



# 第七届全国水动力学学术会议暨 第十九届全国水动力学研讨会文集

Proceedings of the 7th National Congress  
on Hydrodynamics and 19th National  
Conference on Hydrodynamics

(上册)

朱德祥 鲁传敬 周连第 邵维文 段文洋 主编



海洋出版社

# 第七届全国水动力学学术会议暨 第十九届全国水动力学研讨会文集

(上册)

Proceedings of the 7th National Congress on Hydrodynamics  
and the 19th National Conference on Hydrodynamics

朱德祥 鲁传敬 周连第 邵维文 段文洋 主编

中国力学学会  
《水动力学研究与进展》编委会  
中国造船工程学会  
哈尔滨工程大学  
黑龙江省造船工程学会

主 办

海洋出版社

2005年·北京

## 内容简介

本书是中国力学学会、《水动力学研究与进展》编委会、中国造船工程学会、哈尔滨工程大学、黑龙江省造船工程学会联合举办的第七届全国水动力学学术会议暨第十九届全国水动力学研讨会文集,共选收论文 180 余篇,主要反映水动力学基础;计算流体力学;船舶与海洋工程水动力学;水电与河流动力学;海岸、环境与地球物理流体力学;工业流体力学;近代测试设备与技术等方面的新进展、新水平、新面貌,可供有关专业科研和教学人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

第七届全国水动力学学术会议暨第十九届全国水动力学研讨会文集/朱德祥等主编. —北京:海洋出版社, 2005. 8

ISBN 7 - 5027 - 6374 - 0

I. 第… II. 朱… III. 水动力学 - 学术会议 - 文集 IV. TV131. 2 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 076067 号

责任编辑:方菁

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

上海交大印务有限公司印刷 新华书店发行所经销

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月上海第 1 次印刷

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 88

字数: 2000 千字 印数: 1 ~ 450 册

(上下册)定价: 160.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

# 目 次

## 大会报告

- 若干高速与高性能排水式舰船船型的近期发展 ..... 黄德波 ( 1 )  
黏弹性流体周期性运动规律的探讨 ..... 牛小静 余锡平 ( 9 )  
A Numerical Tank Through Linear and Quadratic Finite Element Method .....  
..... Wu Guo-xiong Hu Z. Z. Wang C. Z. Drake K. R. ( 21 )  
水流中谐波能量交换的数值模拟 ..... 王本龙 刘桦 ( 35 )  
水流作用下网衣的水动力特性数值分析 ..... 李玉成 赵云鹏 桂福坤,等 ( 41 )  
洱海水质预测模型研究 ..... 彭文启 ( 48 )  
Accurate Computation of Second-order Low-frequency Loads .....  
..... Chen Xiao-bo Duan Wen-yang Dai Yi-shan ( 57 )

## 水动力学基础

- 水下超音速气体射流 ..... 施红辉 王柏懿 戚隆溪,等 ( 75 )  
分子间作用力对微管道流动的影响 ..... 包福兵 林建忠 ( 82 )  
非线性渗流与非线性化学波耦合问题的研究 ..... 姜元勇 徐曾和 ( 90 )  
使用 RANS 方程及动网格方法模拟圆柱体的涡激振动 ..... 潘志远 崔维成 ( 100 )  
湍流的概率密度函数模型及其检验 ..... 钱俭 ( 109 )  
泥沙云团扩散的双流体模型 ..... 吴珂 孙志林 毛根海 ( 114 )  
Bingham 流体冲击挡墙的流、固耦合计算研究 ..... 冯军 张亚军 张梦萍,等 ( 122 )  
交通流流体力学模型在道路交叉口的应用 ..... 韦艳芳 郭四玲 薛郁,等 ( 131 )  
一维元胞自动机交通流模型时空间距分布的研究 ..... 郭四玲 韦艳芳 薛郁,等 ( 140 )  
剪切力作用下血管内皮细胞分泌 ATP 的数学模型 ..... 覃开蓉 许喆 吴昊,等 ( 147 )  
二维波动板绕流场的 DLM/FD 模拟 ..... 邵雪明 刘卉 余钊圣 ( 154 )  
雷诺方程组的封闭与应用及其在紊流研究中的作用 .....  
..... 张玉清 张蕴华 张景霞,等 ( 162 )  
紊流和泥沙运动的随机理论 ..... 李元亚 ( 170 )  
基于几何独立的高阶面元法的多体水动力分析 ..... 戴愚志 余建星 ( 177 )  
Kdv Soliton in a New Continuum Model ..... Ge Hong-xie Dai Shi-qiang ( 186 )  
一类求解二维三温辐射热传导方程的保对称有限体元方法 .....  
..... 江军 舒适 黄云清,等 ( 193 )

元胞自动机模型中减速带对交通流的影响研究 .....	孟剑平 张解放 (203)
弱非线性内波在台阶直壁处反射和透射的渐近分析 .....	魏岗 苏晓冰 尤云祥,等 (209)
均匀流作用下有自由液面的陷落式腔体侧壁压力分布研究 .....	姚熊亮 戴伟 康庄,等(216)
液体在有自由液面的陷落腔内晃荡的数值计算和实验研究 .....	姚熊亮 康庄 戴伟,等 (223)
Research on Boundary Condition and its Influence on Sloshing in Flow past a Square Cavity with Free Surface .....	Salman Sadiq Yao Xiong-liang Kang Zhuang et al. (230)
均匀流场中串列双圆柱尾流速度的数值模拟 .....	姚熊亮 戴绍仕 (238)

