

文章编号: 1000-4882(2006) 03-0001-13

# 中国船舶科学研究中心 关于船舶性能新技术的研究进展

李百齐, 朱德祥, 何术龙

(中国船舶科学研究中心, 江苏 无锡 214082)

## 摘 要

阐述了船舶性能新技术的重要性, 并从原理、特点、功能、构成、应用效果诸方面较为详尽地介绍了中国船舶科学研究中心在船舶性能新技术领域的自主创新的若干成果, 其中包括船型和性能数据库、船舶水动力性能集成设计系统、螺旋桨设计软件包、计算流体力学技术、掠海地效翼船、小水线面双体船、水翼船等七项研究成果。

**关键词:** 船舶、舰船工程; 船舶水动力性能; 数据库; 船舶水动力性能集成设计系统; 螺旋桨设计软件包; 计算流体力学技术; 掠海地效翼船; 小水线面双体船; 水翼船

**中图分类号:** U 661. 1; U 664. 33; U 674. 941; U 674. 944 **文献标识码:** A

## 1 引 言

船舶性能新技术系指船舶流体力学新技术。船舶流体力学是船舶科学的基础技术和船舶设计的共性技术, 是船型技术的核心内容。作为创新的源泉和发展的动力, 船舶流体力学的水平与应用效果在很大程度上影响着船型技术和船舶工业发展的速度。

船舶性能新技术, 具体讲, 是指那些在船舶设计或新船型开发中, 为确保船型具有优良的船舶性能(静浮性能和航行性能)所必须研究解决的船舶性能预报和优化技术以及新概念、新原理、新方法和新创造。

船舶性能新技术是船舶——特别是高新技术船舶所共有的核心技术和关键技术, 它对我国船舶研发设计能力、水平和效率的提高以及船舶工业和科技发展意义重大, 至关重要。这是因为:

(1) 它是提高国际竞争力的核心内容

它反映了船舶工业的总体水平。它是船舶设计领域的重点, 是船舶科研领域的热点, 是新船型开发的基础技术和着眼点, 也是经济效益和社会效益的增长点, 作为显示造船技术实力的前沿领域和赖以生存发展的制高点技术, 始终受到世界先进造船国家的高度重视和严格保密。

(2) 它是船舶技术、经济、安全性能的重要保证

一艘具有优良性能的船舶会产生重大的经济效益和社会效益; 但如一艘船的性能设计得不好而出现问题, 那将是先天性的, 有时甚至是颠覆性的, 危害极大。

(3) 它是船型升级换代和持续创新的原动力

它具有很强的带动作用, 它的创新往往可以引发设计技术的革新, 或者甚至推出一种新船型。例如, 气垫原理推出了气垫船, 水翼技术推出了水翼船, 耐波性理论推出了小水线面双体船和穿浪双体船, 推

进和操纵新理念推出了装吊舱式推进器的高技术性能船舶,等等。

#### (4) 它是船舶——尤其是高新技术船舶设计的关键

它属于船舶设计前期阶段的瓶颈技术,须要进行大量的考虑和决策,每一个决定都可能极大地影响以后的工作。一般说来,占成本不足 5% 的概念设计会对下阶段 40% ~ 60% 的费用产生影响,而初步设计将影响船舶全寿期费用的 70%。

基于上述的重要性,在原国家计委、国防科工委和国家科技部的支持下,遵循需求牵引、技术推动的原则,我所长期以来,特别是 1991 年以来,对船舶性能的新技术开展了研究开发,终于在高新技术研发和成果推广应用方面取得了自主创新的重点突破,现将我所拥有自主知识产权的若干研究成果介绍如下。

## 2 船型和性能数据库

船型和性能数据库是船舶科技的基础和船舶科技整体水平的标志,是船舶设计和新船型开发的依托,对船舶研究、设计和建造具有重大意义。

我所开发的船型和性能数据库储存约 300 艘近代优秀船型及其推进器、舵与附件的几何参数、几何外形、由模型试验和实船试验获取的各种性能资料(包含快速性、操纵性、耐波性、伴流、脉动压力等)。它的主要功能是:为船舶性能的优化设计、预报以及船型生成提供母型,作为评估的比较对象,为建立船舶性能的各种统计估算方法提供数据源。应用该数据库及以此为依托的优化设计软件系统,造船工程师就可以准确而迅速地对其设计方案的静浮性能、航行性能进行预报和优化。数据库内储存的优秀船型数量愈多,这种预报和优化的准确性和水平就愈高,适用范围也就愈广。

该数据库是一个由 7 个子库构成的具有一体化、开放式结构和独立管理功能的主题数据库应用系统,可方便地实施对数据的录入、存储、更新和查询等功能的在线管理。它有两种版本形式:一种是基于 Access 平台、装在一般微机上使用的单机版;另一种是基于 Oracle 平台、用于网上服务的网络版。图 1 示出了船型和性能数据库的构成框图。

该数据库投入使用以来,除直接为大量新船设计提供优秀参考母型船外,还作为主要模块纳入船舶水动力性能集成设计软件系统(SHIDS),发挥基础平台的重要作用。为更便捷、广泛地为用户服务,最近该数据库的网络版在上海交通大学部署,并成功登陆 Internet,目前运行情况良好。今后数据库子样、版本还将持续扩充、升级,预计 2009 年子样总数可达 600 艘船型,2020 年子样总数将超过 2000 艘船型。

## 3 船舶水动力性能集成设计系统(SHIDS)

船舶水动力性能集成设计系统 SHIDS(SHIP HYDRODYNAMICS INTEGRATED DESIGN SYSTEM)能对大方形系数低速船(如大型、超大型油轮、散货船等)和中等方形系数中高速船(如大中型集装箱船等)的航行性能进行预报、评估和优化计算,并可由快速性、耐波性和操纵性综合观点设计出满足用户要求的最合适的船型、螺旋桨等的形状细节,具有功能全、精度高、适用范围宽、运算速度快、技术先进等特点,是国内第一个船舶水动力性能集成设计系统。

