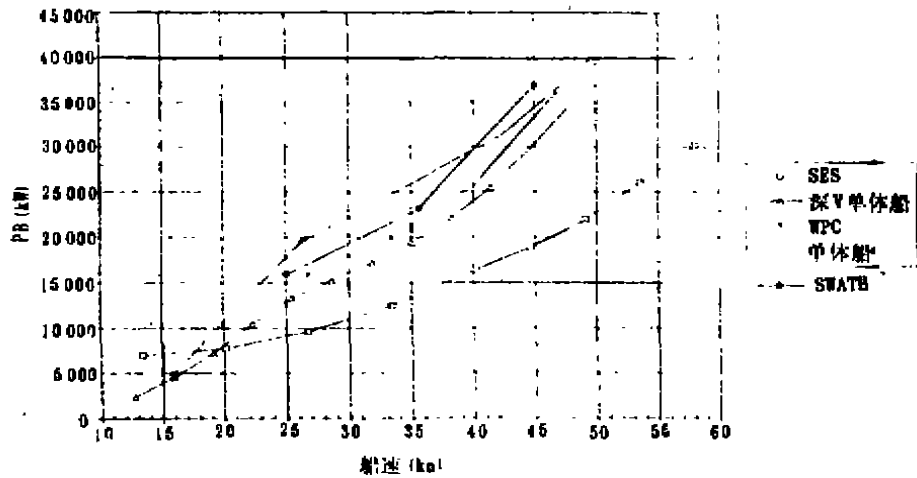


图 6 功率预报——排水量 1 000 t 对于 SES,已计及飞升功率

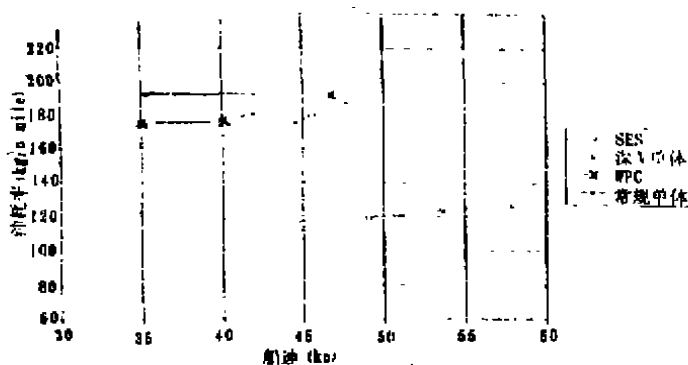


图 7 油耗——排水量 1 000 t

### 3 舱容、甲板面积和经济性比较

双体船、侧壁气垫船、小水线面双体船 (气垫船由于垫升机的布置,其甲板面积略差于常规双体船) 等双体船都具有大甲板面积和舱容的特点。在同样排水量的情况下,双体船的甲板面积较单体船增大 40% 以上。图 8 表示

了这种特点,一般水翼艇也采用单体形式,因此舱容也较小,但最新出现的水翼双体船则也兼有大舱容的特点。但是必须指出,随着甲板面积的增加,其船体重量也随之加大,设计的难度也增大了。

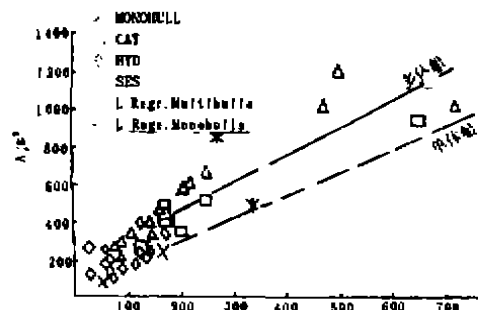


图8 Fincantieri 公司的船甲板面积与排水量之比较

高性能船舶由于采用较昂贵的船体材料和动力装置,再加上一些新技术,如自控技术等,其造价难免上涨,何况有的高性能船舶尚采用昂贵的航空工艺与设备,因此造价将更高。图9<sup>[6]</sup>示出SES、HYC、ACV和水翼双体船等造价比较。图中横坐标为旅客数,纵坐标为造价/座×航速即日元/座×km/h。由图可见侧壁气垫船造价最低(当然双体船CAT造价将更低,但图中未表示出来),其次是割划式水翼船PT150和水翼双体船Superjet等一般水翼船,而造价最高为深浸自控水翼船Jetfoil,深浸全自控水翼双体船Super-shuttle等,由于这些艇采用复杂的全自控装置,因此造价十分昂贵。

## 4 耐波性比较

除了快速性以外,恐怕耐波性是最为重要的判别艇的优劣的指标。在比较各种高性能船舶的耐波性以前,首先要得出统一的衡准耐波性的判据,并提出目前采用的一些国际通用的耐波性衡准。这样才会有判断的依

据。

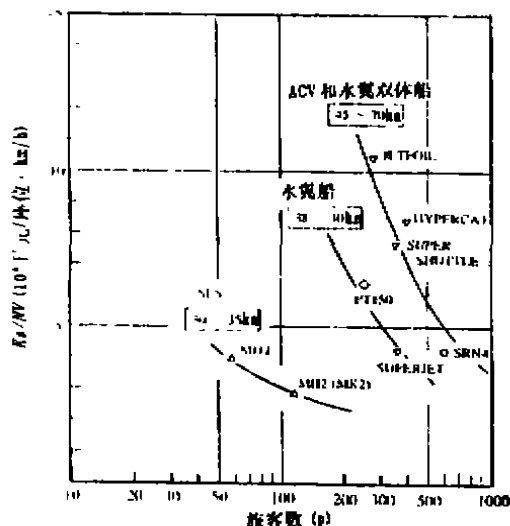


图9 各种高性能船的规模和造价

### 4.1 适用于高性能船舶的耐波性判据和标准

耐波性判据(Seakeeping Performance Criteria, SPC)可分以下几类:

1) 人 员	2) 船 舶	3) 船舶装载
• 舒适性	• 船体损伤	• 直升飞机
• 晕船率	• 甲板淹湿	• /飞机着落
• 人员疲劳	• 系统损坏	• 货物移位
• 工作效率	• 系统效率	
• 安 全	• 动力装置工作	
	• 失 速	

当然对客船来说,根据以上情况,最后将得出一艘船舶在特定的航区能营运的天数。这将是衡量一艘船的耐波性的总的衡准数。对于后者,多少有些人为的因素或经验数据。对于客船,首先要考虑的是旅客的舒适性和安全性,这也是对耐波性有比较高的要求。而在波浪中,船舶装载与船舶损伤情况在民船来说是不应该产生的,而且这也只有在更大的波浪中才会产生;后者一般对晕船有此要求。因此我们主要考虑上述之第一项。

表 3 表达了对各种浪向下要考虑的主要船舶运动<sup>[8]</sup>。

表 4 表达了人员舒适性和安全性极限。

在静水中航行时的旅客安全性标准则可见表 5。

表 6 则对高速小艇提出一些较为简单的要求<sup>[9]</sup>。

表 3 乘客舒适性限制 (对某航速为 25 kn, 长 28 m 的双体船而言)

浪向	限制有浪波高 $H_{1/3}(\text{m})$	限制船舶的运动	建议船速
0°(逆浪)	1.2	$Z$ (垂向加速度)	$V_L$
45°	1.1	$Z$ (垂向加速度)	$V_L$
90°	1.2	$\theta$ (横摇角)	$V_L$
135°	2.0	$\theta$ (横摇角)	$V_L$
180°	2.30	$\phi$ (纵摇角)	$V_L$

表 4 人员舒适性和安全性极限<sup>[8]</sup>

极 限	运 动	数 值	评 论
旅客舒适性	垂向加速度 $Z$	0.15 $g$ (rms)	在遭遇频率为 1Hz 时航行 0.5 h
	$\phi$	1.5° (rms)	
	$\theta$	2.0° (rms)	
旅客安全性	重心处的垂向加速度	0.275 $g$ (rms)	1/2 h 航程
	侧向加速度	0.10 $g$ (rms)	
	$\phi$	2.0° (rms)	
	$\theta$	4.0° (rms)	
	侧向加速度	0.15 $g$	对站立的人员
	侧向加速度	0.25 $g$	对站立但拉着扶手的人员
	侧向加速度	0.45 $g$	对坐着的人员

表 5 旅客安全性标准<sup>[8]</sup>

航 行 情 况		安全标准,不超过下述的数值
正常航行	回 转	0.07 $g$
	停 车	0.07 $g$
紧急航行	最大回转	0.45 $g$ (侧向加速度)
	紧急停车	0.25 $g$ (水平加速度)
失误情况	失去推进力	0.25 $g$
	失去操纵力	0.25 $g$

表 6 耐波性标准

判 据	位 置	标 准 值
船部垂向加速度	船垂线处	6.5 $\text{m/s}^2$ (rms) (0.66 $g$ )
重心处垂向加速度	重心处	2.75 $\text{m/s}^2$ (rms) (0.28 $g$ )
纵摇角		2.0° (rms)
横摇角		4.0° (rms)
船部抨击发生率	船垂线处,下部湿甲板处	0.03
船部甲板上浪	船垂线处,上甲板	0.05



从上述数表可以看出,对于客船最为重要的判据是属于垂向加速度 $z$ ,因为这是影响人员晕船和疲劳的主要原因(严格说来影

响到人员晕船与疲劳的主要原因有三,即垂向加速度 $z$ ,运动频率 $\omega_z$ 和持久时间 $t$ )。其影响之程度可由表7得出<sup>[10]</sup>。

表7 人间因素在垂向加速度的限制值(karppinen,1987)

垂向加速度	影响情况
0.275 g	仅能做轻度工作,人们把大部分的注意力集中于保持平衡,在高速船上仅能维持短时间
0.2 g	仅能做轻的手工工作,不能支持长时间,很快引起疲劳
0.15 g	可做重的手工操作,如渔船和供应船上的工作
0.10 g	由于船舶运动,人们的智力工作已不太适应如海洋研究船的科研人员。解员则可长时间支持,ISO 2631/3 (1985)规定对于不经常习惯于船舶运动的人们(旅客)仅能支持半小时
0.05 g	渡船上的旅客,ISO 2631/3规定不经常习惯于船舶运动的人们可支持2 h,对于水土不服的成年人将有10%的人晕船
0.02 g	大型客船上的旅客其ISO 2631/3则如图10、11所示

因此比较科学的判断旅客在特定海区作营运时,其全年晕船率将可根据该高性能船

舶根据计算机计算结果或船模试验数据或实船测试结果按图11、12作实际的判断。由此可比较精确地判断各种高性能船舶的耐波性的主要标准——晕船率。而ISO 2631所示的曲线是指在某航时在某遭遇频率(有义遭遇频率)下达到的垂向加速度时将有10%的旅客发生晕船。

