

船舶辅机前沿技术研究

富贵根，俞志刚，王伟勇，郁敏奇，牛远振，易小冬，
中船重工第 704 研究所

摘要：船舶辅机是重要的船舶配套设备，品种多，数量大，涉及技术专业面广，技术发展水平差异大。辅机与世界先进水平相比，主要落后在研发创新能力不够，生产能力不足和没有形成品牌。本文针对辅机专业中基础相对较好、市场需求前景大、国外重点发展的项目，列出研发内容和关键技术，有利于攻克核心技术，打造具有国际先进水平的自主品牌产品。

关键词：船舶辅机，甲板机械，舱室机械，特种机械

0 前言

船舶工业是为国防建设、航运和海洋开发提供主要装备的产业，是保障国家安全和维护海洋权益的重要基础工业。加快发展船舶工业，对于加强国防现代化建设、振兴装备制造业、促进相关产业发展、扩大机电产品出口、解决劳动力就业等具有重要的战略意义。进入新世纪以来，尤其 2003 年以来，在国际船舶市场呈现高成长发展时期，我国船舶工业抓住了这个难得的历史机遇，在船舶产业的产业规模、自主创新能力、经济运行水平方面都取得了辉煌的成就，造船产量从 2003 年的 641 万载重吨发展到 2006 年的 1452 万载重吨，2007 年为 1893 万载重吨，约占世界份额的 23%；新承接合同订单 9845 万载重吨，约占世界份额的 42%。而手持合同订单为 15899 万载重吨，约占世界份额的 33%。至 2008 年 7 月手持订单更高达 20890 万载重吨，约占世界份额 36.2%。

从手持合同数和造船产能估算，2009 年到 2010 年预计产量可达 4100 万吨以上，（年均增速将为 30% 以上），同期日本产量由 2000 万吨到 3500 万吨（增速约 8.5%），韩国产量由 2350 万吨到 5200 万吨（增速约 12%）。2009 年后我国有可能在造船产量上超过日本跃居世界第二（占世界的 30% 左右）。在新船型方面和海洋工程方面我国自主开发了包括 32 万吨 VLCC、30 万吨 FPSO、10000TEU 超大型集装箱船等，创新能力有了明显提高，船舶工业经济运行指标良好，劳动生产率与日、韩的差距从 10 倍以上降为 4 倍。

但我们的造船行业和日、韩、欧洲相比，差距还是巨大的，我国造船技术创新力量不够，基础研究投入少，我们自行设计的同类船舶自重要比国外先进设计自重大 10%，钢材利用率低于 3-5 个百分点，能耗比日、韩高一倍。高技术、高附加值船舶设计能力不足，研究工作刚起步，还难于参与市场竞争。船舶配套发展严重落后于造船业发展，已成为制约造船业发展的瓶颈，由本国生产的船用配套设备装船率，日本已达 95% 以上，韩国已达 85% 左右，我国的本土化船用配套设备装船率平均为 46%，其中三大主流船型为 49.54%，高新技术船型则低于 30%。船舶配套设备占船价的 40-50%，因此船舶配套设备的低国产化率完全制约造船工业的发展。

《船舶配套业发展“十一五”规划纲要》明确了我国要实现优势配套产品生产能力的大幅提升，基本掌握重点产品关键制造技术，自主研发取得一定突破的要求，要求本土化生产船用设备配套率达 60%，实现船用设备销售 500 亿元。2007 年船用配套产值为 228 亿元，到 2010 年我国造船将有可能是 2006 年造船量 1452 万载重吨的 2.8 倍，约为 4100 万载重吨，配套率又有 1.3 倍以上的提高，因此配套量还有 3.6 倍以上的需求空间，本土化配套工业近几年应以 40% 以上的增长率发展，发展空间大，中高端产品暂没有产能过剩的问题，船用设备销售额在 2010 年可达 900 亿元，规划纲要要求柴油机、甲板机械、舱室机械等基本满足国内需求，成为世界柴油机和甲板机械的生产国，要求这些优势产品与国际先进水平同步发展，并逐步形成自主设计开发能力。

