

新概念船舶：地效翼船

阮振华

世界科学技术的进步、经济的发展、生活水平的提高都促进各种交通工具向高速化发展，具有几千年历史的水上交通工具船舶也不例外。从20世纪30年代起，世界上已相继研究开发出了许多高性能船舶，如水翼艇、气垫船、高速双体船、小水线面船、穿浪艇等，这些高性能船舶都具有航速高的优点，其最高航速可超过60节。但是，随着航运市场的发展和现代化军用舰艇的作战需要，人们还在不断追求具有更高航速、可靠性更好的船舶。

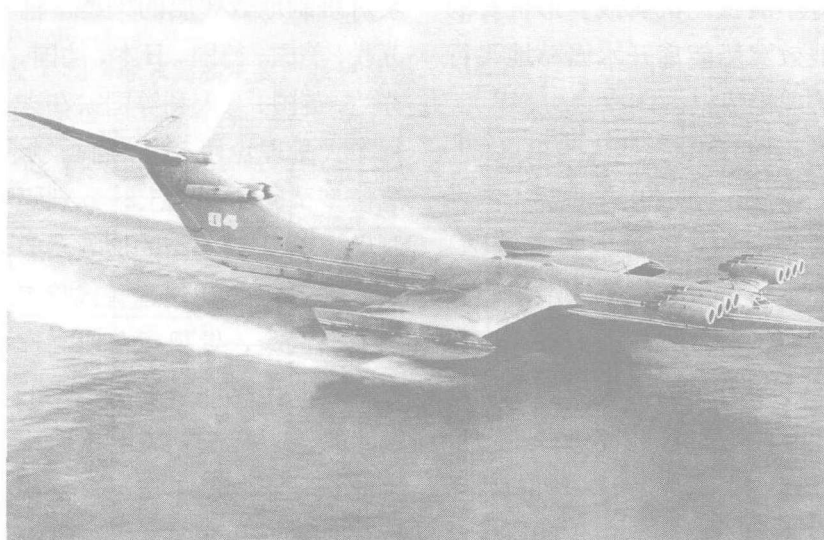
众所周知，水翼艇之所以能提高航速，是因为在船底下安装了水翼（即机翼），由于水翼在水中运动产生了水动升力，其升力与机翼面积、攻角航速平方成正比，当达到一定值时，即把主船体抬出水面，而大大减小了船体所生产的水阻力，使水翼船获得高航速。那么，是否可设想把船体翼形化，在翼形船体上装设短展弦比机翼，使机翼和翼形船体在空气中调整运动产生气动升力，把船全部托起在水面之上飞行呢？现

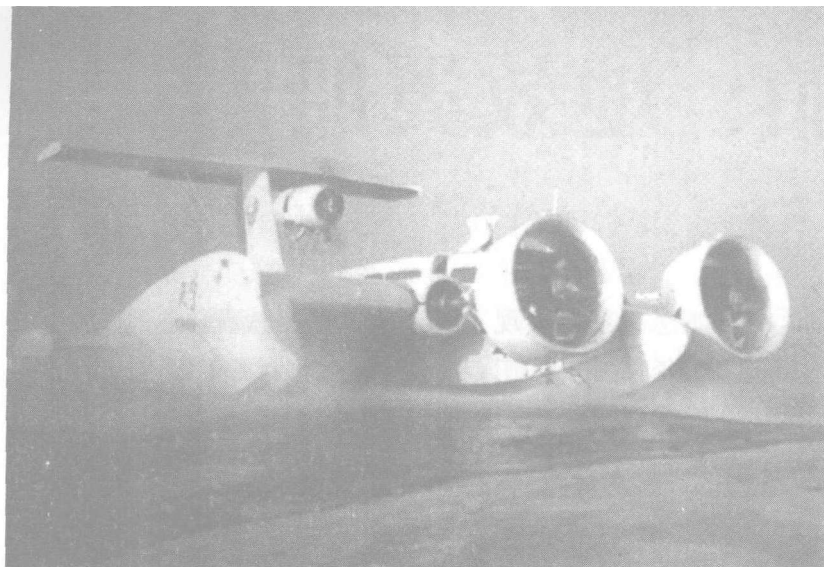
在这个新概念设想已实现了，在20世纪60年代国外研制成功了这样一种新颖超高速高性能船舶：地效翼船。

所谓地效翼船就是船舶具有翼形机身或带有小展弦比的机翼，利用地面效应原理，在贴近支承表面（水面或陆地）作高速运动时，大大提高了升阻比，依靠气动升力支承船重，使船能在地面效应区内（0—20米）似飞机一样做贴水飞行的超高速高性能船舶。因此，地效翼船的航速比气垫船等高速船舶还要高几倍多，而比常规船舶的航速则快十多倍。目前世界上研制成功的最大地效翼船已达