SHIDS 系统是一个开放式的系统。它由应用软件系统、支撑软件系统和水动力设计数据库组成,其硬件平台是 486 以上微机。SHIDS 系统的应用软件系统包括概念设计模块、船型生成模块、水动力预报及优化分析模块(含静水力计算)等;其支撑软件包括系统管理、数据管理、图象支持及用户界面管理等子系统;其数据库存有船型几何及水动力性能等试验数据,在系统运行时可随时取用所需的各种数据。图 2 示出了 SHIDS 系统的功能框图。

SHIDS 系统的开发先后推出了 SHIDS 1.0、SHIDS 2.0 和 SHIDS 3.0 三个版本。SHIDS 1.0 的研制始于 1991 年,完成于 1995 年。它的研制成功为 SHIDS 系统以后的发展奠定了坚实的基础。从 1996

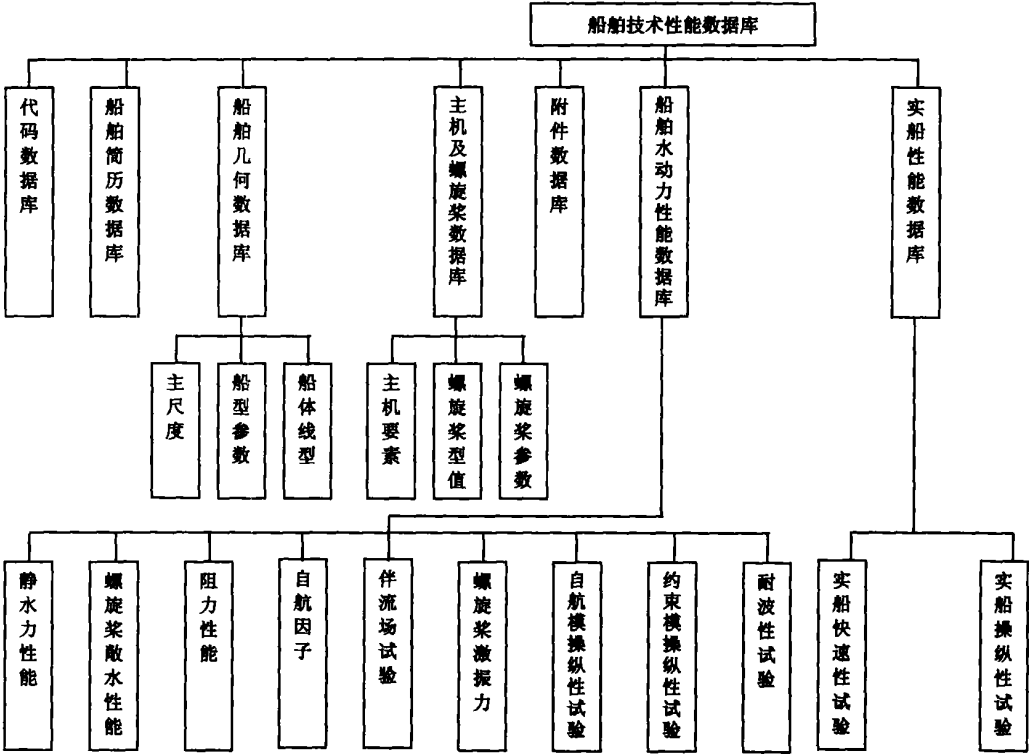


图1 船型和性能数据库的构成框图

年至1997年,在SHIDS 1.0的基础上,对该系统进行了功能扩充、精度升级和完善改进,并多次为船厂、设计院所进行实例考核,多次征求和吸取船厂、设计院所从使用角度提出的意见,从而使研制出的SHIDS 2.0版本满足了工程化、实用化和商品化方面的要求。从1998年开始,对SHIDS 2.0又作了进一步的发展,主要是在数据库内充实了数十条集装箱船的数据,形成了分别依托船模系列试验和数据库的两套集装箱船性能计算公式。至2000年推出了SHIDS 3.0版本。