#### 4.2 耐波性比较

我们将对各种船型的耐波性如船舶在波浪中失速,垂向加速度,逆浪纵摇角度,横浪横摇角度等方面加以比较。

##### 4.2.1 波浪中失速

由于小水线面双体船和自控深潜双水翼艇的上层建筑和主船体高高升于水面之上,受到波浪的干扰力作用甚小,因此其波浪中的失速很小,居于首位。见图12<sup>[7]</sup>,以及文献[12]和[13]的有关图。

其次是双体船和单体船,由于受到波浪干扰力的作用,不仅船体产生垂向的纵向运动增加了船舶在波浪中的附加波浪阻力,而导致失速,另外剧烈运动而导致的甲板上浪,

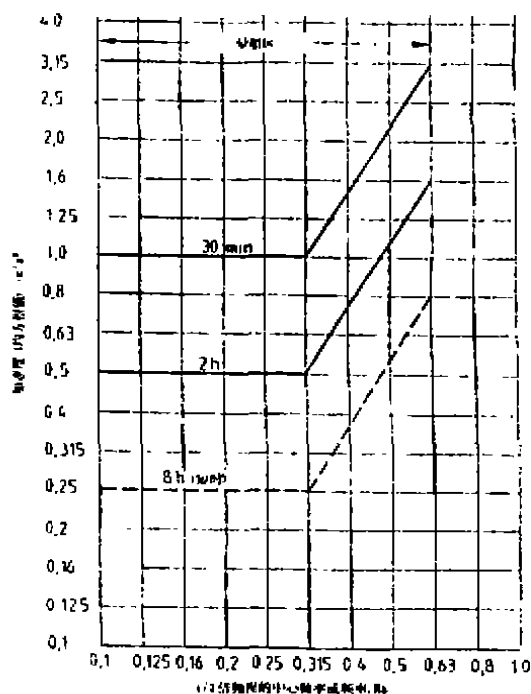


图10 严重不舒适界限

首部抨击和尾部螺旋桨飞车,也不得不使船长主动地将船速下降,这样又导致了船舶主动的降低速度。

气垫船,包括侧壁气垫船和全垫升气垫船在波浪中航行由于气垫泄气和波浪泵气的作用而使船舶的吃水增加,使气垫升力减小

而侧壁浮力增加,从而导致了波浪中阻力增加,即包括波浪中兴波阻力,围裙阻力与摩擦水阻力增加。当然采用首尾响应围裙可缓和围裙阻力的增加,但由于侧壁吃水的增加仍将导致侧壁水阻力的增加。这是侧壁气垫船的主要缺点。