550吨、最快航速达500公里/小时，地效飞高0—20米（见图1）。

地效翼船的原理探索应追溯到20世纪初，当时在航空实践中发现了一个奇特现象，就是在飞机起飞和降落过程中，即机翼贴近地面飞行时，发现飞机升力剧增的现象。这是因为当机翼贴近地面运动时，气体流线受地面阻塞的影响，使机翼与地面间的空气压力剧增，同时又增加了翼表面的吸力，减小了诱导阻力，从而使机翼的升阻比提高。因此，贴近地面飞行的机翼空气动力特性无疑是引起航空界特别关注的研究





课题。在1912年,航空界对这个地效翼进行了世界上第一次风洞试验。后来德国人 A.Betz 从理论上对地效物理现象作出了解释。1921年,威塞斯伯格(C.Wieselsberger)根据映像法,贴近地面的机翼会产生与地面对称的映像,映像在机翼处产生了向上的流动分量,其值可按翼栅理论确定的效应值来计算,而此理论计算值具有小展弦比机翼或翼形机身的地效翼船能离开水面贴地飞行的理论依据。

1932年,芬兰人卡里奥(T.J.Kaario)设计出了世界上第一艘带地效翼的冲翼式滑行撬,它是将空气螺旋桨的滑流驱到滑行撬底部的冲压区中,由此产生了升力使之实现陆上机车像鸟一样翱翔的设想,此项发明在1935年获得了专利权。而在30年代,许多国家的科学家

也都在进行研究地效翼船,如前苏联的格格霍夫斯基提出了利用动态气垫设计两栖地效翼船的设想,美国的D.沃纳设计了一艘利用静压气垫起飞的地效翼船。

由于第二次世界大战的影响,使各国对地效翼船的开发研究工作停顿下来。直到20世纪60年代,英国人试验气垫船成功后,这就又引起了许多国家对研制地效翼船的兴趣。前苏联、美国、德国、日本、法国、芬兰、英国、意大利等国家在进行大量理论研究和风洞、水池模型试验的基础上,分别研制出了30多艘小型的地效翼船试验艇。但是,通过这些试验艇的实船试验,发现了在船高速行驶时产生纵向运动不稳定的技术难关,在实船试航试验中因此翻了不少船。这样严重阻碍了地效翼船的进一步发展。

后来到了70年代时,由于英国人库玛尔用小扰动理论对地效翼船运动稳定性问题的研究与理论计算得到了突破性的进展,美国的利比希和加林顿等人又专门进行了试验研究,并成功地研制出了X-112型地效翼船,基本解决了地效翼船的纵向稳定性问题。以后,前苏联与美国等国家对动力增升理论的研究,应用动力增升原理,更好地解决了地效翼船起飞与着陆系统,从而使地效翼船具有两栖性,并有可能采用优化船身设计,使地效翼船的技术得到了飞速的发展。

目前,世界上开发研究地效翼船规模最大,建造数量最多、在技术上最先进的国家是俄罗斯。前苏联的地效翼船研制工作一直处于保密状态,它在1960年由阿列谢耶夫水翼艇局研制出了第一条地效船试验艇“SM-1”,1962年又研制成功了起飞重量为5吨的“SM-2”地效翼船,在此艇的研究基础上,前苏联研制出了“KM”系列的第一代地效翼船,其第一条地效翼船“KM”于1966年制造完工,被西方称之为“里海怪物”,这是一艘闻名世界的地效翼船(见图1)。起飞重量为550吨,在3米浪高的海况下能飞行,在0-500Km/hr的航速范围内和0-20米的飞高范围

内, 该船具有良好的机动性和稳性, 并且有进入浅水海域和登滩的能力。该船共运营了 15 年, 其间为地效翼船的设计与建造进行了大量的试验, 积累了大量宝贵的试验资料, 建立起了地效翼船理论数据库, 确立了地效翼船的设计方法。前苏联依此为母型船, 派生出了一系列地效翼船。非常遗憾的是, 在 1980 年因驾驶员的操纵失误造成了“里海怪物”的灭顶之灾, 使其沉入了里海。但前苏联在此基础上, 发展了一批第二代地效翼船。据报导, 目前俄罗斯已建造了近 20 艘地效翼船, 在军用上作为导弹快艇、搜索救护艇, 在民用上已发展了 8 - 250 客位的地效翼船作为超高速运输客船。