船舶辅机是重要的船舶配套设备，通常是指船舶主机和船舶导航及自动化设备以外的船舶配套设备，包括甲板机械类，如舵机、锚绞机、吊机、救生设备、舱口盖、电梯等；

舱室机械类，如水泵、空压机、油污水处理装置、焚烧炉、空调、冷藏、海水淡化装置、辅锅炉、风机、阀门、净油装置等；特种机械，如减摇装置、轴系及推进装置、升降装置等。船舶辅机在船上品种多、数量大，产值约占整个船舶配套设备的 40%-45%，涉及技术专业面广，技术发展水平差异大。

相对于主机和导航及自动化设备，由于我国船舶辅机采用标准与国际接轨，研发力量、生产能力相对较强，国际船舶辅机相对发展平缓，我国也及时引进了不少先进专利、技术，因此在船舶配套设备中船舶辅机与国际先进水平差距较小，大部分差距不大于 10 年，少部分产品差距更小或零距离。船舶辅机与世界先进水平相比，主要落后在两个方面，一方面辅机研发创新能力不够，尤其是民用辅机的研发能力没有形成，军用技术没有向民用产品转移，另一方面生产能力仍严重不足，产品没形成品牌，国外维修手段与力量不够，制约着国产品牌产品进入国际市场。

本技术研究针对辅机专业中基础相对较好，市场需求前景大，国外重点发展的产品项目，进一步攻克核心技术，打造性能和质量达到国际先进水平并有较强国际竞争力的自主品牌产品。本技术研究在甲板机械、舱室机械和特种机械三类中分别重点研究二个典型项目，具体如下：

甲板机械：①海洋工程用甲板机械技术

②船用电梯技术

舱室机械：③海水淡化装置技术

④压载舱水处理技术

特种机械：⑤减摇装置技术

⑥特种推进器技术

1 海洋工程用甲板机械技术

1.1 技术领域概况

甲板机械是安装在船舶或海上建筑物甲板上的机械的统称，是船舶专用的机械设备，一般包括锚泊机械设备、操舵机械设备、起重机械设备、各类绞车绞盘、舱盖启闭装置及为特殊用途服务的机械设备。其主要用途是保证船舶的航行、系泊和营运。现代甲板机械已逐步向电动 - 液压驱动式、封闭式、自动化、遥控化方向发展，融合了当代多项高新技术。

国际船舶和海洋工程用甲板机械技术发展总的趋势是：高效率、自动化、集成化、模块化、数字化和智能化、远程控制，大容量、小体积、长寿命、无污染、安全可靠的新产品不断问世。其主要发展概况可归纳如下：

a 先进的设计技术、设计手段以及试验技术得到了广泛的应用，显著缩短了产品的设计周期，提高了设计质量和产品性能，大大增强了市场的竞争力。例如重型船用起重机，由于采用了有限元分析方法进行强度计算后，材料的强度得到充分发挥，产品的尺寸和重量更趋合理。

b 随着船舶向大型化方向发展，对船舶甲板机械也提出了相应的大型化要求，如船用起重机一般起重能力为 1.5-70 吨，变幅距离在 30 米以内，但目前已出现了起重能力达 320 吨，变幅距离为 35 米的重型船用起重机。

c 微电子数字技术大量应用，船舶甲板机械的自动化、智能化和集中控制遥控化不断加强，机电液一体化集成度进一步提高，产品朝着高效率、结构紧凑、操作方便、维护方便的方向发展，越来越满足用户的使用要求和符合不断完善的规范、标准。例如在锚绞机中已越来越多地应用了系泊时的恒张力技术，抛锚时的速度控制和自动制动技术，收锚进锚孔时自动减速和自动停车技术等等。

d 大量采用先进的生产技术和生产手段，使产品设计的先进性得以最终体现。CAD/CAM 技术广泛采用，对形状复杂、加工精度高的产品，配备先进的加工手段和产品质量测试技术及其设备，如 NC 加工机床，大容量熔炼电炉，多功能、大功率的整机试验台架等等。在甲板机械中可重点发展海洋工程急需的各种特殊专用机械，因为海洋工程是一项并不亚于造船产业的大工程，如具有波浪补偿功能的收放系统、重型定位锚泊机械、海底潜水打

捞专用机械、深海矿产资源开产机械、电视抓斗、水下机械人等。本研究报告重点对海洋工程急需国产化的且有一定技术基础的“具有主动波浪补偿功能的收放系统”和“重型定位锚泊机械”项目重点研究。