下面以SHIDS 3.0为例介绍SHIDS系统。

(1) 大方形系数低速船模型系列模块

本系列由15艘船模和9只桨模组成,共进行阻力试验15个、自航试验27个,形成了大方形系数低速船型的数字化图谱。

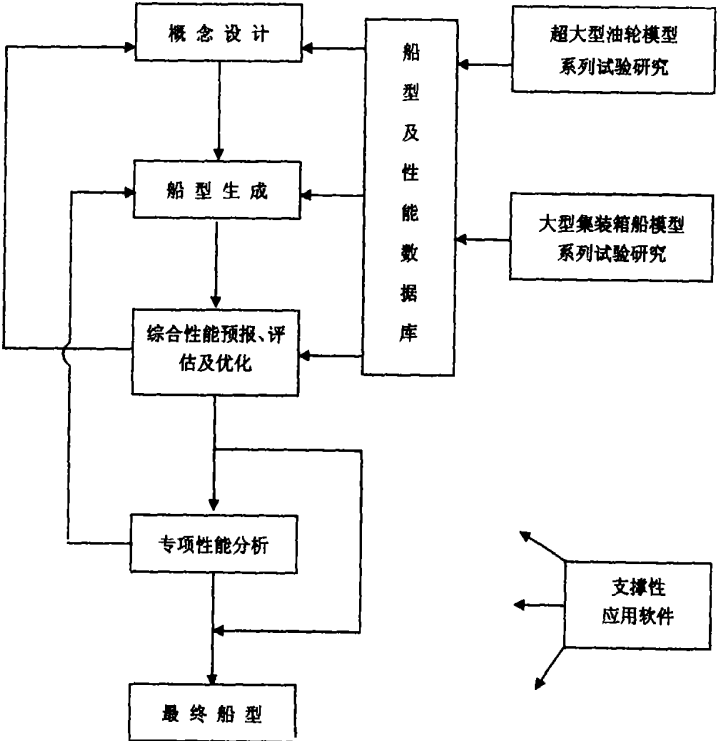


图2 SHIDS系统功能框图

### (2) 中等方形系数中高速船模型系列模块

本系列由 9 艘船模和 19 只桨模组成, 共进行阻力试验 27 个、自航试验 37 个, 形成了中等方形系数中高速船的数字化图谱。

### (3) 船型及性能数据库

数据库内子样的数量和质量是数据库最重要的内涵, 是数据库发挥其重要作用的根本所在。本数据库收集了约 300 艘近代船型的几何数据和相应的船模试验数据。

### (4) 概念设计模块

概念设计模块是 SHIDS 系统的入口之一, 它的功能是根据业主提出的技术经济要求, 结合总体布置情况, 提供下一步航行性能优化设计的起点(可以有三个初步方案), 给出满足要求的船型的“宏观框架”。

### (5) 船型生成模块

船型生成模块根据概念设计模块得出的船型宏观框架和主参数生成相应的船体线型方案。本模块提供两种生成方法: 系列内插法和母型变换法。

### (6) 综合航行性能预报、评估及优化模块

本模块是该集成系统最主要的计算模块, 共包含静水力性能计算、阻力计算、自航因子计算、螺旋桨设计和推进性能计算、耐波性计算、操纵性计算、航行性能优化等 7 个子模块。

### (7) 专项性能分析模块

本模块以 CFD 数值计算方法为手段, 对得到的船型进行重要专项性能分析, 旨在提供既精确又丰富的流场信息和进一步扩大性能预报的功能。

SHIDS 3.0 版本尚未包含本模块, 本模块的内容将逐步体现在今后研发的 SHIDS 4.0 版本和 5.0 版本之中。

我所自主研发的“船舶水动力性能集成设计系统(SHIDS)”, 曾为十余家单位的一百余艘船做过技术咨询, 并已在八家大型工厂和设计院使用。使用结果表明该集成系统操作简便、计算快捷、计算结果达到工程实用精度, 是船舶设计的有力工具。为更好、更广泛地为用户提供技术咨询和服务, 上海市科委已将 SHIDS 系统引入“一网两库”网络平台, 在上海交通大学顺利部署并成功登陆 Internet, 目前运行情况良好。

## 4 螺旋桨计算机辅助设计(CAD)软件包

螺旋桨设计是船舶设计的重要组成部分和核心内容之一, 它直接关系到船舶的快速性、安全性和经济性。上世纪 80 年代和 90 年代, 我国建造的大型出口船舶的螺旋桨绝大部分由外国设计和制造, 造成可观的外汇流失。这种情况对我国船舶工业的发展极为不利。我所通过“八五”、“九五”的自主研发以及“十五”的实船应用研究与实践, 成功地突破了螺旋桨 CAD 新技术, 研发了螺旋桨图谱设计和理论设计的 CAD 软件包, 与大连船用推进器厂等国内企业合作, 开创了国轮配国桨的新局面。

我所研发的螺旋桨 CAD 软件包, 由 B 系列与 MAU 系列桨图谱设计软件、导管桨图谱设计软件和包含侧斜桨在内的螺旋桨理论设计软件(升力线、升力面方法)等 3 个设计模块以及伴流场数据库、桨模性能数据库、各国船级社强度校核计算程序、螺旋桨强度有限元计算程序和螺旋桨三投影图绘制程序等 5 个支撑软件组成。它功能全面、方法先进、实用可靠, 是与国外螺旋桨现代设计技术接轨的具有自主知识产权的先进设计工具。图 3 示出了该螺旋桨 CAD 软件包的原理框图。

我所应用自主开发的螺旋桨 CAD 软件包, 先后为七家大型造船厂生产的十型大型船舶(载重量范围自 12.5kt 至 175kt, 多为出口船)成功设计了侧斜螺旋桨, 总共装船 94 个螺旋桨。经实船考核, 完全达到技术性能指标, 其效率可略高于非侧斜常规图谱桨, 而脉动压力则较之下降 1/3 以上。从而实现了大侧斜桨的国产化, 为国家节省了外汇, 争得了荣誉, 提高了我国在国际船舶市场上的竞争力。

## 5 船舶航行性能计算流体力学 (CFD) 预报优化技术

CFD 技术是采用计算流体力学数值方法研究船舶流场和航行性能的一项新技术,是当今船舶科学的一个热点创新领域。CFD 技术可视为一种“破坏性创新技术”,它以其能迅速、准确、低消耗地提供多方案的船舶性能和流场的宏、细观全面信息的突出优势,有可能取代传统的船模试验方法而成为船舶航行性能预报优化的主要手段,从而引发船舶水动力性能设计技术的一场革命。

船舶 CFD 技术包含势流理论方法和粘流理论方法两大块。相比较而言,目前势流理论方法解决得比较好,在船舶兴波阻力、耐波性、操纵性和螺旋桨水动力性能设计等方面均有成功的应用;然而,全粘流理论方法在湍流模式、高雷诺数流动、自由面流动、船体/螺旋桨/附体复杂系统流动等方面尚存在不少困难,为此世界先进造船国家的学者正在奋力攻关。这为我国提供了一个很好的发展机遇。我国有一定基础,应加强自主研发力度,争取在 CFD 领域内有所作为。

我所经过多年的研究,在船舶 CFD 方面取得了不少实用成果。在势流理论方法方面,建立了线性兴波阻力计算程序,并成功用于方艏船的优化设计;开发了螺旋桨升力线与升力面理论设计计算软件包,已在大侧斜桨自主设计及实船应用上取得重要突破;自行发展了切片法、面元法等耐波性计算程序,已广泛应用于船舶和海洋工程的设计和性能预报;自主研发了水翼、水翼组合体和水翼船水动力性能数值计算软件,已在水翼船和相关技术领域普遍采用;等等。在全粘流理论方法方面,对贴体坐标、交错网格、湍流模型等共性技术进行了较为系统的研究,发展了求解船舶 RANS 方程的数值方法,并通过试验验证和实际应用加以改进,不断提高计算的速度、精度和可靠度。