## 计算流体力学

Application of an Exponential Type Scheme to Incompressible Navier—Stokes Equations .....	Feng Xiu-fang Tian Zhen-fu Dai Shi-qiang(247)
用 Level-Set 方法模拟气泡在水中运动的过程 .....	朱琳 田振夫 王燕 (256)
数值模拟凹槽流道内修正上随体 Maxwell 流体的流动 .....	付春权 钟会影 尹洪军 (263)
Navier-Stokes 方程组的一种四阶紧致交替方向隐式差分方法 .....	王燕 田振夫 魏剑英 (269)
圆柱绕流旋涡脱落的数值模拟 .....	洪文鹏 周云龙 刘巍 (276)
拦河闸引水口三维流场的数值模拟 .....	陈虹 余金星 (282)
垂直环空顶替界面稳定性数值模拟研究 .....	孙宝江 高永海 刘东清,等 (288)
污染物对流扩散方程的 Hopscotch 方法及几种改进格式 .....	林建国 谢志华 由晓丹 (297)
大汾北水道大桥防洪影响数值计算和研究 .....	黄智敏 何小惠 倪培桐 (307)
基于 Auto CAD VBA 和 MATLAB 的河流数值模拟前后处理方法研究与应用 .....	廖小龙 严军 孙东坡,等 (315)
重力沉降分离的数值模拟 .....	龚道童 吴应湘 郑之初,等 (322)
暖通空调领域 CFD 的湍流模型应用分析 .....	李锐 员东照 (331)
浅水型海湾排污扩散器初始稀释度的数值模拟 .....	卢士强 林卫青 矫吉珍 (338)
基于斜对角笛卡尔方法的分蓄洪区水流数学模型研究 .....	穆锦斌 张小峰 张艳霞,等 (346)
基于无结构网格的二维浅水间断流动数值模拟 .....	泮存鸿 戴世强 (356)
摄动有限元法在潜水动态模拟中的应用 .....	陈家军 李森(364)
Numerical Prediction of 3-D Unsteady Turbulent Flow and Pressure Fluctuation within Francis Turbines for LES .....	Liu Xiao-bing Zeng Yong-zhong Wang Tao, etc. (375)

## 水动力学试验与测试技术

- 气液两相流不稳定特性的实验研究 ..... 程文 村井一 木俊男,等 (388)
- 新液固分离系统实验进展 ..... 郭军 张军 郑之初,等 (398)
- Experimental Study on Relative Eddy by PIV System .....  
..... Yin Jing Zhao Qin Deng Wan-quan (405)
- 正态模型泡漩水相似性探讨 ..... 彭凯 张秀芳 尹崇清 (412)
- 各种间隙比下水平圆柱绕流旋涡特性的实验研究 ..... 齐鄂荣 李炜 李国亚,等 (417)
- 龙潭水电站枢纽试验研究 ..... 陈灿辉 罗岸 钟伟强,等 (426)
- 挑流与宽尾墩联合消能的试验研究 ..... 朱超 宋莉莹 李远发,等 (431)
- 循环流化床过渡区固粒速度分布 PIV 测试 ..... 石惠娴 (438)
- 基于 PIV 测试系统的叉管交汇处湍流研究 ..... 邓万权 刘小兵 王靖,等 (444)
- 输水工程中压力管道出口水流消能方法的试验研究 ..... 卢绮玲 陈刚 (450)
- 复合式油气水分离器研究进展之二——分离器样机试验 .....  
..... 郑之初 张军 郭军,等 (458)
- 波浪对承台冲击作用的试验研究 ..... 兰雅梅 刘桦 (468)
- 窄缝裂隙水流雷诺数的实验研究 ..... 刘咏 钱家忠 赵卫东 (475)
- 圆孔和条形孔泄压减阻特性的探讨 ..... 杜广生 刘立宁 刘正刚,等 (481)

## 工业流体力学

- 复合管道内浆体水击压强计算与分析 ..... 周云龙 杨志行 洪文鹏,等 (489)
- 液气混抽改善高气油比井抽汲效率的机理研究 ..... 罗洪斌 李根生 牛继磊 (496)
- 耳蜗中基底膜振动的研究 ..... 陶明德 吴云岗 张天宇,等 (503)
- 管道泄漏水力瞬变模拟 ..... 李均峰 邓松圣 聂平,等 (507)
- 管道堵塞检测水力瞬变理论与数值模拟 ..... 邱正阳 李均峰 邓松圣,等 (514)
- 管道堵塞检测水力瞬变实验研究 ..... 李均峰 邱正阳 邓松圣,等 (519)
- 在轴向应力应变下海底沉积物声速及其响应 ..... 卢博 李赶先 黄韶健 (524)
- 微重时带隔板球腔横向振动时其内液体的晃动特性 ..... 程绪铎 (535)
- 低渗透多孔介质一维水驱油特征 ..... 宋付权 许友生 (543)
- 液滴在重力场和温度梯度场中的液体里所受到的力 ..... 孙仁 沈海东 (551)
- 压裂水平井压力动态分析 ..... 付春权 刘宇 尹洪军 (558)
- 深海洋集矿机·输送软管多体系统计算机仿真的动力学分析 .....  
..... 何永森 高宇清 刘邵英 (564)
- 水力脉冲诱发振动钻井研究 ..... 马清明 王瑞和 (571)