1.2 研究内容、目标及关键技术

a 具有主动波浪补偿功能的收放系统研究内容、目标及关键技术

随着我国经济、技术的不断进步，向蓝水进军，在深海作业已提上议事日程。为能顺利完成在海上的作业任务，保障人身和物资的安全，波浪补偿技术在补给、科研考察、军事、海洋平台等领域中有了极其广泛的运用。但令人遗憾的是该项技术多年来一直为国外少数几家公司所垄断，国内在其高端产品研制上尚属空白。目标是研制能在 6 级海况下安全可靠工作的主动波浪补偿收放系统。

关键技术：(1) MRU (Motion Reference Unit) 研究；(2) 波浪检测及安装平台运动相应预报研究；(3) 电液控制系统研究；(4) 主动波浪补偿收放系统动态相应控制研究。(5) 大型张紧器设计制造关键技术研究。

b 重型定位锚泊机械研究内容、目标及关键技术

目前，石油平台上的重型定位锚泊绞车由于国内生产单位没有能力配套而均需进口，我们的研究内容是突破重型定位锚泊机械的关键技术，目标是突破负载大于 300t 的重型定位锚泊机械，实现该产品的国产化。

关键技术：(1) 重型锚泊机械大型结构件设计及加工工艺研究；(2) 低温材料加工工艺研究；(3) 大功率电液控制系统设计研究；(4) 重型锚泊机械负载特性研究；(5) 重型锚泊机械专用拖曳连接件设计研究。(6) 超长钢丝绳多层缠绕技术研究(7) 锚绞车成组技术协同作业误差检测与控制。

2 船用电梯技术

2.1 技术领域概况

随着工作条件和生活条件的改善，船舶及海上建筑物也开始安装电梯（含乘客电梯和载货电梯）。我国自 1980 年代开始，在船上使用载货电梯，国产乘客电梯在船上和海上建筑物上的使用至今不足 5 年。

船用电梯除了拥有一般陆用电梯的全部性能要求外，还应满足船用条件的要求，最主要是抗摇摆、抗冲击、耐腐蚀、高安全性等。船用电梯是根据陆用电梯并结合船用条件发展而来，国外豪华客船在 20 世纪初已出现乘客电梯，但我国直至 80 年代才开始在船上安装 100kg-500kg 载货电梯及厨房用电梯。我国船用载货电梯标准于 1989 年正式颁布，船用乘客电梯标准于 1993 年正式颁布。

我国初期船用载货电梯基本上采用双速电机驱动，轿门为手动门，控制为轿外控制，因为不容许载人，因此轿内没有控制器，速度一般为 0.63m/s。21 世纪初，我国开发出船用乘客电梯，规格为 500kg-1500kg，采用有机房或无机房驱动，电机采用变频控制，电梯加速度减小，平层精度提高，提高了人员的舒适度，速度一般为 1m/s。轿厢大都采用不锈钢包覆，有防摇扶手、安全逃生口、合适的照明通风、应急按钮和电话，包括安全钳等断绳安全保护和过载、超速、超摇保护等。轿内控制器以及自动控制门、电气控制部分基本能满足船用条件。由于曳引机、变频器、电器元件都采用进口品牌，其它部套大都采购国内名厂品牌，船用电梯标准又与美国、俄罗斯以及 ISO 标准相接轨，目前船用电梯性能与德国、日本、韩国等先进电梯水平接近。

船用电梯是军民通用产品，只是技术要求有高低，我国多年来已装船（舰）产品上百台套，规格品种达几十种。由于起步阶段产品完全按用户需求而研制，结构特异品种较多。随着市场的不断扩大，标准化、系列化的电梯产品应提到日程上。

德国的船用电梯总体水平较高，日本、韩国产品数量较大。目前我们的产品在主要部套件如曳引机主要引进德国产品。我们要支持对曳引机的消化吸收再创新，争取国产化的

曳引机能在性能水平上达到国际先进水平，要在规格品种上逐步实现系列化。一定要加大力度在吸收国外先进技术的基础上，发展自己的技术、自己的产品。要强化专业化生产及配套件的试验、检验，使电梯成为标准化产品，供船东选用。