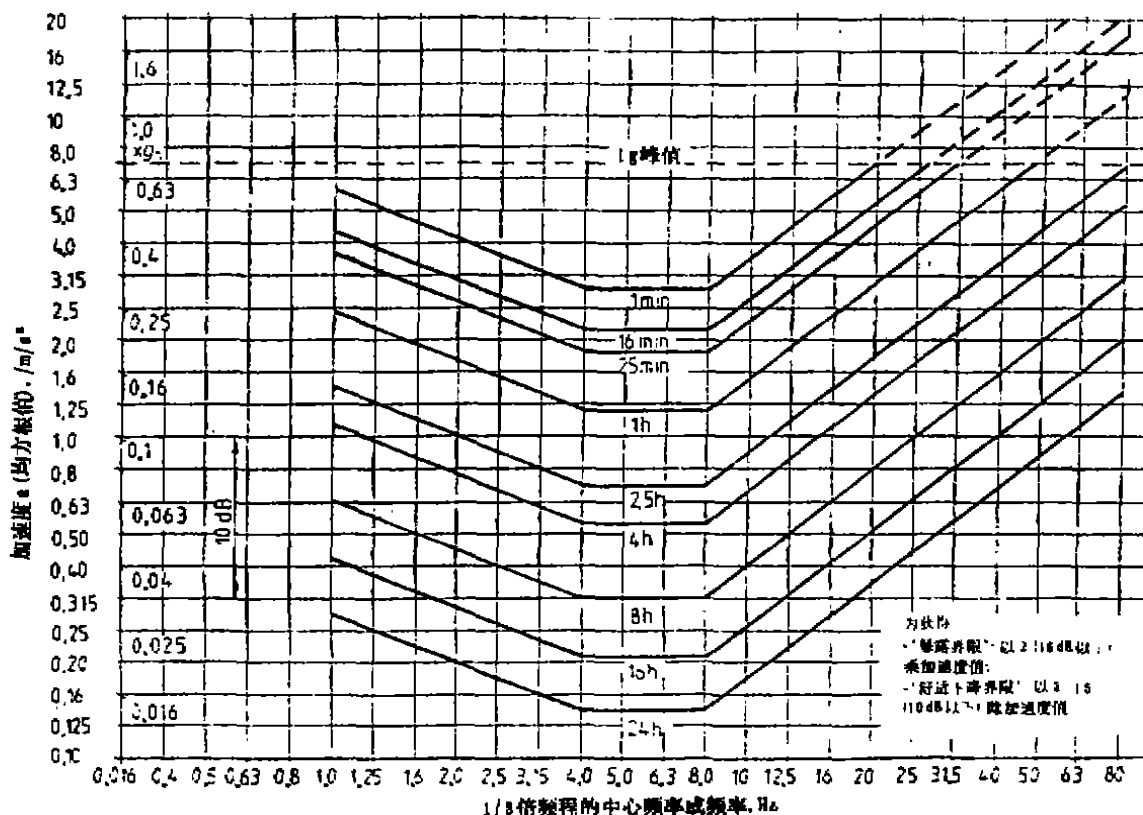


图 11 作为频率和暴露时间之函数的纵向加速度的界限

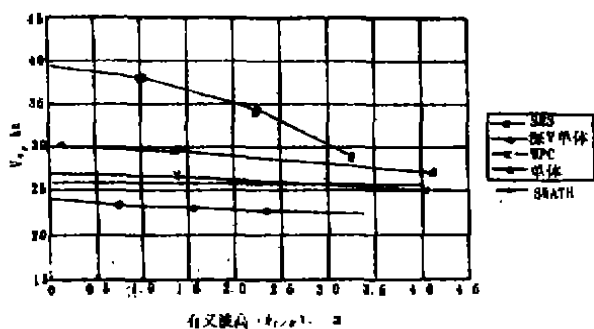


图 12 排水量 1 000 t、装机功率 16 000 kW 船只在浪中的船速的衰减

增加该船在波浪中的飞升风扇的流量也可改善这一缺点。

值得注意的是由于侧壁气垫船在同样功率的情况下静水阻力很小,其航速远远高于常规单体和双体船(当然更高于小水线面双体船),因此在相对不甚高的波浪下其航速仍将高于后者。从图 13 即表示 1 000 t 的 SES, WPC, 深 V, SWATH 等船型,在同样的主机功率下 SES 的静水航速将有 10~15 kn 以上的优势,在波浪中当有义波高  $h_{1/3} < 3.2$  m 时仍将有较高航速的优势。又如图 13 所示,表示同样 40 m 长的 SES 和 CAT 船比较,

在主机功率相同的情况下 (SES 包括飞升主机功率), 其静水航速将大于双体船 10 kn, 虽然在波浪中失速较大, 但  $h_{1/3} < 4.0$  前比 CAT 仍将有一定优势, 这就对船东有一个很好的启示, 即在航行的海区, 只要不是大风浪天气有相当大的概率, SES 在航速方面即使在海中航行仍将显示其优越性, 因为大部分天气是小或中等风浪情况。

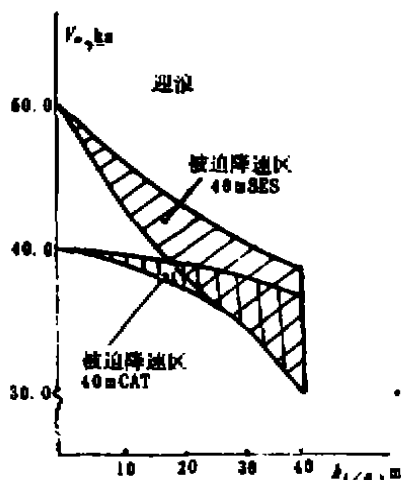


图 13

这一优点在船舶愈趋于大型化时将更为突出。图 14<sup>[1]</sup>表示 SES 与 CAT 在相同主机功率的情况在迎浪有义波高为 1.5 m 的情况下所达到的航速。由图可看出当排水量超过 100 t 时 SES 的航速始终大于 CAT 达 7 kn 以上, 而且排水量愈大其差距也将愈大。这样就对 SES 的大型化创造一个非常有利的机会。图 15<sup>[14]</sup>表示日本的 TSL-A 127, 即长度为 127 m、排水量为 3 000 t、静水航速为 50 kn、装载 1 000 t 集装箱的大型侧壁气垫船在波浪中的失速的情况。由图可看出在  $h_{1/3} = 4$  m 时, 即 6 级浪的初始阶段, 其失速仅为 10%, 而横浪时失速更小, 超过 6 级浪的情况即使在波涛汹涌的日本海, 发生概率也是很小的, 约为  $< 5\%$ , 只有在台风天气时才会遇到。加上侧壁气垫船的结构受力比较均匀, 既没有双翼船在大型化时遇到的水翼结构强度、材料、空泡等问题, 也没有穿浪船、双体船等跨桥结构受力比较集中的情况。因此目前国际上流行着侧壁气垫船大型化的趋势, TSL-A 127 即为一例。

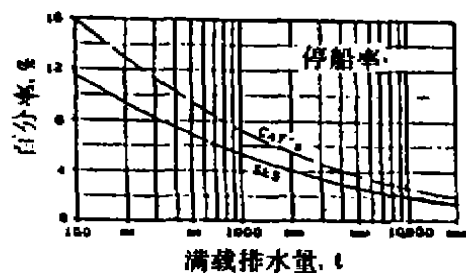
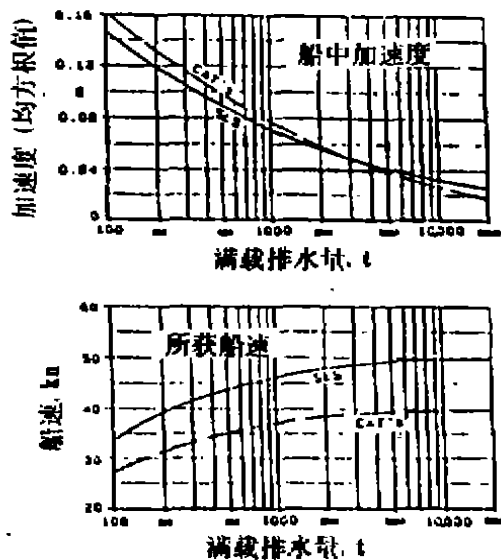