流体在内管做轴向往复运动的偏心环空中非定常流的流量分布 .....	崔海清 郭军辉 郑晓松,等 (576)
斜流水轮机转轮准三维设计方法研究 .....	张礼达 陈冬冬 代应,等 (583)
螺旋管道内幕律流体流动压力梯度的计算 .....	王克亮 崔海清 吴辅兵,等 (595)
水平圆管油水两相变质量分层流压降计算研究 .....	魏建光 汪志明 王小秋,等 (603)
高压射流作用下的岩石渗流压力分析 .....	龙芝辉 汪志明 魏建光,等 (611)
高水头大流量竖井式泄洪洞的脉动压力试验研究 .....	罗立群 顾志刚 孟北方 (617)
基于多 Agent 理论的电厂机组负荷分配系统 .....	赵廷红 吴疆 满自斌,等 (623)
黏弹流体偏心环空流动的数值计算 .....	杨树人 王春生 崔海清,等 (630)
Research and Design of Multi-balls Check Valve .....	Wang Jing Liu Xiao-bing Fu Jie, etc. (637)
考虑启动压力梯度变化和表面活性剂驱油数值模拟研究 .....	殷代印 高潘青 (643)
不等温输油管道故障诊断中的水力参数法研究 .....	董莉莉 孙会 崔莉 (652)
吸气旋涡的研究与展望 .....	李海峰 陈红勋 马峥,等 (660)
轴流泵内部流动特性的数值研究 .....	马峥 朱兵 陈红勋 (672)
虹吸管出水断流装置的流体力学相似分析及其试验验证 .....	李百齐 (681)
三维非轴对称局部狭窄动脉内非牛顿血液脉动流的动态数值模拟 .....	杜健航 包芸 (686)
Experimental Study on Relative Eddy by PIV System .....	Yin Jing Zhao Qin Deng Wan—quan, et al. (694)
利用机械和水力能量提高深井钻井速度 .....	张召平 李根生 牛继磊,等 (700)
水力过渡过程数字仿真中水轮机特性曲线的数值处理 .....	雷恒 余波 张礼达,等 (707)

## 船舶与海洋工程水动力学

小水线面双体船自控模型的试验研究 .....	朱炳泉 睦爱国 魏纳新,等 (713)
11.5 万吨级油船线型优化试验研究 .....	周占群 胡平 杨波,等 (722)
MCAD 数控网络制造系统动力学研究 .....	周跃华 黄剑斌 李田田,等 (730)
高速登陆运输船内蜗尾船型阻力试验研究 .....	林钧 殷铁成 石仲堃 (739)
三峡水利枢纽双线连续五级船闸模型试验控制及数据采集系统的应用 .....	董红燕 郭红民 杨伟 (744)
不同阻尼模型下船舶非线性大幅横摇近似解析解研究 .....	胡开业 丁勇 杨博 (751)
减摇鳍绕轴摆动时的水动力试验研究 .....	张洪雨 汤振明 (762)
吊舱推进器水动力性能研究 .....	胡健 黄胜 苏玉氏 (769)
高速船兴波阻力计算 .....	高高 (776)
高速排水型船舶水弹性力学分析 .....	马山 段文洋 宋竞正 (784)
高耐波性单体复合船型的水动力数值模拟 .....	李积德 程红霞 田明琦,等 (792)

Numerical Simulation of Water Wave by using Non-reflective Wave Maker .....	Zeng Yi-fei Zhu Ji-mao (799)
基于 NURBS 高阶面元法的有航速辐射问题数值解 .....	王化明 邹早建 (807)
驳船零航速下波浪中的运动响应计算对比 .....	盛庆武 朱德祥 缪泉明,等 (815)
全方向推进器水动力性能的面元预报方法 .....	常欣 黄胜 贡毅敏 (822)
黏性流场中二维摆动水翼的水动力分析 .....	杨亮 苏玉民 秦再白 (830)
动力外荷载作用下浮式板瞬态水弹性分析 .....	邱流潮 刘桦 (839)
三体船黏流数值模拟 .....	李云波 冯国秦 (846)
单点系泊系统的 Liapunov-Schmidt 约化与奇异性分析 .....	杜度 张旭 马骋,等 (852)
波浪对承台冲击作用的试验研究 .....	兰雅梅 刘桦 (862)
两层流体中垂直圆柱浮体的波浪力 .....	尤云祥 石强 魏岗,等 (869)
小间隙对多浮体系统水动力性能的影响 .....	朱仁传 缪国平 尤云祥,等 (878)
动力定位船舶二阶低频慢漂力模型试验研究 .....	王磊 王先福 杨建民 (886)
一种计算长方浮体在流中阻力的方法 .....	王经博 王磊 (894)
基于桨—舵—舵球干扰分析的螺旋桨水动力性能改进研究 .....	马骋 钱正芳 王文初,等 (900)
水面舰船尾流的气泡分布对其电导率的影响 .....	朱江江 陈伯义 (911)

## 海岸、环境与地球物理流体力学

汽车排放污染物的迁移扩散特征 .....	王嘉松 黄震 (920)
The Element-free Method and Its Application in Tidal Current and Sediment Transportation .....	Chen Hong (929)
A New Approach on Simulating Two Dimensional Shallow-water Flow with Uneven Bottom .....	Dong Li-Yun Lu Wei-zhen Andrew YT Leung (936)
利用 Hilbert-Huang 变换的随机波浪的最优滤波 .....	乐嘉春 (945)
波浪斜向入射对斜坡作用的研究 .....	徐绩青 杨斌 杨成渝,等 (952)
海岸河口“五场”数学模型研究及其应用 .....	李孟国 蒋厚武 吴以喜 (960)
南海海流对风场响应的数值研究 .....	黄克 付强 张铭 (969)
墩基局部冲刷中潮流与单向水流的试验比较 .....	卢中一 高正荣 黄建维,等 (974)
淹没丁坝坝后护坦动水压力试验研究 .....	朱衍美 彭凯 (982)
上海洋山深水港区海域的泥沙环境特征 .....	吴明阳 冯玉林 (988)
不规则波作用下近岸区直墙波浪力的模拟 .....	王登婷 沈英 (996)
层化海中非线性绕射波对含孔结构的作用 .....	黄华 詹杰民 (1004)
航道整治建筑物安全稳定性的灰关联评定 .....	傅华 王渺林 王平义 (1011)
潮流河道上建码头对防洪影响的有限元算法 .....	吴祥华 陈风玉 (1017)
圆弧型贯底式多孔介质防波堤波浪绕射的解析研究 .....	程建生 缪国平 王景全,等 (1024)