2.2 研究内容、目标及关键技术

船用电梯的研究内容、目标：研制变频高速船用乘客电梯，达到国际船用电梯先进水平。船用电梯的关键技术：

a 船用电梯自动开门、关门技术；b 船用电梯控制技术；c 低噪声、低振动无机房曳引机技术；d 变频技术及其抗干扰技术。

3 海水淡化装置技术

3.1 本技术领域概况

海水淡化是将海水溶液中的溶解盐分（溶质）与纯水（溶剂）分离的过程。

早期的海船（商船和舰艇）缺乏可靠而成熟的海水淡化技术，都未配置从海水中制取淡水的水淡化装置，只能借助贮水柜或水舱装载岸水，解决早期筒形火管锅炉补给水和船员生活用水。第二次世界大战后期，美、英、苏、德和日本都开始重视盐（海）水淡化技术的研究工作，舰船实现淡水自给。现代海水淡化技术从二十世纪五十年代开始发展至今，形成了蒸馏法、膜法两大实用海水淡化技术。

蒸馏法是利用水的液-汽相变规律，通过水分子吸热汽化，汽水分离和二次蒸汽放热冷凝，从海水中分离出淡水。蒸馏法的最常用形式是多级闪发蒸馏（MSF）和沸腾蒸发。蒸馏装置脱盐的能量消耗几乎不受原料海水含盐度和脱盐深度的影响，含盐量 35000ppm 的海水一次蒸馏可以淡化成含盐量仅 5ppm 的淡水，特别适用于锅炉用水。蒸馏法虽然耗能大一点，但耗能大都是余热、废热等低品位能量。

膜法目前的主要形式是反渗透法：

反渗透淡化是一种仿生（细胞膜）的膜分离技术，水分子借压力与自然渗透反道而行。反渗透淡化原理是将海水加压到超过自然渗透压即 5.5-6.2MPa，使海水中的水分子（溶剂）透过半透膜分离溶解矿物质而取得淡水。膜法能量消耗主要是电能，且淡水水质与原料海水关联很大，用于饮用水和生活用水没问题，但需杀菌消毒，含盐量 800ppm 以下。

为提高技术水平往往采用引进技术，但引进的实际是一个结果，如何形成这个结果人家是不会给你的，这就是核心技术。所以你最多只能掌握一种产品。当然利用我们的基础，通过吸收，也可能会有一些成果，但往往较好的结果是国产化率高一点而已。要形成自己的设计能力，会是一个很长的过程。而要形成在国际上具有竞争力的研发能力，更需要作长期的努力。因此，在工程化应用领域，我们不仅仅要掌握技术，而且要通过必要的手段，高效而又准确地把技术转化为产品，这样才能扩大产业，真正提高企业的竞争力，切实把企业做强做大。

在国内，船用海水淡化技术已有相当的基础，国外有的产品，我们也有，只是规格少点，但能够开发。如何利用这些基础，提高我们的研发手段和水平是我们的目标。因为，研发水平体现了更高层次的生产力，也是我们过去常常忽视的，而它的进步对行业的发展有着真正决定性的作用。通过对欧洲的许多企业的考察和技术交流，发现那些制造大型设备的厂商已全部具有三维建模平台、数值仿真平台、优化设计平台、专家诊断系统和故障分析系统等，如德国的生产船用造水机的 Serckcomo 公司，利用其先进的研发平台，无需进行设备性能试验，造水量几百吨、上千吨的大型设备就能让用户信服地直接装船；其它生产热交换设备的生产商如 Alfa-laval、APV 等公司均早已具备了这种能力。

随着科技的发展，目前我们采用传统的质能平衡算法研发过程和手段显然已是相当的落后，这种方法忽略流体在设备内的过程变化把积分计算简化为算术计算，研发中只考虑初值和终值，忽略了过程变化，是种经验设计，俗称“黑盒子”设计。

由于 pro/e 等三维建模软件和 fluent 数值分析软件的普及和我们从事该领域长期的经

验积累已使得改变这种研发手段成为可能。建设新的海水淡化技术研发平台，将会使得我们能够：

a 实现产品的快速设计；b 实现产品的最优化；c 对产品的功能进行较正确的前期评估和预测；d 对产品运行过程和故障产生进行仿真重现。

3.2 研究内容、目标及关键技术

研究内容、目标为：

a 建立专用知识库、数据库和资源库；b 建立设计系统、建模系统、仿真系统、过程测试系统、专家诊断系统、故障分析系统等功能系统；c 建立产品数据管理系统，达到优化集成快速设计。