图 14 在 1.5 m 迎浪下, SES 和 CAT 的耐波性预报

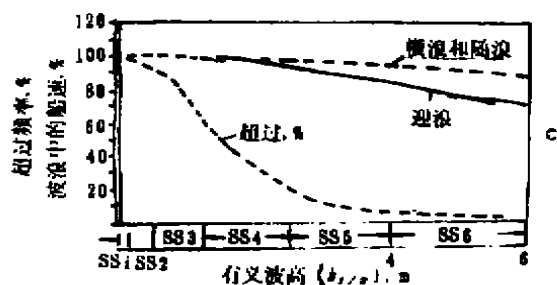


图 15

#### 4.2.2 波浪中的运动

(1) 图 16<sup>[15]</sup>表示了 Fincantieri 公司的 SES 500 型船 (即  $L_{max}=66.0\text{ m}$ ,  $B_{max}=18.40\text{ m}$ ,  $A_w=520\text{ t}$ ,  $V_{max}=46\text{ kn}$ ) 在各级海况下在航速为 35 kn 时的纵摇角度, 并以此为相同排水量与航速的单体船和双体船相比较。由图可见, 纵摇角度最大为单体船, 其次为 SES, 最小为 CAT, 但在 2 级海况下 CAT 与 SES 差别很小。

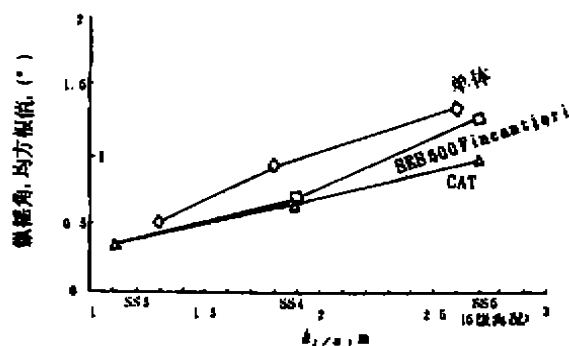


图 16 Fincantieri 公司测试结果, 迎浪  $V=35\text{ kn}$  时的纵摇图 (均方根值)

(2) 图 17<sup>[16]</sup>则表示在重心处上述 3 种船型在 3、4、5 级海况下的垂向加速度的均方根值。由图可见, SES 的垂向加速度最小, 其次为双体船, 最差为单体船。

(3) 图 18<sup>[17]</sup>则表示排水量为 1 000 t、航速为 45 kn 时 SES、DV (深 V 型)、WPC、MH (常规单体船) 和 SWATH 船型在各种有义波高下的重心处垂向加速度的均方根值 (rms)。由图可见, 最佳为 SWATH, 其次为

(船舶)1995 年第 1 期

SES 和 DV, 高海况时 SES 较 DV 为好, 而低海况时 DV 较 SES 为好; 再其次为 WPC, 最差则为单体船。

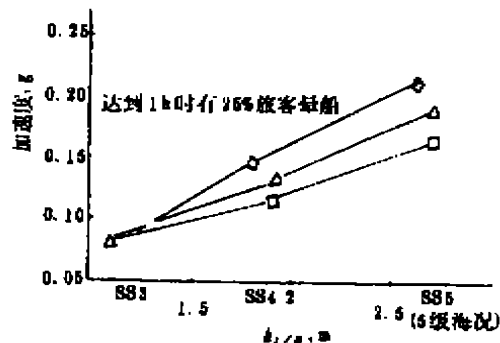


图 17 迎浪  $V=35\text{ kn}$  时重心处垂向加速度 (均方根值), g

□ SES 500 Fincantieri  
△ 双体  
◇ 单体

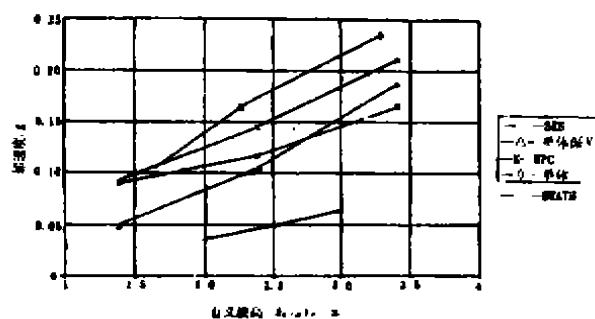


图 18 排水量 1 000 t、船速 45 kn 船中垂向加速度 (均方根值)

#### 4.2.3 当采用耐波性控制装置时, 各种高性能船舶的耐波性的改善

目前采用的耐波性控制装置一般有:

(1) 鳍翼控制装置, 即利用首尾水翼或首水翼加尾压浪板控制装置, 即运动阻尼系统 (MDS), 或深浸水翼自动控制装置。

(2) 气垫船的放气门或进气门系统控制装置, 也称为航行控制系统 (RCS)。

鳍翼自控装置不仅可用于水翼船, 也可用于水翼双体船、双体船、小水线面双体船和

侧壁式气垫船等,是一通用的耐波性自控装置。而且用于侧壁气垫船时可藉此来保持气垫压力,以尽可能减少在波浪中的扰动。由于采用这些自控装置使高性能船舶的耐波性有

较大的改善。如:

① 当双体船上采用 MDS 系统后,其垂向加速度和纵摇角一般可降低 $\sim 40\%$ ,如表 8<sup>[17]</sup>所示。

表 8 Rvæner 公司的 Fjellstrand 高速双体船上采用 MDS 后耐波性的改善

			有义波高 (m) (作为比较而列表)		
			1.5	2.0	2.5
重心处垂向加速度	38.8 m 船	无 MDS	1.0	1.0	1.0
		有 MDS	0.42	0.6	0.8
艏处垂向加速度	38.8 m 船	无 MDS	1.0	1.0	1.0
		有 MDS	0.58	0.62	0.74
纵 摇 角	38.8 m 船	无 MDS	1.0	1.0	1.0
		有 MDS	0.6	0.62	0.8

② 当双体船上装有自控水翼,从而形成水翼双体船后其纵摇角,迎浪中波浪附加阻力和升沉传导函数等均作大幅度下降,如图 19 所示。由图可知,其耐波性的改善程度是很大的。图 19 则表示了水翼双体船在各种有义波高下与没有自控装置的单体圆舭快艇、双体船和侧壁式气垫船在艏部垂向加速度的比较。由图可知,没有自控水翼装置的单体船、双体船和侧壁气垫船的艏部垂向加速度都很高,而且实际上 3 种船型的差别也不太大,但具有自控水翼的水翼双体船则加速度要小得多。

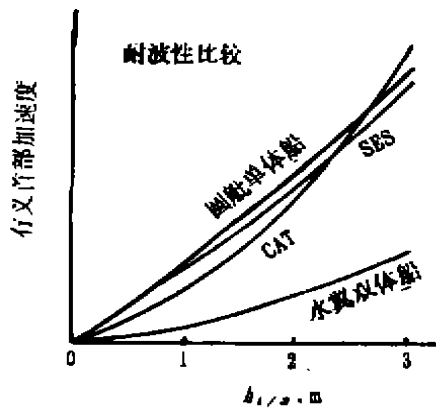


图 19 Kværner Fjellstrand 公司的水翼双体船和其他船舶的性能比较

③ 同样,当穿浪艇上装有自控水翼(或压浪板)时也取得明显的效果。图 20<sup>[19]</sup>表示 71 m 穿浪艇在迎浪时的实船测试和模型试验的垂向加速度值,与图 18 比较,可看出取得了明显的改善。

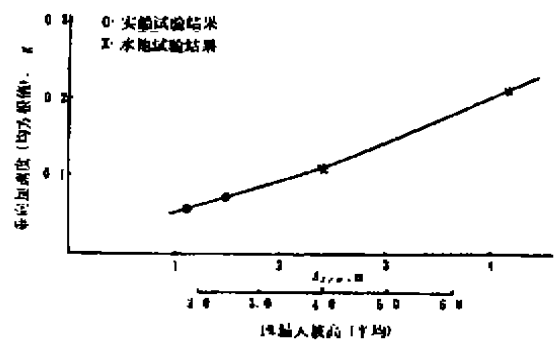


图 20 迎浪下 71 m 穿浪艇 (WPC) 重心纵向位置处的垂向加速度值

④ 在侧壁气垫船上采用航行自控装置 (RCS) 时其耐波性也有一定改善。图 21<sup>[20]</sup>表示了侧壁气垫船 CIRRUS 120 P 上装有 RCS 后,其垂向加速度的降低程序。并与 ISO 2631 曲线作对比,其晕船率将有所下降。当然其改善程度尚不够理想,但为在 SES 上装有首尾水翼时从其电算结果,也可粗浅地看到纵摇角度与垂向加速度的峰值皆能降低 20%<sup>[21]</sup>,但如有自控水翼系统,则其

下降幅度将更大。图 22 表示了日本 3 000 t 侧壁气垫船在装有自控系统和无自控系统时的耐波性情况,由图可见,装有自控系统后(自控系统的 4 个放气门系统和 4 个首尾水翼系统),其垂向加速度和纵摇角度均有大幅度下降,尤其在迎浪时下降幅值达 50%。