近年来我所利用 16 节点的集群式微机系统,在商用软件应用于船舶性能研究方面做了大量的研发工作,在商用软件的二次开发方面取得了突破性进展。尤其是我所自主研发的基于 Fluent 软件平台,同时考虑粘性与自由面影响,同时考虑船体、螺旋桨、附体影响的复杂流动的 CFD 技术已初战告捷,这是一项国内领先、国际先进的研究成果。目前,我所正在此基础上,加大对大方形系数低速船(油船、散货船等)和中等方形系数中高速船(集装箱船等)全粘流 CFD 技术的研究力度,着力解决关键性的瓶颈技术,加强试验验证和实际应用,逐步将自主研发的 CFD 技术打造成我国船舶设计的有力工具。

我所对高性能船的研发活动最早可追溯到 1954 年至 1955 年开展的 70t 级炮艇的线型设计和船模试验研究。该艇采用尖艏艇型,属于过渡航行状态的半滑行艇。在以后的数十年中,我所先后对多种类型的滑行艇、圆舭型快艇、单水翼艇、双水翼艇、地效翼船、小水线面双体船、气垫船、高速双体船、穿浪双体船、槽道式双体滑行艇、多体船、深 V 型船和复合型船做了大量的理论研究、试验研究和设计开发,几

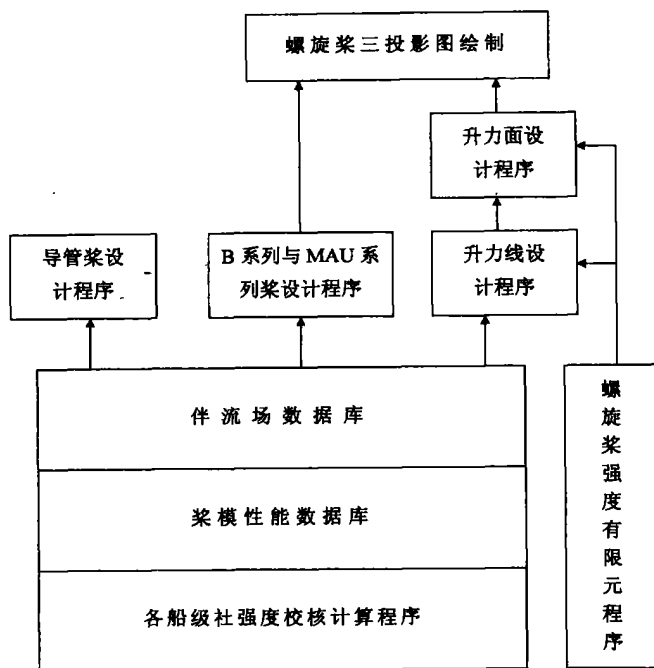


图3 螺旋桨 CAD 软件包原理框图

## 6 高性能船的研发成果

我所对高性能船的研发活动最早可追溯到 1954 年至 1955 年开展的 70t 级炮艇的线型设计和船模试验研究。该艇采用尖舭艇型,属于过渡航行状态的半滑行艇。在以后的数十年中,我所先后对多种类型的滑行艇、圆舭型快艇、单水翼艇、双水翼艇、地效翼船、小水线面双体船、气垫船、高速双体船、穿浪双体船、槽道式双体滑行艇、多体船、深 V 型船和复合型船做了大量的理论研究、试验研究和设计开发,几

乎涵盖了所有种类的高性能船。经过长期的不懈努力,目前我所已在掠海地效翼船、小水线面双体船、水翼船和槽道式双体滑翔艇四种高性能船型的研究、设计和应用全方位上取得了突破性进展,不仅获得了丰硕的理论和试验研究成果,而且将研究成果成功地转化为实船应用。下面仅就掠海地效翼船、小水线面双体船和水翼船这三种船型的研发成果作一简要介绍。

(1) 掠海地效翼船

地效翼船是一种利用机翼地面效应原理实现贴近水面高速飞行的新型带翼高性能船。所谓机翼地面效应是指机翼贴近地(水)面飞行时其升力增加而诱导阻力减小,从而使机翼升阻比大幅度增大的物理现象。掠海地效翼船的主要特点是:航速特高(100kn~300kn),隐蔽性、耐波性、经济性好,安全性和可靠性强,具有水陆两栖和拉高越障能力。

我所是国内最早研究地效翼船的科研机构。1967年即开始地效翼试验艇的研发,虽未取得圆满成功,但积累了丰富的经验。1980年起我所着手研制信天翁(XTW)系列小型掠海地效翼船。1983年,XTW系列的原型‘902’单人试验艇建成,并试航成功,宣告了困扰掠海地效翼船发展的重大关键技术——纵向稳定性技术已被我所突破。该艇既能贴近水面低飞,又能拉起高飞,灵活快速,性能出众,引起了国人的关注。1988年,“XTW-1”3座试验艇研制成功,并获1989年第38届尤里卡国际发明博览会大奖。1993年,15座掠海地效翼船“XTW-2”建成并在珠海海面完成试航,成为国内第一艘海上使用的试验艇。1997年,12座铝合金结构的掠海地效翼船“XTW-3”建成并在北海试航成功。1999年建成6t级铝合金试验艇“XTW-4”,2000年在长江江阴江面和青岛海区进行了全面的试验。试验表明,该艇低飞和高飞性能均属优良,不仅验证了研究成果,而且为今后大型实用艇的开发提供了重要依据。

我所研发的第一艘实用型地效翼船“XTW-5”于2003年建成,并于同年圆满完成了实船试航。这表明,我所自主研发的地效翼船技术在工程化、实用化、商品化上取得了重要进展,研究成果已转化为生产力。它必将对我国地效翼船技术在军民两方面的广泛应用起到良好的示范作用。