关键技术为：

a 在 pro/e 和 fluent 软件平台基础上的嵌入式二次软件的开发；b 对换热元件的温度场、压力场、流场和速度场的研究。

4 压载舱水处理技术

4.1 本技术领域概况

船舶领域污水处理装置主要有三个研究方向：一是序批式膜法污水处理技术，二是舱底乳化油污水处理技术，三是压舱水污水处理技术。其中序批式膜法污水处理技术和舱底乳化油污水处理技术，国内七〇四所已经突破了关键技术并完成了项目研制，其技术指标分别达到了国际海事组织（IMO）159（55）和 107（49）要求，处于国内领先、国际先进水平。而压舱水处理技术国内起步较晚，目前仅有国外少数国家研制了相关产品，因此开展压舱水处理技术的研制，对于提高船用设备本土化装船率具有重要意义。

大部分的海洋船舶都有压载水系统。为保证船舶有一定的稳定性，在空载时需在卸货港将海水泵入压载舱，到装货港再将压载水排出。由于压载水中含有来自卸货港海域的各类海生物和细菌，从而造成压载水的污染问题。一艘 20 万吨散货船的压载水可达 6 万吨。一艘超级油轮（VLCC）压载水可达 10 万吨；全球船舶每年运载压载水量达 100 亿吨；每天有超过 700 种海洋生物被全球各类船舶通过压载水携带；有害海生物入侵是海洋面临的四大威胁之一。

国外压载水处理应用技术的研发始于 1988 年。根据在国际压载水管理技术研讨会上的资料统计，目前国外有 17 家左右的研究机构或者企业完成了原型机的设计制作，其中 7 家进行了实船测试，3 家公司开始公开向船东推荐自己的应用技术产品。最近检索到德国 RWO 公司和 HamannAG 公司已经开发出压载水处理技术并形成产品。由于我国一直缺少对压载水处理的重视，在压载水处理技术上研发工作起步比较晚，关键技术分散，缺少有针对性的应用技术研究。国内少数研究机构目前也出现了零星研究报道，但是距离可产业化的成套技术相差很远。

虽然压载水处理技术发展起步晚，但压载水如不处理或处理不当带来的危害是相当大的。从 IMO 对污水处理的要求来看，当前大部分船只的处理设备缺少或达不到技术要求。新要求 2009 年起要严格执行，之前的设备要改装或加装，需求是绝对的。根据新加坡南洋理工大学环境科学与工程研究院的统计，条约生效带来的在航船舶压载水处理设备市场需求大约在 13 亿美元，新建船舶的配套市场需求为每年 1 亿美元。

4.2 研究内容、目标及关键技术

压载水的处理包括两部分的内容，海水预处理和灭活。海船压载水的数量巨大，压载水处理设备的使用条件和处理要求也非常特殊，从使用条件和成本考虑，现有的水处理技术无法直接满足海上人命安全公约规定的水处理要求，需要对现有各种技术进行整合、再开发和适应性优化。国际海事组织（IMO）要求的实施，在工作过程中不使用任何化学剂的压载水处理装置可以缓解我国环境保护问题，同时，也迫切需要针对我国海域水质开发压载水控制与管理的技术设备。

压载水处理关键技术为高效自动过滤技术，其研究内容为：

(1)确定高效自动过滤器的结构形式；(2)确定高效自动过滤器的设计计算参数；(3)进行配套泵阀的设计造型；(4)确定机组的自动控制系统原理图。

光催化氧化杀菌技术研究内容为：

(1)确定光催化杀菌器的结构形式；(2)确定光催化杀菌器的设计计算参数；(3)确定机组的自动控制系统原理图。

5 减摇装置技术

5.1 本技术领域概况

船舶减摇专业的任务是为提高船舶的耐波性而研究和开发合理适用的装置，学科涉及流体力学、自动控制理论、流体传动与控制、机械设计与制造、电子与电气、测量与分析、计算机应用等，专业产品包括减摇鳍、减摇水舱、小水线面船和水翼船船态稳定系统、襟翼舵、减摇陀螺、减摇重块等。船舶减摇作为一门学科已经有一百多年的历史，其间先后出现了三百五十多种减摇装置，实际被采用的大约有 20 余种，实际被推广应用的只有艏龙骨、减摇鳍、被动式减摇水舱和可控式被动减摇水舱、船态稳定系统等少数几种。