球面正压大气扰动传播的谱元方法数值模拟 .....	刘喜迎 (1037)
含淹没植物的河流垂向紊动结构 .....	李艳红 (1045)
海洋内波与海底地形相互作用的几个算例 .....	张庆华 马建 曲媛媛 (1050)
海湾围涂和堵港对海床淤积的影响 .....	伍冬领 谢亚力 唐子文 (1057)
吐噶喇海峡温、盐、流变化分析 .....	马超 吴德星 林霄沛 (1066)
二维对流扩散方程的高精度紧致隐格式及其多重网格算法 .....	
.....	葛永斌 田振夫 冯秀芳 (1073)
琼州海峡对北部湾潮汐和潮余流的影响 .....	俎婷婷 郭心顺 鲍献文,等 (1082)
渤海环流季节变化的数值研究 .....	林霄沛 吴德星 鲍献文,等 (1089)
复合索链锚泊线的静特性分析 .....	王冬姣 余国稳 (1096)
基于 Monte-Carlo 法的含水层渗透系数的随机性模拟 .....	李成柱 周志芳 (1103)
江浙来水对黄浦江水质影响研究 .....	尹海龙 徐祖信 (1110)
黄浦江水环境模拟计算边界条件影响分析 .....	徐祖信 尹海龙 (1117)
杭州湾大桥对水环境的影响 .....	熊绍隆 曾剑 韩海骞 (1127)
杭州市新水源水质论证研究 .....	张舒羽 程杭平 (1137)
定常流中立桩基础近似平衡冲坑的数值模拟 .....	陈兵 姜萌 刘亚坤 (1145)
水域分层时电厂取水问题分析 .....	程友良 应博芬 范忠瑶,等 (1152)
大庆市西部地区地下水资源多目标动态规划管理模型 .....	王红旗 舒艳 (1157)

## 水利水电和河流动力学

论河流动床泥沙模型相似性问题 .....	王学功 葛国兴 吴其保 (1168)
长江河口地区地下水运移规律探讨 .....	陈静 周志芳 贾锁宝 (1176)
黄河下游河势及洪水遥感监测技术 .....	王震宇 孙振谦 (1184)
荆山湖行洪区进洪闸消能防冲与控制运用试验研究 .....	葛国兴 王久晟 (1190)
淮河干流方临河段河工模型设计 .....	杨兴菊 (1195)
黄河下游窄河段挖河减淤综述 .....	侯志军 伊晓燕 李岩 (1199)
黄河山东济南堰工程动床模型试验研究 .....	陈书奎 张俊华 马怀宝,等 (1205)
京沪高速铁路王家庄桥位排冰模型试验 .....	马怀宝 张俊华 陈书奎 (1212)
西江河道某段砂源勘察成果分析 .....	谢新明 刘超常 (1219)
游荡性河道新的整治方法研究 .....	武彩萍 陈俊杰 郭慧敏,等 (1225)
太湖典型入湖河道生态修复工程对水流流速的影响研究 .....	
.....	田伟君 王超 翟金波,等 (1230)
珠江网河广州区域二维水动力计算 .....	包芸 马岳雄 姚冬静 (1237)
黄河河口的出汉摆动与稳定性 .....	王开荣 茹玉英 (1244)
坡沟系统坡面流能量变化过程与特征 .....	李勉 姚文艺 陈江南,等 (1250)
潮汐河口盐度紊动扩散系数探讨——以长江口盐度数学模型为例 .....	
.....	罗小峰 辛文杰 陈志昌 (1258)

汕尾发电厂循环水泵房前池及流道优化研究 .....	邱静 杜涓 黄本胜,等	(1264)
荷树园电厂取水口引水防沙工程措施研究 .....	黄本胜 邱静 杜涓,等	(1272)
水厂扩建工程取水规模的合理确定 .....	杜涓 黄本胜 邱静	(1280)
涉水建筑物局部阻力简化计算研究 .....	郑国栋 黄本胜 赖冠文,等	(1290)
佛山中油高富码头工程行洪影响评价 .....	黄东 张政 赖冠文,等	(1297)
潼关高程出现历史新高成因 .....	侯素珍 王平 楚卫斌	(1305)
黄河下游泥沙冲淤数学模型在小浪底水库调水调沙方案计算中的运用 .....		
.....	韩巧兰 杨明 王艳平,等	(1312)
小浪底水库初期运用效果分析 .....	茹玉英 尚红霞 韩巧兰	(1318)
潮汐河网地区一维、二维水流、盐度耦合模型研究 .....		
.....	杨莉玲 徐峰俊 王运洪,等	(1323)
西霞院工程泄水坝段上游左导墙冲刷与防护试验研究 .....		
.....	勾兆莉 宋莉莹 郭慧敏,等	(1331)
浅析某工程引水闸的有关水力学问题 .....	宋莉莹 勾兆莉 夏传星,等	(1339)
黄河东明滩区防滚河及其治理措施分析 .....	顾志刚 吴国英 董年虎,等	(1346)
伊洛河至京广铁桥河段修建大型河道缩窄工程洪水期河势和河床及河床变形试验研究 .....		
.....	吴国英 顾志刚 董年虎,等	(1352)
黄河下游河道九年设计水沙系列水位变化试验研究 .....		
.....	赵新建 董年虎 夏修杰	(1357)
黄河河口段河道冲淤特性浅析 .....	夏修杰 赵新建	(1362)
小浪底水库对黄河下游水沙的调控作用 .....	尚红霞 苏运启 李勇	(1368)
黄河首次调水调沙试验下游河道沙量平衡法冲淤计算分析 .....		
.....	汪大鹏 李小平 汪峰	(1375)
黄河下游河道未来 15 年冲淤变化试验研究 .....	董年虎 高际平 夏修杰,等	(1381)
设计引水有利年小北干流放淤实体模型试验研究 .....		
.....	陈孝田 罗立群 赵新建,等	(1388)
长江中下游大型河网水沙数模的建立与验证 .....	官平 黄煜龄 万建蓉	(1394)