我所研制的掠海地效翼船的数据列于表1。图4和图5分别示出了地效翼试验艇‘902’和实用型地效翼船‘XTW-5’的照片。

与此同时,我所还在掠海地效翼船的理论分析计算、试验研究和设计方法开发方面做了大量工作,取得了比较系统的研究成果,为研制各型地效翼船提供了强有力的技术支撑。

表 1 我所研制的掠海地效翼船

型 号	961	902	XTW-1	XTW-2
首飞时间	1968 年	1983 年	1988 年	1993 年
最大起飞重量(kg)	720	400	950	3600
装载能力(人)	1	1	3~4	15
结构材料	铝合金	GRP 结构	GRP 结构	GRP 结构
总 长(m)	7.3	9.5	12.6	18.5
总 宽(m)	5.8	5.8	8.2	12.7
总 高(m)	2.0	2.3	3.4	5.1
动力装置	1 台瓦尔特	2 台国产	2 台 ROTAX-447	2 台 Lycoming
型号	活塞式发动机	HS-350A	型发动机	IO-540
功率(kW)	74	2×15	2×30	2×220
巡航速度(km/h)	110	110~120	110~130	130~150
巡航飞高(m)	0~0.3	0~0.5	0~1.0	0~1.5
最大飞高(m)	5	10	20	20
适航性	起降	太湖 6~7 级风	太湖 6~7 级风	2 级浪
	巡航			3 级浪
航 程(km)	—	—	400	900
备 注	太湖、淀山湖试验	太湖试验	太湖试验, 1989 年 获尤里卡大奖	珠海海试

表 1(续)

型 号	XTW- 3	XTW- 4	XTW- 5
首飞时间	1997 年	1999 年	2003 年
最大起飞重量(kg)	4000	6000	4200
装载能力(人)	12	20	7~8
结构材料	全铝合金	铝合金	铝合金
总 长(m)	17.9	21.7	
总 宽(m)	11.8	14.5	
总 高(m)	5.3	6.0	
动力装置	2 台 Lycoming	2 台 P&W	2 台 Lycoming
型号	IO-540	PT6A-15AG	IO-720
功率(kW)	2×220	2×500	2×294
巡航速度(km/h)	140	150~180	
巡航飞高(m)	0~2	0~2	0~2
最大飞高(m)	20	20	20
适航性	起降	2 级浪	2 级浪
	巡航	3 级浪	3 级浪
航 程(km)	400	500	
备 注	广西北海海试	长江试验 青岛海试	实用艇

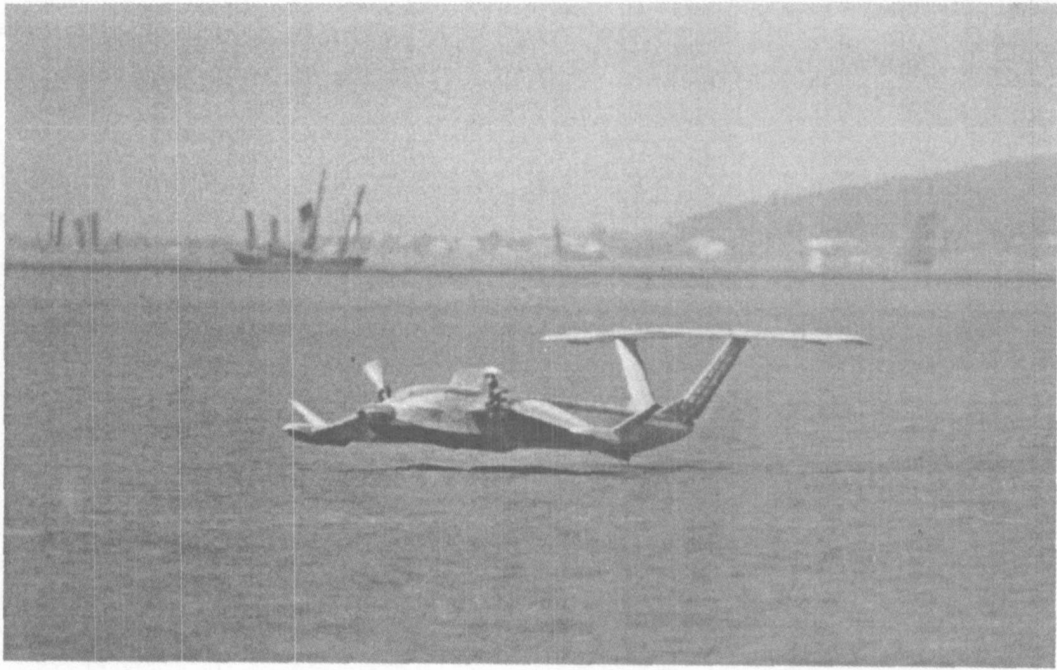


图 4 我国第一艘成功解决纵向稳定性难题的地效翼试验艇“902”(1983 年)

(2) 小水线面双体船(SWATH)

小水线面双体船借助两个潜入水下的细长潜体(下体)产生浮力,通过若干支柱来支承水面上方的船体(上体),航行时上体不接触水,仅几根相对较薄的支柱割划水面。下体提供了浮力的主要部分,尾部装有推进器。小水线面双体船具有优良的耐波性、宽敞的甲板面积、独特的雷达隐身性能、较强的生命力和良好的操纵性等特点,是发展相当迅速的新型高性能船。



图5 实用型地效翼船 XTW-5 (2003 年)