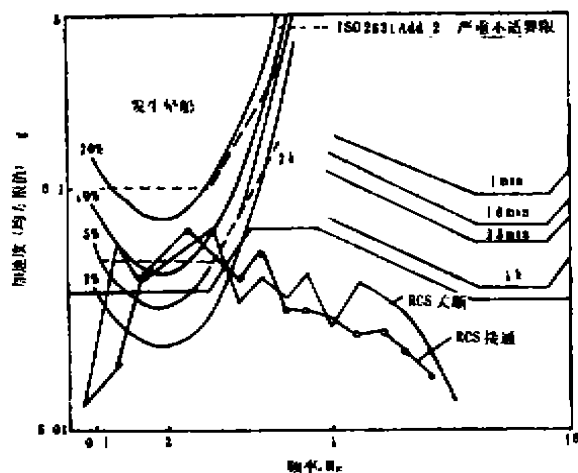


图 21 SES CIRRUS 120 P 在 3 m 有义波高迎浪下 25 kn 时的初步测试结果

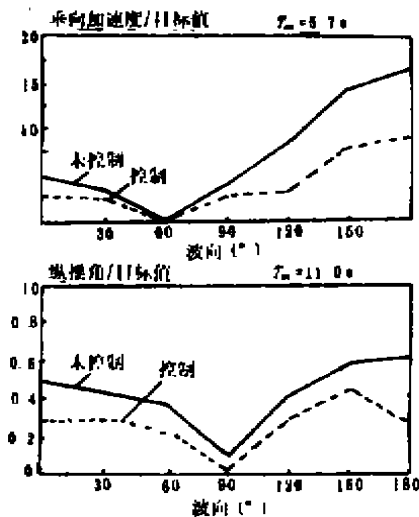


图 22

此外,值得注意的是在 3 000 t SES (TSL-A 127) 上,即使未装自控系统其垂向

加速度和纵摇幅度也较目标值小(只有在逆浪,即航向角 $>120^\circ$ 时未满足要求),这说明其耐波性也已满足要求。

⑤ 在全浸水翼艇上采用全自控水翼装置取得了最好效果。图 23<sup>[23]</sup>表示无论在纵、横摇角度和迎浪中的垂向加速度方面,全自控深浸双水翼艇 PHM 均较 SES (SES 200) 和 SWATH (Kaimalino) 为佳,而且 100 多 t 重的 Jetfoil 其翼航能力高达 5~6 浪级(见图 24<sup>[24]</sup>)。

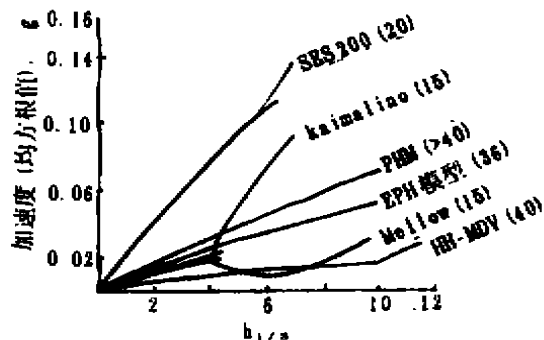


图 23 迎浪中垂向加速度比较  
EPH,性能延长水翼艇  
HM-MDV,多用途水翼艇

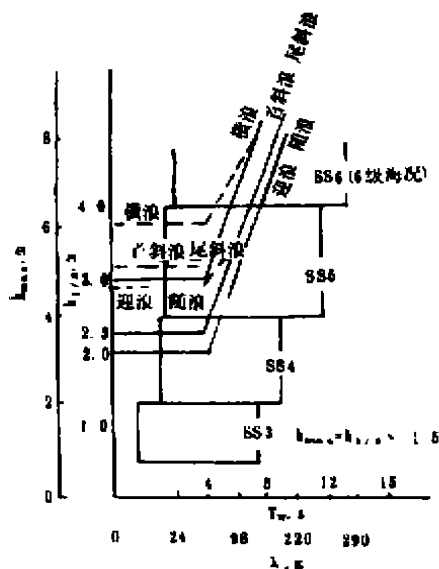


图 24 喷翼号 (ACS 模型) 翼航限制  
.....Speedy 号 (HMS) 航行经验

由上述可知,采用水翼自控技术可能是高速船舶最为有效的改善耐波性的措施。因为航速高,水翼的作用效果很好。

## 5 小 结

(1) 从静水阻力方面来看,高速船中如支持上气垫成份愈大,则阻力愈小;如采用水翼支持,则阻力也较单靠浮船体滑行升力时的阻力为小。总之,在高航速时,阻力最小为全垫升气垫船,其下依次为侧壁气垫船、水翼船、双体船、单体排水型滑行艇,阻力最大为小水线面双体船。

(2) 当艇采用双体船型时,甲板面积和舱容普遍加大,同样吨位的船舶其甲板面积将加大 40%。因此,对于那些须要较大舱容(或甲板面积)的船舶(如客船或车客渡船等),将有较大好处,但同时其船体外板面积也加大,船体重量加大,造成设计上的困难。

(3) 从造价来说,船舶愈简单则造价愈便宜,因此深浸自控双水翼船价最高,其下依次为全垫升气垫船与水翼双体船(全自控式),割划式水翼船和部分船体支持的双体水翼船,侧壁气垫船和双体船,当然,常规单体船最为便宜。

(4) 从耐波性的观点来看,在一定的航线有 3 种方法可用来改善耐波性,即采用自控设备,采用较好的船型和加大船舶的尺度。由于深浸自控双水翼船采用很复杂的自控技术加上水翼辅助控制设备用在高速船上,效果很好,因此此项船舶的耐波性为最好。同时 SWATH 由于既采用了复杂的襟翼控制系统,又采用了波浪干扰力较小的刘易士船型(即深潜浮体),因此同样具有良好的耐波性(波浪中失速或升沉加速度或纵横摇幅度等)。双体船原来与单体船一样具有不太好的耐波性,但自从加装运动阻尼系统(MDS),即可自控的辅助水翼系统后,其耐波性也大大改善。而当此水翼上升为主要支持力时

(即水翼双体船),其耐波性更为改善,而且由于此船具有双体,甲板面积加大,具有固有横向稳定性,水翼无上翻系统等优点,因此发展很快,犹有取代深浸自控双水翼之势。

目前之侧壁气垫船大部分未采用自控设备,故耐波性不佳;即使采用航行控制系统(RCS),由于仅控制气垫压力而不具备防摇水翼系统,效果并不理想。因此,在波浪中的垂向加速度与失速均较大;但如能采用水翼防摇系统,则将大为改善。