# 若干高速与高性能排水式舰船 船型的近期发展

黄德波

(哈尔滨工程大学 船舶工程学院, 哈尔滨 150001)

**摘要** 21世纪已被认为是海洋的世纪,这已成为共识。海洋考察、海洋资源开发利用、海运、海防等都亟待舰船的高速与高性能化,各先进造船国家积极开展对高速新船型的研究;传统常规船型在航速与其它航行性能上已难有突破性的改善,非常规化船型开发是突破船舶航速限制的重要途径。本文对近年来部分高速高性能排水式舰船船型特别是三体船的发展作简要介绍。

**关键词** 高速化,排水式船型,高性能,三体船,SWATH

## 1 前言

自船舶出现,提高航速始终是人们追求的一个重要的目标。21世纪已被认为是海洋的世纪,海洋考察、开发利用、海运、海防等都需要高速与高性能舰船,各先进国家近年非常关注,并进行了大量研发工作,新概念船型和方法应运而生。本文旨在对近期船舶高速化趋势和排水式船型的若干发展作简要介绍。

## 2 高速与高性能排水式舰船的某些发展趋势

### 2.1 关于高航速

70年代以来,为船舶降阻、节能进行船型优化和采用各种节能措施的研究不断深入。随着船舶水动力学,船舶阻力理论,船舶建造技术和计算技术的快速发展,以及许多有关技术方法和软件的开发利用,船舶设计技术有了革命化的进步,已经达到很好的水平。对于常规排水式船型,就船形而言,目前,设计经过优化的船型的速度性能已达到“接近完美”的地步;在此基础上,节能2-3%左右的收效就可以认为是相当突出的成绩,造船专家们有时为了提高0.1节而竭尽全力;传统型船舶的其它水动力学性能可改进的余地也不大。按照水动力学原理,船舶的最大航速很大程度上受到速长比的限制;而由于船舶有效载荷、稳性等其它性能与使命要求所限,设计师不能随意为提速而加大速长比;而且这样做时还要避免使湿表面积过度增大而抵消兴波阻力的减小,反而增加总阻力。在高航速段,

小量的航速增加，也会使所需功率付出巨大的代价；即便其它条件允许，经济上仍然是不可接受的。因此，传统船型的经济航速一般（不得不）控制在二、三十节以下；而且人们认为，从实际考虑，所述航速已经可以满足要求了。进入 21 世纪，情形与以前有了很大变化。事实上，90 年代末期，各先进国家已预见到新世纪中提高舰船航速的紧迫性和可能性。

就民用船舶而言，由于经济全球化的迅速发展，大量货物需要高速跨洋运达目的地，高速航运服务将大大增加市场的总体规模，海运高速化将成为竞争的重点，在民用方面当前主要是集装箱船和客货轮渡船。更为繁忙的世界贸易需要更快更好的船舶，达到 40-50 节或更高航速成为主要的目标。例如美国，在国民经济中运输业的一个重要的发展趋势是向高值、低密度货物运输转移，沿海高速航运在一定条件下比载货卡车运输有更好的竞争力。美国 CCDoTT（交通运输技术商业研发中心）在近年的报告中指出：美国沿海航运业正在为与陆路运输业作竞争做准备。在城间或各州间将采用高速新船型作为运输工具，具体把超高速三体船型视作解决方案。对于渡海航运，则需要 50 节左右的高速快运船型。

在军用舰船方面，曾有较长一段时期，认为舰载武备、导弹和电子设备性能的发展，军船的高速化不是紧迫、必要的目标。随着国际形势的迅速变化，各国重视舰船、包括军辅船、海上支援船等的高速化。起先美国军方部分人对此不以为然，近几年发展思路则有较大改变，高速化成为一个主要目标；要取消一些大型舰船，建造 21 世纪的新型舰艇，包括大批具有对陆攻击能力的濒海战舰 LCS (LITTORAL COMBATANT SHIPS)，以实施对事发地区迅速干预和对恐怖活动的防范和打击。该类舰艇需是高速机动的、有深、浅海域作战能力和打击成群高速舰船攻击的能力，航速要达到 50 节上下。

既然是海上高速军民舰船，也就必须是在较高海况中具有良好耐波性和其它性能的船型，而且从成本、营运费用、使命要求和寿命等方面考虑，大量需要的通常是排水式船型。各国的许多大学和研究机构经多年深入研究表明：用常规船型无法达到上述要求；开发非常规化船型是突破以往船舶航速限制的重要途径。

## 2. 2 新型高速高性能排水式单体船型

新船型中主要采用气垫技术、小水线面技术、多体技术、滑行与半滑行技术、水翼技术以及它们的组合。例如，日本运输省在 90 年代末期制订了高超技术航班船规划

(TECHNO-SUPER LINER PROJECT)，动员了日本造船公司、大学等联合攻关，研发 21 世纪高速与超高速船型各方案，目的是航速 50 节、有效载荷为 1000 吨的海运船型。研究中分别对气垫类、水翼类和排水式船型进行高速与超高速化。多个欧洲国家联合制订了欧洲快运规划 (EURO EXPRESS PROJECT)，合作开发高速渡轮和集装箱船型；例如芬兰的 40-60 节的 (单体) RORO-225。德国有 SUS 规划，研究包括排水式船、侧壁气垫船 SES、水翼船、气垫船 ACV 等。以上除了其它性能之外，重点是高航速。许多研究比较结果认为，由于 SES、ACV、水翼船、WPC 等船体需要用铝合金等轻质材料，且限于低海情中或遮蔽水域航行，故对于海洋军民舰船，多数情形下倾向于排水式船型，研究结果的大多数属于此类，如日、德等国的 V 型与半潜体船结合船型、卵形船；美国 MIT 研究的半排水 (半滑行) 船 FASTSHIP ATLANTICS (860 英尺长、40 节航速)，用于北美与欧洲大陆间高速集装箱海运。