我所对小水线面双体船已进行了长达三十年的科学研究和设计开发。早在上世纪 70 年代国际上这种新船型刚露头之时, 我所便开始了跟踪研究, 对其一系列基础理论作了广泛而深入的探索。上世纪 80 年代以来, 应用业已取得的基础研究成果, 以开发实船为主要目标, 从专用试验设备和试验技术、航行性能和结构性能的预报与优化、总体设计方法以及该船型特有的技术关键等方面, 进行了大量细致扎实的研究工作, 开发出各种实用的设计计算方法, 形成了比较系统的工程应用软件系统。上世纪 90 年代以来针对不同的实用目的, 完成了多种目标船的概念设计, 特别是 1995 年受渤海石油公司的委托, 与汕头大洋船舶工业总公司合作, 应用我所自行开发的设计计算软件和试验研究技术, 仅花了三个月的时间, 就完成了 800t 级渤海油田交通船的方案设计。

我所坚持不懈地致力于实船应用的努力终于在上世纪 90 年代末得到了回报, 迎来了我国小水线面船发展的新时期。在 1999 年 7 月我所与汕头大洋船舶工业总公司合作, 开始研制我国第一艘小水线面双体船——海关监管船。经过不到两年的设计建造, 海关监管船于 2001 年 4 月正式交付海关投入使用。该船在 4 级至 5 级浪中, 航行平稳, 船上乘员没有不适感觉, 海关极为满意。

目前我所研发的两型采用钢质船体材料和变频调速电力推进方式的大型小水线面双体船, 即 1500t 级的水声试验船和 2500t 级的科学考察船, 已完成设计工作。前者已开始建造, 计划 2007 年建成; 后者也即将投入建造。这标志着我国小水线面双体船发展在大型化和电力推进技术等方面的重要突破, 必将导致小水线面双体船在我国更广泛的应用。

表 2 列出了我所研究设计的小水线面双体船的主要数据。图 6 和图 7 分别示出了海关监管船照片和 2500t 级科学考察船设计方案。



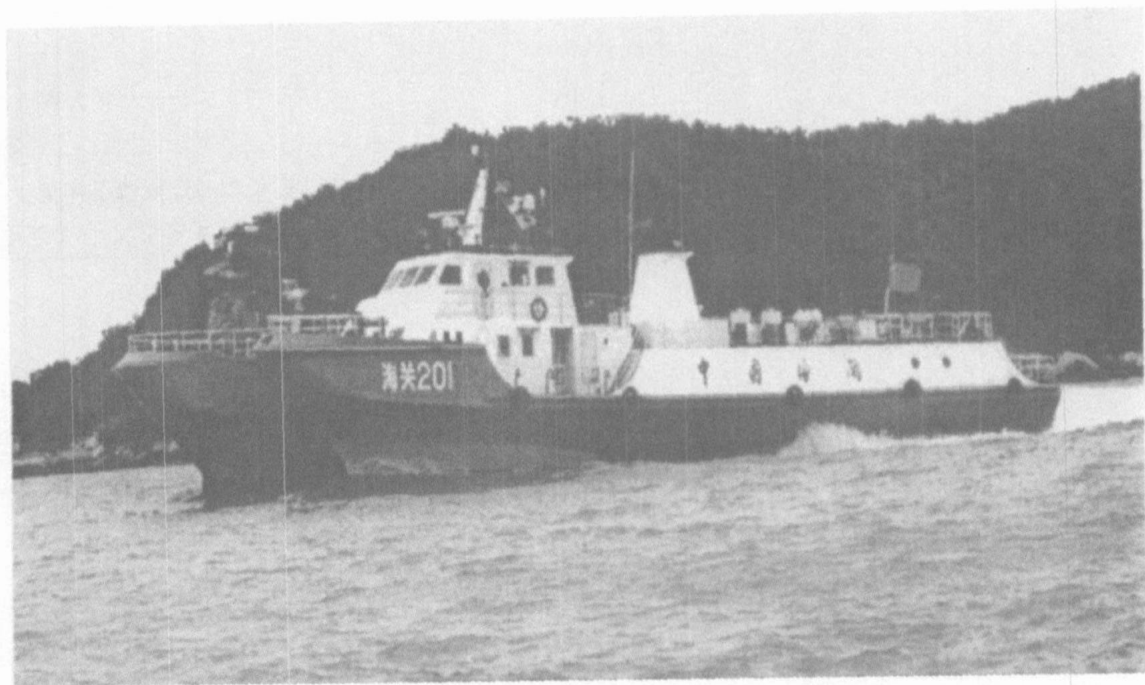


图6 我国第一艘小水线面双体船——海关监管船(2001年)