我国从 20 世纪 70 年代起, 作为跟踪国外先进技术, 也开展了卓有成效的研究开发地效翼船工作。在进行了大量的理



论研究, 模型动力风洞试验及水池拖曳试验, 遥控自航模型试验的基础上, 在 80 年代, 由中国船舶工业总公司七院七 0 二所和七 0 八所分别研制成功了二型载人的地效翼船试验艇: 信天翁 (XTW) 1 号冲翼艇和 750 双座气翼艇。上述两艇在经过大量试航试验后, 充分证明我国已基本掌握了地效翼船的设计与制造技术, 填补了我国船舶科学技术领域的空白。

同时, 在某些技术方面, 如翼端双气道气动布局、主翼翼型等方面的技术均有所创新突破。在此基础上又研制了几条 15 - 20 客位实用过渡的试验艇, 使我国的地效翼船技术又上了一个台阶。到了 90 年代中, 航天 701 所和航空 605 所也加入了地效翼船的研究设计开发行列, 联合研制成功了“天翼 (TY) 号”飞翼船, 并在太湖试营运, 运载游客。

表 1 我国地效翼船主要产品一览表

船名 (型号)	信天翁 1 号	750 气翼艇	信天翁 2 号	天鹅 (751)	信天翁 4 号	天翼一号
主尺度 长×宽×高 (米)	12.6 × 8.2 × 3.35	8.47 × 4.8 × 2.34	18.5 × 12.72 × 5.4	19.04 × 13.4 × 4.5.2	21.7 × 14.5 × 5.5	16 × 11 × 4.9
起飞重量 (吨)	0.95	0.745	3.6	8.1	6.0	4.8
载客数 (人)	3	2	15	15 - 20	20	8 - 15
最大航速 (km/h)	130	132	180	130	150	200
巡航飞高 (米)	0.6-1.0	0.5	1.0-1.5	0.5-1.0	2.0	0.6-1.2
续航力 (km)	400	150	900	300	500	400
适航性	太湖 6 - 7 级风	内河 4 - 5 级, 阵风 6 级, 0.5-0.7 米浪高	二级海况	二 - 三级海况	二级海况	三级海况
主机型号 台数×功率	Relax-447 × 2 40Hp × 2	卡扬纳 × 4 30Hp × 4	IO-450K × 2 300Hp × 2	HS6 × 3 257kW × 2 210kW × 1	PT6A-15AG × 2 375kW × 2	10-540-k185 × 2 223.5kW × 2
用途	试验艇	试验艇	试验艇	试验艇	试验艇	试验艇, 使用艇
研制时间		1984		1997	1998	1999

国内外研制的地效翼船主要性能参数详见表 1 和表 2。

以前根据作用原理把地效翼船分为冲翼型和气翼型两类，也有根据地效翼船的外型和气动布局分为单体型和双体型等类型。

所谓冲型地效翼船就是依靠一定冲角的机翼在空气中作

高速运动所产生的气动力支承船重，使其在地效区内作稳定飞行的地效翼船。冲翼型地效翼船又根据其机翼所产生气动升力的作用原理不同被划分为冲压翼型、槽流翼型和地效翼型三种。

所谓气翼型地效翼船就是依靠动力气垫产生的静压气垫升力支承船重起飞，由动力气

垫作用产生的气动升力支承船重，使其在地效区内作稳定飞行的地效翼船。

冲翼型地效翼船和气翼型地效翼船各有其特点：冲翼型地效翼船的飞高较大，它不仅在地效区内飞行，也可拉高到地效区外作短时飞行，具有较好越障避让性能。但无两栖性能，利用起落架冲滩上岸，对地面的承载能力要求较高。气翼型地效翼船具有两栖性，能静垫升自由上下码头或滩涂，其翼形船身便于停靠其它船舶或码头设施，但是一般不具备在地效区外飞行的能力。

现在，中国船级社颁布的“地效翼船检验指南”中又明确地把地效翼船分为 A 类地效翼船和 B 类地效翼船。A 类地效翼船系指只能在地效区内运行的地效翼船，B 类地效翼船系指需要飞越一艘船或一个障碍物或其它类似物体时，能在地面效应影响范围以外瞬时增加飞行高度，并能在飞行一段有限距离的地效翼船。该“超越飞行”的最大高度应小于由 ICAO 或船旗国民航主管机关规定的飞机最小安全高度。