### 2.3 小水线面船型

小水线面双体船 (SWATH) 是具有优异耐波性和低兴波的特殊排水式船型, 500-600 吨的 SWATH 的耐波性远远优于 3000 吨以上的单体船; 它还有其它许多优良特性, 如甲板面宽大, 稳性好等等。全世界目前有 60 余艘 SWATH, 半数在美国, 他们多被用于侦察、海洋考察、救援、海底铺缆、游览等军民使命运作, 多数情形无需高速, 但近年逐步开发 30-45 节的高速 SWATH, 还向大型化发展, 甚至设计了 SWATH 航母; 美、日、意、荷等国积极开发; 如美国的 2293-5456 吨的 T-AGOS 军用序列, 用于海洋侦测、救援等作业, 芬兰的 11500 吨豪华游轮 RADISON DIAMOND, 日本的海洋考察船琴崎号等等, 中国也设计建造了海关用 SWATH。

SWATH 除了具有极佳的耐波性, 其兴波阻力很小, 但是由于其湿表面积较大, 故难以达到高速, 此外, SWATH 因小水线面支柱的恢复力矩小, 是其一利, 也成其一弊: 对波浪的响应小, 但产生纵倾或摇摆时恢复力矩也小; 通常还需要用驾控系统抑制其纵、横摇运动, 吃水交通排水量单体船型。

斜支柱 SWATH 比常规垂直支柱 SWATH 具有许多优越性能, 美国 80 年代中期研制了斜支柱隐身 SWATH 海影号 (SEA SHADOW)。该船 59 公尺长, 560 吨, 主要运行于 4 级海情, 生存于五级海情; 其 A 字形构型使其不仅有良好隐身性, 而且大大增加其纵向和横向阻尼, 使之具有良好的水动力学性能, 该 560 吨小艇的耐波性相当于 4-5 千吨的常规 H 型 SWATH, 其支柱的拱度有利于减小阻力、升沉和纵倾。近年美国重新活化对斜支柱 SWATH 的研究。但正是由于产生隐身等优点的 A 形构型使其失去 H 形 SWATH 甲板较大的优点。

一般 SWATH 的湿面积较同排水量的单体船的大, 为减小湿面积和充分利用 SWATH 的其它优越性能, 美国 ROCKHEED 公司设计建造了四体高速小水线面双体船 SLICE, 其航速可达到 35-40 节。许多其它研究还注重小水线面单体或多体船、半小水线面或复合型 SWATH: 与水翼、气垫等新概念结合开发新的杂交船型。

### 2.4 三体与多体船型

按照水动力学原理, 对于同等排水量, 船体越细长, 其兴波阻力愈小, 但是此时稳性和强度等会变坏: 常规单体船型由于宽长比与稳性等要求之间的冲突使其无法较大程度提高航速, 三体船型采用细长的中体和分置其两侧的侧体解决单体船型无法调和的冲突, 扬长避短, 并且利用三体各体的船形优化和三体布局 (构型) 优化减阻, 成为突破阻力屏障的一种有效、实用的途径。

三体船概念有较长历史, 其原型可回溯到早期波列尼西亚岛民的加侧附体的独木舟, 60 年代开展了理论计算及试验研究。各国的研究与试验表明三体船型具有比常规高速单体船和许多其它高性能新船型优越的多种特点, 如

(1) 因三体的细长形状和合理构型的效应, 产生良好的快速性性能;

(2) 三体布置可改善推进器处来流, 便于安装多推进器, 且可考虑使用喷水推进或吊舱推进方式, 提高推进效率;

(3) 有良好耐波性和稳性, 并提供较大甲板面积, 对中小型三体船也可形成稳定、低电子干扰的运载及直升机平台;

- (4) 因兴波较小，使尾迹改善，且可将废气排入三体间，故有隐身效果；
- (5) 侧体成为对船体关键部位的防护，即便损伤，主体亦可生存。
- (6) 因适于模块化建造，故适于多种军民舰船。