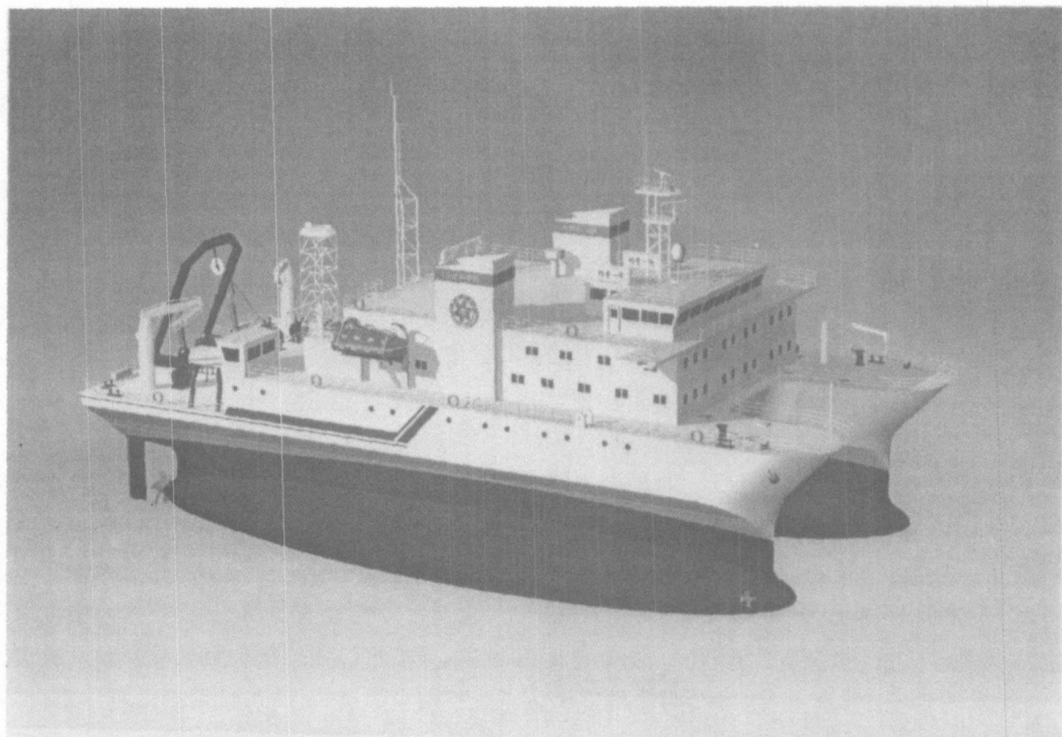


图7 我国最大的小水线面双体船——2500t级科学考察船设计方案

表 2 我所研发的小水线面双体船

船舶类型	排水量 (t)	主 尺 度			主机型号 台数 × 功率/ 转速 kW / r · min <sup>-1</sup>	推进形式	服务航速 (kn)	备 注
		船长 (m)	船宽 (m)	吃水 (m)				
海关监管船	228	34.9	13.3	2.5	MTU 8V 165T E9 2 × 1120/ 2100	斜长轴	18.0	2001 年投入运行
水声试验船	1500				TBD 620V 12 2 × 1251/ 1500	柴-电		5 级海情正常作业, 10 级风安全航行, 正在建造
新型海洋考察船	2500	60.9	26.0	6.5	CAT 3516B 2 × 1717/ 1500	柴-电	15.0	6 级海情正常作业, 11 级风安全航行, 待建造

(3) 水翼船

水翼船通常在船底的下方设置二至三个水翼, 或前后各一, 或前面二个(分居左右)、后面一个, 或前面一个、后面二个(分居左右), 或前、中、后各一个(称三水翼船)。当水翼艇高速前进时, 水翼上产生的强大的水动升力将船体抬离水面, 大大减少了水的阻力和波浪的干扰, 因而水翼船具有航速高、耐波性优良、高速航行兴波小、经济性好等特点, 是发展历史最悠久、建造数量最多的高性能船之一。

我所水翼船的研究开发工作起步较早, 始于上世纪五十年代后期, 经过四十余年的艰苦奋斗, 对其主要的关键技术已经掌握并有所创新发展, 特别是在上世纪 90 年代中几型实船的研制成功, 标志着我所水翼船研究、设计、开发技术迈入了国际先进行列。

在内河水翼船的研究、设计和应用方面, 1960 年我所首先研制成我国第一艘双水翼客船“水翼一号”, 打响了第一炮。在随后长期的试验研究中, 又取得了快速性和耐波性兼优的自稳式水翼系统设计及低峰阻船型设计两项关键技术的突破, 其学术论文获得了 1983 年国际高速艇会议的银杯奖。上世纪 80 年代中期, 我所研制成功 13t、22 客、时速 57.5km/h、铝合金的示范水翼客船“飞鱼号”。在此基础上, 1996 年为四川重庆轮渡公司研制成“歌乐山”号 80 客川江水翼客船, 并投入营运。

从 1996 年起我所与深圳远舟科技实业有限公司合作, 针对三峡库区干线高速客运需求, 以替代俄制“流星”型水翼船为目标, 掀起了开发“远舟”系列干线水翼客船的热潮。

1998 年 6 月自行设计的载客 108 人、航速 78km/h 的“远舟 1 型”首制船“远舟”号试航成功, 首开重庆至万县当日往返航线; 同年 8 月“远舟 1 型”后续船重庆“公安 202”号试航成功, 成为川江目前航速最高的水警装备。

在“远舟 1 型”开发成功的基础上, 于 1999 年又研发了第二代干线“远舟 2000”型环保高速水翼客船“远舟 2 号”, 载客 102 人, 航速 78km/h, 于 2000 年交付重庆华龙船务公司投入川江营运, 相对俄制“流星”型水翼船提速 20km/h, 油耗却降低了 2%, 成为目前川江中航速最快、最经济的第一艘环保型干线水翼客船, 创造了国产高速水翼客船品牌。

在海洋水翼船开发方面, 上世纪 70 年代我所、武汉船舶设计研究所和求新造船厂联合自主研制成功自控水翼试验艇“101”。它是国内第一艘采用割划式水翼系统、直角传动螺旋桨推进装置和纵向运动自控系统的水翼船。上世纪 80 年代起, 我所以世界上最先进的自控深浸水翼船为目标, 积极开展自控深浸式水翼船关键技术的攻关研究, 重点突破了复杂形状水翼水动力性能计算技术、喷水推进技术和运动控制技术等技术, 建立了必需的配套试验技术和设备, 如高汽蚀比转速水泵试验台和空泡水筒旁路系统、自控水翼船模试验装置、水翼—喷水推进组合系统模型试验装置、内流道风洞试验技术、水翼四分力测试技术、襟翼绞链力矩仪等, 为发展我国自控深浸式水翼实用船奠定了良好的基础。经过三年的努力研制, 在 1994 年 9 月, 由我所研究试验、武汉船舶设计研究所设计、新南公司建造的 118t、294 客位的自控深浸式水翼客船 PS30 一举试航成功, 顺利交船。其性能优于美国波音公司研制的同类船“喷翼号”, 得到各方面的高度评价, 从而我国成为世界上能够研制这种高新技术船的极少数国家之一。由于自