国外对船舶减摇装置的研究开发与应用起步较早，相关厂商已经拥有成熟技术和品牌。另一方面，虽然减摇技术早已成熟，但各厂商对产品部件的创新和改进却一直不断。例如，基于对水动力和控制技术的研究与应用，已经出现了多种新的减摇鳍翼型，还有很多关于多副减摇鳍联合控制、减摇鳍与减摇水舱、舵与减摇鳍、舵与减摇水舱、舵与可动重块的组合控制试验和实船使用记录，数字控制和模糊控制也已经在减摇控制系统中得到应用。

我国从事减摇装置技术研究与开发的单位主要是七〇四所和哈尔滨工程大学。目前就减摇鳍产品而言在设计技术、制造质量以及产品可靠性等方面都已接近国际水平。但是，从减摇专业的总体水平来看，我国与国外同行之间尚有较大差距，主要表现在：a.基础研究和积累不足，技术创新少；b.品牌知名度不高，进入国际市场难度较大；c.对组合创新性研究开发工作经验不多，复合型人才缺乏。d.主导产品只有减摇鳍，尚不能适应顾客的需求变化；然而国内减摇装置中大部分品种还处于零业绩，即使减摇鳍，在国内建造的船艇上，市场占有率不足 50%，主要原因是我们的产品型号系列不全面，不足以满足市场的需求，产品的设计制造还是以单件为主，未能形成产品，竞争处于劣势。种种信息显示，产业化发展势在必行。

5.2 研究内容、目标及关键技术

为使减摇产品规格齐全，品质符合国际规范要求，在国际市场上有一定业绩和品牌知名度，确定以下研究内容与目标：

a 大型、超大型减摇鳍装置的开发

研究目标：①完善产品系列，满足大型船舶的使用要求；②提升设计制造能力和市场竞争优势。

研究内容：①建立系统模型，分析提出装置对各部件性能的合理要求；②建立受力构件的力学模型，分析设计合理的构件结构形式、选择合适的材料和制造工艺；③大功率驱动问题，包括泵站的能力、伺服系统的动态品质以及摩擦付的寿命等问题。

b 新型鳍翼的研究开发

研究目标：①提高鳍的升力系数、减小鳍的阻力/升力比，从而提高减摇鳍装置在同等体积下的减摇能力容量；②简化鳍及其关联机构的制造工艺，降低产品的制造成本；③积累对减摇鳍装置的基础性研究数据，提升产品的综合竞争优势。

研究内容：①新型鳍翼建模技术研究；②新型鳍翼的流体动力性能试验比较；③新型鳍翼与执行机构的适配技术研究；④新型鳍翼与鳍箱的适配技术研究。

c 可控被动式减摇水舱的研究开发

研究目标：①开发出具有自主知识产权的适用产品，在技术指标和操作性能方面达到国际

先进水平，填补国内空白；②为集装箱船、科学测量船等在低航速包括零航速下有减摇要求的各种船舶提供适用产品，满足国内顾客的迫切需求；③尽快培育我所本专业新的经济增长点。

研究内容：①延长和缩短舱内水振荡周期的方法；②对阀口面积实行比例控制的方法与装置；③降低水舱噪声的方法与装置；④产品人机界面的设计；⑤批量制造工艺的研究，包括标准化、通用化和系列化。