美国 80 年始开展小水线面三体船研究，证实了三体型的速度-功率和性能比同排水量的双体 SWATH 有本质的改善。

因此，詹氏年鉴报道，三体船被称为是“自 140 年前钢制船舶问世以来战舰设计的最重大进展”。它在军民舰船中受到高度重视，并开始付诸应用。日本将高速三体船定为 21 世纪重点发展的高速船型；德国，法国，意大利等也在西欧联合加速对三体高速排水船型的研制。还有多个用于渡轮，游船，海岸巡逻艇和渔船等方面的实船应用，相关研究证实该船型的优异性能和良好的效费比。近年英、美、德、法、俄、日、芬、新西兰、澳等国也积极研究、设计各种三体船，有些已在实用中证明其优良性能。英国伦敦大学的研究者向英海军提出反潜护卫舰、近海巡逻艇、小型航母、防空驱逐舰、轻型护卫舰五种三体舰船方案，英海军将三体船作为未来战舰的首选船型，目的是作为新世纪的驱逐舰或护卫舰型，取代现役护卫舰，该舰的甲板面积比单体舰型大 40%，可载更多直升机和武备系统。研究的背景项目是  $160 \times 11.1 \times 5.87(\text{m})$  的、约 6000 吨排水量的三体舰 (Future Escort)。英国海军管理局认为“应考虑三体船作为下一代驱逐舰舰型”；将建造 2400—3000 吨的、航速大于 40 节的护卫舰。研究部门还设想了包括三体航母等的三体舰队。美国海军拟建新世纪的主战舰只 (DDX 规划)，特别重视近海、浅水对陆攻击性能，拟在任何时间和地区直接或间接由海上支持对陆地攻击，确立对海优势。在舰型上，三体船也作为主要选型方案，因此美国密切注视英国三体演示舰海神号的海试结果，并与英国国防部合作；美国为联合海试提供了资金和全电系统的测试设备。2001 年完成首期试验之后，美国国防部在美国西海岸对该船进行了半年的海试研究。据报道，海试获得非常令人鼓舞的结果，它还成为对各种武备、电子设备和全电推进系统等进行试验的平台。此外，美国海军、海岸警备队、海军学院等正积极进行三体舰的开发研究，已设计出火力强大的、隐身、大型对陆攻击三体舰。英美两国的军方研究机构报道了对 50 个单体、双体、三体 and 侧壁气垫船型高速海上支援船方案比较的研究，目标是 40-70 节，航程 800-10,000 海里，有效载荷为 500-13,000 吨。研究结论认为单体型对大型货物、较慢速使命条件下有优点；而三体型在高速、远海、长程支援方面有优势，在后一种工况下单体型还在稳性方面有限制。美海军水面舰船研发中心 (NSWC) 配合全球作战和海基计划研究、试验，以“提供对此高性能未来船型的深入技术”，提出 323 米长、27,000 吨、55 节航速的海上支援船。2003.12，美国 BATH IRON WORKS (BIW) 公司为海军设计了航速 50 节、400 英尺长的三体舰。美国的 21 世纪濒海战舰计划 (LCS) 研制前瞻性的战船，考虑使用三体船型，航速超过 50 节，要成为未来的全能战舰，可独立或配合作战，其研发团队包括多个重要的公司与研究单位；该三体舰型设计提供了在所有海况下维持独立运作的续航力和可靠性时的杰出的效率与性能，并能提供较高的灵活度与适用性，以满足不断演变的军事需求。AUSTEL 公司结合多年的研究和高速双体船型等其它新船型建造经验，制造的首艘三体船 AUTO EXPRESS 126 于 2005 年年初下水，是世界上最大的高速三体渡轮，船长 126 公尺。声言“开创了高速海运的新时代”，并称它是“一个真正的突破”，在耐波性方面提供了“比该

公司研制的其它现存高速渡轮大大提高的舒适度”；认为三体型可以克服双体船型在汹涌海浪中的局限性；是“未来许多年高速船型需求的解决方案，而且能很好地建立新一代大型高速渡轮的标准”；“三体船并不比双体船难建造”。

Kvaerner Masa Marine 公司向 CCDoTT 提交的超高速三体船技术研发报告中提出若干高速三体船设计，包括排水量 5500 吨、在 5 级海情中航速为 42 节的近海快运船，36000 吨、8 级海情中航速为 35-50 节的跨海超级快运船等。

还有许多研究动态表明，军民用舰船均重视对三体船型的开发研制；五体船型也成为热点之一，例如英国 Dudson, 和 Gee (2001) 研究了 40 节的五体集装箱船，包括耐波性和性能优化等研究、试验，表明在 6 级高海情中该船型平均只降低 2.7 节。

### 3 哈尔滨工程大学的部分有关研究

国内若干大学和研究所自 70 年代开始致力于常规单体船型的阻力计算和船型优化等研究，如哈尔滨工程大学，702 研究所、701 研究所、上海交通大学、大连理工大学、海军工程大学和华中理工大学等，有的还涉及 SWATH、三体和五体等船型研究。

哈尔滨工程大学对 SWATH 和三体船型等的性能和阻力计算和船型优化进行了多年的研究。斜支柱 SWATH 比常规垂直支柱 SWATH 具有许多优越性能，我们在以往常规 H 形 SWATH 研究的基础上，对斜支柱 SWATH 的阻力、耐波性性能等从理论计算和船模试验方面进行了研究，证实了该船型具有良好的水动力学性能。

自“九五”以来我们进行了三体高速船船型的性能研究，优化出船型，又用遗传算法和枚举法对三体船中体于与侧体的尺度与相对位置进行构型优化。研究表明构型与各体的配合对船型阻力性能有重要影响。低速时相对位置对阻力影响很敏感，但其产生的差异量值不大；高速情形侧体宜置于靠近艏侧或艉侧，从实用上考虑，靠近艉部较好，但阻力并非船舶设计的唯一考虑因素，在提高航速的同时需按使用目的和兼顾其它性能确定方案。然而，中体细长、侧体占较小排水量比重的三体船型，只要经过良好的船型优化，中、高速时可以获得比同排水量的单体船型 10-20% 的有效马力降低。我们对三体耐波性能的理论计算预报也进行了深入的研究，开发了有效的算法；通过船模试验也验证了上述计算预报的结果，详细内容将另文介绍。

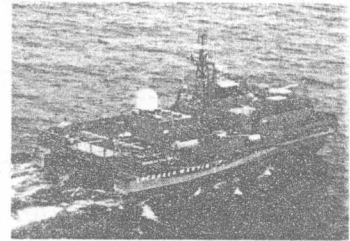
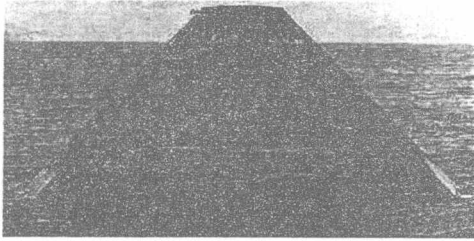
### 4 结语