中国船级社把地效翼船分为 A 类和 B 类具有船检可操作性，目前在国际上也类似采用此分类。以前分类的冲翼型地效翼船属 A 类，气翼型地效翼船

表 2 国外地效翼船主要产品一览表

船名(型号) 国家	飞行雪撬 8号 芬兰	阿尔考普特 GEM-美国	KAG-3 日本	雏鹰 前苏联
主尺度 长×宽×高(米)	8.0×3.0	7.33×2.39	6.23×5.26×1.63	58×31.5×16.5
起飞重量(吨)	0.4-0.5	1.14	0.6	125-140
载客数(人)	1	4	2	250
最大航速(km/h)	80	130	110	400
巡航飞高(米)	0.15	0.46		2
续航力 km				2000
适航性				2米浪高起飞 3.5米浪高排行
主机型号 台数×功率	50Hp×1	150Hp×1	80Hp×1	HK-8-4K×2 推力 10t×2 12MK×1 推力 15.5t×1
用途	试验艇	试验艇	试验艇 水螺旋桨	两栖攻击运输艇
研制时间	1962	1962	1963	1974

X-112 西德	里海黑怪 前苏联	X-114 西德	雌鹈 前苏联	伏尔加-2 前苏联
7.7×4.26×1.93	92×37×22	12.8×7×2.9	73.8×44×17	11.4×7.5×33.2
0.33	500-544	1.5	370-400	2.5
1	900	6	400	8
143	500	200	550	120
	4		4	0.4
	2500		4000	500
	3米浪高起飞		2.5米浪高起飞	0.5米浪高起飞
25Hp×1	BN-7C×10 涡喷推进 13t×10	200Hp×1	HK-87*8	VAZ-413RPD 2 130kW×2
试验艇	试验艇 事故沉海	试验艇	客船、导弹艇 救生艇	客船
1964	1966	1974	1986	

属B类。但这也不是绝对的,冲翼型地效翼船可设计成B类,而气翼型地效翼船也可设计成A类。最近,俄罗斯已研制出第三代地效翼船,采用了可折机翼技术,当需要飞出地面效应区时,即把机翼伸出增加升力,改变气动布局,以保证地效翼船在地面效应区外稳定飞行。另外,可折机翼技术减小了停机处的占用面积。

地效翼船与其它船舶相比,具有以下性能特点:

1. 优越的超高速性能

因地效翼船完全脱离水面,在水面上空飞行,没有水阻力影响,使翼船的航速可大幅度的提高,其航速一般为100-300节,这是所有船舶望尘莫及的。

2. 超低空飞行性能

地效翼船能在0-20米的地效区内飞行,而这是目前所有运载工具的禁区,飞机也不可能在此超低空范围内长期飞行。而这块空间在军事上具有重大战略地位,因为这是雷达的盲区,不易被发现,也不易被攻击,这充分显示出了地效翼船的隐蔽性和突击能力的优点。

3. 优良的耐波性能

由于地效翼船的飞高较大,可完全离开运行海况的波面飞行,不受海浪的影响。不产生失速和增加加速度的现象。

4. 多航态特性

地效翼船能像常规船舶一样作排水状态航行,也能像气垫船一样作垫升状态航行,又可像飞机一样在地效区内超低空飞行和升高到地效区外作短时飞行。

5. 安全、舒适性好

因地效翼船贴着水面飞行,而又不接触水面,一般不会受到波浪冲击,也不会受到强大气流颠簸的影响,使乘客具有安全感,舒适性好。

6. 地效翼型地效翼船靠气垫静升力支承起飞,所以不仅可用于水上航行,也可用在冰上、雪地、沙滩、沼泽地带等各种地区航行或超高速飞行,无需机场和跑道,能飞越一定高度的障碍物,特别适用于未开发的海岸区域。

7. 具有较好的经济性

由于地效翼船利用其地面效应原理,故升阻比要比一般飞机大1.5-2倍,因此在相同装载与航速下,地效翼船所需功率可大大减少。另外,地效翼船在地效区内飞行,而不是在同温层大气飞行,其舱室不需气密,又大大降低了造价,所以地效翼船的经济性明显优于飞机,大型地效翼船的经济性也可与其它高速船舶媲美。

正由于地效翼船具有了上述这些优异的性能,所以它在

军用与民用上都有广泛的用途。在军用上,地效翼船适宜用作导弹攻击艇、高速反冲艇、两栖攻击登陆艇、侦察巡逻艇、快速后勤补给船、远洋快速运输舰等。在民用上,地效翼船用作旅游艇、旅游交通艇、客船、客货船、救生艇等及其它特种用途船。

现在世界上许多国家正在研究开发地效翼船这种新概念船舶。目前的地效翼船主要用作军用舰艇,民用船的开发力度很小,没有规模。但相信在不远将来,民用的地效翼船将会得到飞跃发展,由小型发展到大型,从内河发展到海洋,人们将会看到千吨级的地效翼船,其航速将达到600km/h,适用于5级海况,续航力超过2000km。地效翼船将成为新世纪的新颖交通工具——高速船舶,地效翼船也将成为人们常用的高速、安全、舒适的效能运输工具。