从垂向加速度和径向垂向运动的观点来看,双体船、侧壁气垫船相差不多,均较单体船为好,而且侧壁气垫船较双体船还稍稍好一些。但是,由于侧壁气垫船在波浪中航行时的泄气的作用,使飞高普遍下降从而引起附加波浪阻力(围裙阻力和侧壁阻力),因此,失速最大。但是,值得注意的是,由于此型船的静水阻力较小,同样功率和排水量比较双体船高出 7~10 kn。因此,仅在大波浪时其航速较双体船为低,故中小波浪时仍有较高的航速。在沿海航运中仍有很大的竞争力。

(5) 随着船舶尺度增大,上述高性能船舶的耐波性均将大大改善,其中一个重要原因是这些高性能船舶一般在小的波浪周期(或波浪长度)时均有较好的耐波性,尤其是侧壁气垫船,在波浪中的运动一般在  $\lambda/L \approx 2 \sim 2.5$  时才是最大值。因此,随着船长的增加,其耐波性将有长足进步;再加上侧壁气垫船对排水量的增大(当然不能太大,一般在 3 000~4 000 t 以下)在技术上的无很大困难。而相反,随着傅氏数的下降,无论在静水或波浪中性能将更为改善。而且由于气垫的支持力比较均匀,气垫对高速运动所产生的抨击有缓冲作用等。因此,目前侧壁气垫船的尺度在世界范围内有普遍增大的趋势。船舶愈大,此种船型的优越性可更为明显。

(6) 对于一个特定的航区,由于海况不同,在论证时对各种船型应该作具体的耐波性分析和设计,完全可以估算出各种船型在

运行时的晕船率,然后作出最后判断。

(7) 有些高性能船舶虽然耐波性较差(如全垫升气垫船),但有其独特的其它优点,如良好的两栖性和通过性,因此在特定的场合下仍有很好的用处,如用于浅水、沼泽、海滩,以及用作军用登陆艇等。

### 参考文献

- [1] John Lewthwaite et. al, Is big beautiful? 8th International High speed Surface Craft Conference. Jan 21~23,1992, U. K.
- [2] Nigel I Gee, The practical Application of Hybrid Design Techniques to fast Fessies for the 1990's. The 8th HSSC conference Jan 21~23,1992,U. K.
- [3] L. Yun, J. Z. Zhu, The Development of Medium sized Sidewell Hovercraft Series 919, The 4th PRAD'S Conference Varna, Bulgaria, 1989.
- [4] L. Yan, Qiu sheuy-Hong, "Experimental Investigations on Air Cashion Catamaran" FASR'91 Norway,1991.
- [5] Service Expesience Discussed at Italian Conference, Fast Ferry International Apri. 1991.
- [6] Shinsuke Akagi, A Study of Transport Economy and Market Research for High speed Mrrie Vehicles. FAST'93 Proceedings of the Second International Conference on Fast Sea Transportation Dec. 1993. Yokohama Japan.
- [7] Giorgion Arena, "Introducing Eurofast", FAST'93 Proceedings Dec. 1993.
- [8] Per Werenskiold, High speed Craft operational Performance and Limitation. The 3rd Conference on High Speed Marine Craft, Kristiansand. Sept. 1992.
- [9] Nere G. Skomedal, "Seakeepig Evoluotion of High Performance Marine Vehicles ". HSMV'92 Proceedings. Arlington, U. S. A June, 1992.
- [10] G. Caprino et. al, "Full scale Analysis of At-Sea Comfort of High Speed vehicles, FAST'93 Yokahama, Japan, Dec. 1993.
- [11] Dr. Fawa. Report of the High-speed Marine Vehicles Committee 19th ITTC Report. Sept 1992.
- [12] SWATH Ocean, Fast Ferry Intenational nov. 1992.
- [13] John R. Meyer et. al, Hydrofoil Development and Application, HPMV'92 Proceedings, Arlington, Virginia., U. S. A. June, 1992.
- [14] Ozawa H. et. al, "The second stage of TSL-A Program, FAST'93 Proceedings Dec. 1993. Yokohama, Japan.
- [15] Agostino Cordenio et. al, SES 500-F incantieri Design Criteria, FAST '91 Proceedings.
- [16] 8th High speed surface Craft conference-past 2, Fast Ferry International, Appil, 1992.
- [17] Performance graphs for Kvaener Fjellstrand's Motion Damping system, Fast Ferry International March, 1991.
- [18] Hiroshi Kawagach et. al, Full scale Experiments by the first Hydrofoil Catamaran, WINGSTAR 12 "Exceller". FAST'91 Proceedings.
- [19] Fast Ferries Discussed at Cruise+Ferry conference. Fast Ferry International July-Aug. 1989.
- [20] Ul stem Eikefjord Delivers First UT 904 Air Cashion Catanarian. Fast Ferry international March. 1992.
- [21] 谢佑农,恽良,“水翼改善双体气垫船耐波性的计算结果”,MARIC 研究报告。
- [22] Y. Kusaka et. al, "Research on Hydrodynamic Performance of TSL-A" FAST'93 Proceedings Dec. 1993.
- [23] John R. Moyer, "Hybrid Hydrofoil Technology Application, HPMV'92 Proceedings, June, 1992. Arlington USA.
- [24] J. Yagi et. al, "Jetfoil Operational Experience in Japan" HPMV'92 Proceedings Arlington Virginia USA, June 1992.