新世纪对船舶高速、高性能的需求要求我们对有良好前景的非常规船型进行深入细致的研究、开发。此类新概念船型在诸多方面独特于常规船型，其设计通常无成熟的经验可遵循，无图谱可利用；其开发研究更大程度上依赖于船舶水动力学和其它相关的设计、船型优化技术。近代所有高新性能船型研制无不经过优化，这要基于某种较可靠的水动力学理论和有效的数学优化方法；在应用于实际之前必须进行可靠的验证。

新、高性能船型除了水动力学性能方面，还有结构、推进、稳性等新的问题需要解决。它们既提出了挑战性的难点，也给出了在其它许多方面革新的机遇，需要人们用脱离常规

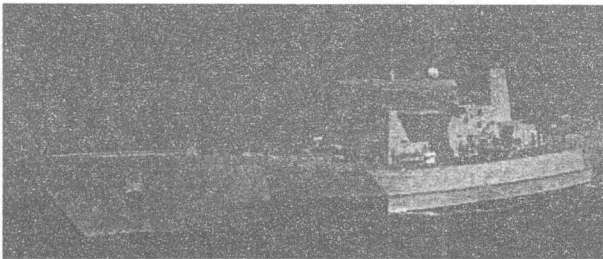


同样海况下，370 t(65 m) 单体海岸警备巡逻艇与 125 吨（25 米）小水线面船对比试验。



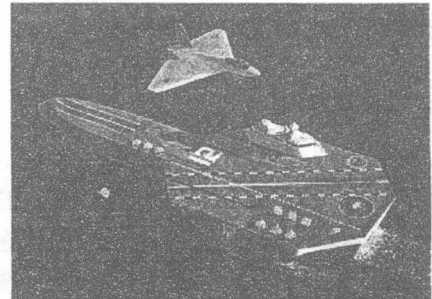
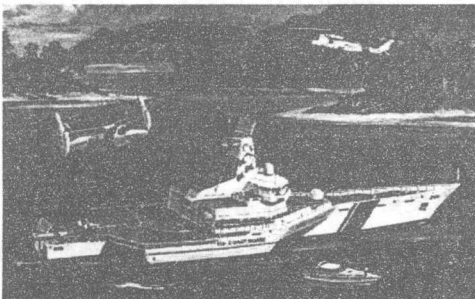
美国海军斜支柱隐身 SWATH

SLICE, 4 体 SWATH, 1,200 t, 30-45 kn,  
6-7 海情  
range 4,000nm Rockheed Martin Co.



英国三体演示舰海神号在海试中

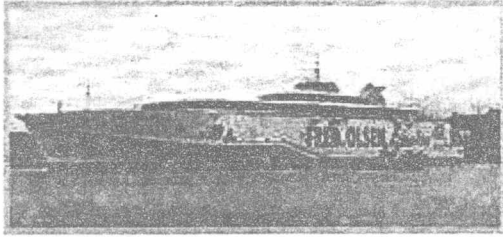
三体舰队设想



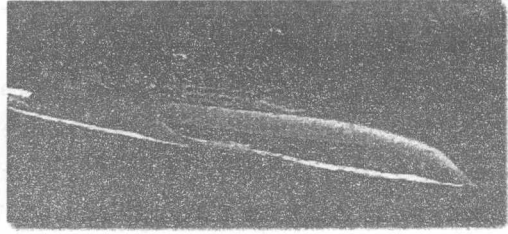
美国濒海舰设想

美国三体航母设想





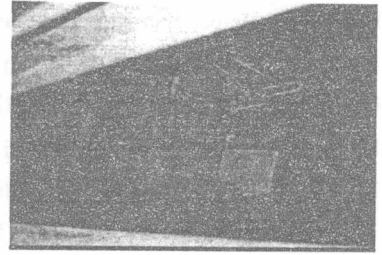
AUSTEL 新近建造的三体渡轮



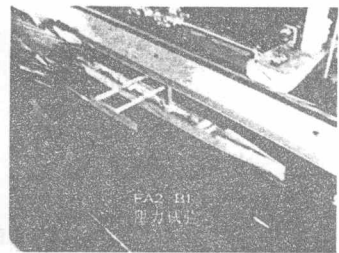
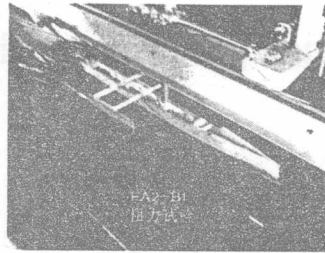
美国的高速海上供援船方案



法国研发的“海上协和”渡轮 BGV, 最高时速 75 英里



哈尔滨工程大学斜支柱 SWATH 研究之一



哈尔滨工程大学部分高速三体船型研究

的革新思维、综合最新发展的先进技术去寻求解决方案，以适应军民用舰船高速化趋势。

我国是海洋大国，加强国防、开发海洋能源、保护资源，提高制造先进船舶的能力是对我国生存攸关的紧迫要务；因此，高速、高性能舰船的研制更是迫在眉睫。使一种革新性新型船舶为用户所接受并非易事，需要艰苦的努力和许多适合的条件，要用科学的态度对待研制开发中的难点和风险；无疑，趋势本身也会起重要作用。

## 参 考 文 献

- 1 Ackers B. et al. An Investigation of the Resistance Characteristics of Powered Trimaran Side-Hull Configurations. SNAME Trans. 1997,105: 349.
- 2 Narita S. Some Research on the Wave Resistance of a Trimaran. International Seminar on Wave Resistance. 1976, Japan, p381.