控深浸式水翼客船 PS30 研制的成绩突出,曾先后获部级科技进步特等奖和国家科技进步二等奖,其姐妹船“北星”和“南星”号至今仍在港澳航线正常营运。

近来我所通过全面的模型试验研究,已掌握了新型的三水翼系统和三水翼船的研发关键技术,一型用于三峡航区的拥有自主知识产权的全通透三水翼观光船正在设计之中,计划批量建造 10 艘。前不久我所又成功地应用三水翼技术对一艘常规高速双体船实施了实船改装。实船海试结果表明,该水翼/双体复合船的耐波性比改装前的常规双体船显著改善,其运行海况可提高一个浪级。

我所研制或合作研制的水翼船的数据列于表 3。图 8 和图 9 分别示出了远舟 2000 型水翼客船和 PS30 自控深浸式水翼客船的照片。



图 8 我国第二代内河干线水翼客船远舟 2000 型——远舟 2 号(2000 年)



表 3 我所研制或合作研制的水翼船

1	船 名	单 位	“水翼”一号	“101 ”	“飞鱼”号	“歌乐山”号
2	首艇建造年份		1959 年	1969 年	1988 年	1996 年
3	载客数	人	40		28	82
4	空载排水量	t			10.6	
5	满载排水量	t	25.6	13	13.0	32
6	总 长	m	24.5	11.5	15.6	22.96
7	艇体宽	m	4.6	2.6	3.7	4.8
8	总 宽	m	5.6		5.2	7.6
9	艇体吃水	m		0.74	0.48	0.67
10	外形吃水	m	1.9	2.6	1.65	2.05
11	翼航吃水	m	1.05	1.6	1.09	1.10
12	主机型号		12V180Z	轻 12-180	12V150Z	KT A19-M2
13	功率全速营运	kW	$1 \times \frac{882}{662}$	$1 \times \frac{1200}{}$	$1 \times \frac{330}{}$	$2 \times \frac{461}{}$
14	最大航速	km/h	65.7	83.9		70
15	营运航速	km/h	62.8		57.5	68
16	风浪中航速	km/h				
17	续航力	km	600		250	400
18	翼航适应浪高	m	0.6	3~4 级海情	1.2	
19	回转直径	m			300	
20	水翼类型		浅浸自稳	割划自控	混合自稳	混合自稳
21	负荷 前/后	%		68/32	51/49	52/48
22	客数×航速 营运功率	$\frac{\text{人} \cdot \text{km/h}}{\text{kW}}$	3.79		4.88	6.05

表 3( 续)

1	船 名	单 位	PS30	“远舟”号	公安“202 ”	“远舟 2”号
2	首艇建造年份		1994 年	1998 年	1998 年	2000 年
3	载客数	人	294	108	60	102
4	空载排水量	t		33.5	37	36
5	满载排水量	t	118	45	45	46.8
6	总 长	m	29.1	29	28.6	28.6
7	艇体宽	m	8.6	5.2	5.2	5.2
8	总 宽	m	9.2	7.2	8.52	8.52
9	艇体吃水	m		0.68	0.68	0.71
10	外形吃水	m	4.5	2.22	2.35	2.35
11	翼航吃水	m		1.3	1.3	1.43
12	主机型号		Allison-501KF	DDC16V- 92TADDEC	同左	DDC/M TU 12V2000M90*
13	功率全速营运	kW	$2 \times \frac{3180}{2865}$	$2 \times \frac{787}{720}$	$2 \times \frac{787}{720}$	$2 \times \frac{840}{795}$
14	最大航速	km/h	93	80	80	80
15	营运航速	km/h	80	77	77	78
16	风浪中航速	km/h				
17	续航力	km	185	730	750	700
18	翼航适应浪高	m	4 级海情	1.2	1.2	1.2
19	回转直径	m		700	700	700
20	水翼类型		全浸自控	混合自稳	混合自稳	混合自稳
21	负荷 前/后	%	30/70	50/50	50/50	51/49
22	客数×航速 营运功率	$\frac{\text{人} \cdot \text{km/h}}{\text{kW}}$	4.11	5.78	公务	5.41

## 参 考 文 献

- 1 李百齐,沈泓萃. 船舶水动力性能集成设计系统(SHIDS)的开发与应用[J]. 船舶力学, 2002, 6(1): 52-61.
- 2 叶永兴,等. 螺旋桨 CAD 软件包研究技术总结报告[R]. 无锡:中国船舶科学研究中心科技报告, 1998.
- 3 张志荣. 水面舰船综合粘性流场的实用化 CFD 研究[D]. 无锡:中国船舶科学研究中心博士学位论文, 2004.
- 4 李百齐,崔维成,朱德祥,倪其军. 中国船舶科学研究中心高性能船研发进展[R]. 无锡:中国船舶科学研究中心科技报告, 2005.

## Research Progress on Several Advanced Technologies of Ship Hydrodynamic Performance at China Ship Scientific Research Center

LI Bai-qi, ZHU De-xiang, HE Shu-long  
(China Ship Scientific Research Center, Wuxi Jiangsu 214082, China)

### Abstract

The importance of advanced technologies of ship hydrodynamic performance in design and development of ship form is expatiated upon in this paper. Thereafter, several advanced technologies of ship hydrodynamic performance developed by China Ship Scientific Research Center(CSSRC), including data base of ship form and its hydrodynamic performance, ship hydrodynamics integrated design system(SHIDS), propeller design software package, computational fluid dynamics(CFD), wing-in-ground-effect vehicle(WIG), small waterplane-area twin-hull-ship(SWATH) and hydrofoil craft, are introduced in detail.

**Key words:** ship engineering; ship hydrodynamic performance; data-base; SHIDS; Propeller design software package; CFD; WIG; SWATH; hydrofoil craft

## 作 者 简 介

李百齐 男, 1941 年生, 研究员, 博士生导师。主要从事船舶水动力学方面的研究工作。  
朱德祥 男, 1960 年生, 博士, 研究员, 博士生导师。主要从事船舶工程方面的研究工作。  
何术龙 男, 1972 年生, 博士, 高级工程师。主要从事船舶水动力学方面的研究工作。