d 船态稳定系统的研究开发

研究目标：①涵盖的专业学科及技术要求较为复杂，能够提升我国本专业的综合技术实力；②满足市场需求，提高七〇四所本专业在国内外市场的综合竞争实力。

研究内容：①船舶的多自由度运动特征及其对运动控制装置的原理要求；②船舶运动的测量与预报技术；③多鳍耦合控制技术；④人机界面设计。

减摇装置关键技术为：

a 应用计算机仿真技术，建立大型、超大型减摇鳍受力构件的数学模型；

b 超大功率减摇鳍电液伺服驱动机构的研发；

c 特种新材料的应用，新制造工艺的应用；

d 先进的人机界面设计；

e 鳍翼的建模技术及流体动力性能研究；

f 延长和缩短水舱内水振荡周期的方法；

g 水舱阀口面积实行比例控制的方法和装置；

h 船舶多自由度联合控制技术原理研究；

i 船舶运动的测量与预报技术；

j 多鳍耦合控制技术。

6 特种推进器技术

6.1 本技术领域概况

船用特种推进器是船用主要设备，是船舶动力系统的主要组成部分，常用的特种推进器，包括调距桨、侧推、舵桨等，随着航运行业的发展及需要，越来越多地应用于各种船舶上，且技术含量不断提高，具体体现在，自动化程度、效率、可靠性不断提高，而随着船舶的大型化，推进器的功率也越来越趋于大型化。

a 调距桨

通过调距机构改变桨叶螺距，在主机和轴系转向不变的情况下可以改变螺旋桨推力的方向和大小，进而实现船舶的正航、倒航甚至是停车，大大提高了船舶的机动性和操纵自动化，同时减免主机的频繁调速和换向，延长了主机的寿命。

b 侧推

通常装在船艏和船尾，提供横向推力以实现船舶的转向和横向移动，在船舶进出港船速慢舵效低时可保证船舶依然有良好的操纵性，在需要动力定位要求的船舶上，也可使用侧推器作为推力器以提供推力保证船舶的定位。

c 舵桨

通常在机动性要求较高的船舶如拖轮、工作船、渡船上，可 360 度回转以提供全方位的推力，同时起着桨和舵的作用，随着拖轮和工作船的大型化，舵桨的功率也趋于大型化。

国内从事特种推进器的研制始于上世纪 60 年代，从引进技术加以消化改进到自行研制，主要技术归口单位是七〇四所，生产则由苏州船机、武汉船机厂负责，几十年来，在技术研制和经验的积累方面已经取得了长足的进步，目前已经有数百套各种推进器装船使用，用户主要是中国海军和部分民船，功率从几百马力至几万马力。

国内推进器的技术距离国际先进水平还存在一些差距。推进器结构复杂，技术覆盖面广，牵涉到机械、流体、液压、电控等专业，是各系统的有机组合，由于基础研究薄弱，

国产设备无论在系统的结构优化、自动化、可靠性、效率及整个系统的整合方面，都需进一步提高，其次，随着船舶的大型化，要求推进器的功率也需相应增大，但是由于大功率推进器的技术要求高，研制难度大，国内技术水平有限，暂时还不能生产大功率推进器，需提高研制能力，以生产适应市场需要的大功率推进器。

推进器行业技术含量高，研制难度大，加上国内在这方面起步晚，基础薄弱，与国际先进水平相比，存在着较大的差距，除了基础理论、设计水平之外，在研究资源上也有不小差距。其中研发人员短缺和研发设备欠缺是最重要的两点。

相比其它船舶上的主要设备目前已经形成了规模化、产业化，船用推进器的产业化在国内仍然进展缓慢，国内尚无规模化的推进器厂家。反过来，市场存在巨大需求，国际品牌推进器厂商在国内几成垄断局面（数家国际知名厂商每年在国内的销售额都在数百套以上，如卡米娃就在无锡独资成立侧推专业生产厂家，年产六百台套），因此必须响应时势，加强研究，提高企业竞争力，千方百计推进船舶推进器的规模化和产业化。针对市场需要，研制大功率的推进器及新型推进器，提高原有型号的可靠性及其它性能，不仅填补国内空白，提高国产设备竞争力，缩小与国际先进水平的差距，对于振兴国产推进器的产业，有着巨大的作用。

6.2 研究内容、目标及关键技术

特种推进主要包括调距桨装置、侧推器和舵桨装置三部分，其实质研制内容有不少相似之处，主要是：a 桨毂桨叶的水动力研究和结构研究 b 液压、电气控制研究 c 试验技术的研究 d 工艺方法研究。

通过以上这些研究，使我国特种推进器产品水平更上一个台阶，并形成自己的品牌和市场。特种推进器关键技术为：a 数字化智能型调距桨电控的仿真技术；b 高线速度、小泄漏量配油器的设计、加工技术；c 舵桨高精度万向轴技术研究。

参考文献

船舶辅机技术的发展与创新

《机电设备》2006 年 11 月