

## 二、船舶动力

### 1. 船舶废气洗涤脱硫系统

#### 项目概述

2014年11月，国家发改委针对船舶工业转型升级发布了专项征集意见，明确未来3到5年重点支持高端船舶、海洋工程装备、船用设备等产业的核心竞争提升项目，尤其要加强产学研用实质性融合的技术密集型创新项目的支持力度。

项目组研发的船舶废气洗涤脱硫系统属于多学科交叉的技术密集型产品，国外同行一直将其作为企业的核心竞争力对中国实行技术封锁，是本专项计划的重点支持内容，设备在高端船舶、海工装备、船舶动力的绿色节能高效改等方面有着不可替代的技术优势，产品符合国家产业转型升级的政策导向，有着很好的市场前景与社会与经济效益。

本产品研发发展受到国家机关和省市自治区各级领导的重视和认可，表示对产品的产业化将给予政策和资金支持。

#### 主要专利：

- 一种船舶柴油机废气洗涤脱硫的设备
- 一种用于提高船舶废气吸收塔效率的填料的制备方法
- 一种用于船舶洗涤脱硫系统废液的处理装置及其处理方法
- 一种船舶柴油机废气洗涤脱硫的设备
- 船用柴油机脱硫填料塔
- 气动式自动控制三通阀门
- 一种用于船舶的双回路脱硫装置
- 一种用于处理船舶排放废气的系统
- 一种船舶柴油机废气余热回收装置
- 一种用于船舶废气脱硫洗涤液 pH 的自动控制方法
- 船舶动力装置集成式废气洗涤脱硫设备及控制方法
- 一种用于二冲程柴油机的废气污染物联合脱除装置
- 船舶中速柴油机废气脱硫与废热回收联合循环系统
- 船舶柴油机 NO<sub>x</sub> 和 SO<sub>x</sub> 联合减排装置及控制方法

一种船舶二冲程柴油机废气再循环系统及控制方法

#### 项目成熟情况

该技术成熟，正处于样品阶段。

#### 应用范围

高性能船舶领域。

## 2. 相继增压柴油机增压系统控制装置

#### 项目概述

相继增压是提高大功率柴油机低工况动力性能、经济性能及排放的最为有效的方法。目前德国 MTU 及 MAN 等著名公司均采用该项技术，使其产品处于国际领先水平。哈尔滨工程大学长期致力于相继增压技术的研究，具有相继增压系统设计、理论计算分析、试验、电控系统开发研制的能力。自主开发和与企业合作研制了多型柴油机相继增压系统，大幅度扩大了柴油机低速运行区域，降低了有效油耗率和排放。与企业合作开发的某额定转速 1050r/min 的中高速船用，由于采用了相继增压系统，在 350-850r/min 运行时，与原机相比，运行区平均扩大了 143%，燃油消耗率降低了 14%，烟度降低了 55%，额定功率提高了 10%，达到了国外同类产品的水平，填补了相继增压技术在国内的空白，目前已批量生产。

相继增压控制装置是相继增压柴油机的关键部件，该装置主要包括：STC 控制仪和电磁阀箱两部分。STC 控制仪具有状态检测、自动/手动控制、故障指示等功能，电磁阀箱具有蝶阀检测、状态显示、应急控制等功能。该项技术打破了国外的封锁，具有自主知识产权，填补了国内空白，达到了国际领先水平。该装置可推广应用于其他机型。

#### 项目成熟情况

技术成熟，国际领先水平。

#### 应用范围

船舶柴油机及要求低速大扭矩性能的柴油机。

## 3. 船舶柴油机排气消声器

#### 项目概述

哈尔滨工程大学动力装置工程技术研究所是哈尔滨工程大学下属专门从事减振降噪技术研究的专业机构，2000年1月通过中国新时代质量体系认证中心ISO9001质量体系认证，具备消声器产品的设计、生产与研发资质。具备一支知识结构、年龄结构合理的高水平人才梯队。

多年来，在船舶动力装置振动与噪声控制方面做出了卓有成效的努力，承担了多项高新技术课题，取得了多项消声器产品专利，形成了系列化、标准化的消声器产品。针对船舶柴油机排气消声器的研发、设计、生产与验收，在实验条件、软件平台和专业队伍等方面，形成了国内一流的软硬件环境，并逐步形成了一套成功的新产品研发、生产、验收与售后服务运行机制。已开发的消声器产品包括5个系列近30个型号，分为阻式消声器、抗式消声器和阻抗复合式消声器，材料分为：不锈钢和碳钢两种，产品消声性能：25~35dB(A)，阻力性能： $\leq 1000\text{Pa}$ ，已开发产品覆盖了目前国内常用的船舶柴油机主机及电站柴油机，柴油机功率范围为：100kW~8800kW。

#### **项目成熟情况**

该系列产品成熟，取得了多项消声器产品专利，形成了系列化、标准化的消声器产品。

#### **应用范围**

船舶减振降噪领域。

## **4. 船用柴油机余热利用系统**

#### **项目概述**

船用柴油机余热利用系统安装船用柴油机排气管路，用于回收柴油机排气余热，提高柴油机能效。目前具备完整的技术设计能力，初步具备产品开发与实验验证能力，具有柴油机排气余热利用系统性能验证实验台。具有自主知识产权。

柴油机排气余热利用技术是目前国内外节能减排领域的热点问题，也是有效减少船舶排放、提高能效的重要手段，我国目前还没有国产技术成功的装船案例，未来高技术船舶市场需求广泛。

#### **项目成熟情况**

目前正处于样品阶段。

## 应用范围

高性能船舶领域。

## 5. 船舶柴油机脱硝系统

### 项目概述

随着国际和国内相关水域和港口对船舶 NO<sub>x</sub> 排放的限制更加严格，利用 SCR 后处理装置是使得船舶柴油机的 NO<sub>x</sub> 排放能满足排放区的法规的最有效的方法。在船舶行业大力发展，船舶制造量每年迅速增长的趋势下，若研究成果大范围推广，经济效益和社会效益显著。

国际 IMO TierIII 排放法规即将实施，以及国内相关水域船舶排放控制区的设立，对船舶 NO<sub>x</sub> 的排放限值将更加严格。本项目利用后 SCR 处理装置降低船舶柴油机 NO<sub>x</sub> 的排放，项目的任务已经全部完成。通过项目研究，完成了 SCR 系统样机研制，搭建了柴油机 SCR 系统试验台架，试验结果表明加装 SCR 后，柴油机 NO<sub>x</sub> 的排放满足 IMO TierIII 排放标准。

主要专利：

一种 SCR 系统管道内氨气浓度均匀性的测量方法 CN103969403B

多级导流叶片式静态混合器 CN103585908B

SCR 系统旋转喷射式混合器 CN103962023B

### 项目成熟情况

完成了 SCR 系统样机研制，搭建了柴油机 SCR 系统试验台架，试验结果满足 IMO TierIII 排放标准。目前该系统已取得 CCS 认证。

## 应用范围

船舶柴油机和非道路脱硝后处理等领域。

## 6. 燃气轮机大子午扩张涡轮气热设计技术

### 项目概述

涡轮是燃气轮机的核心部件，随着涡轮设计朝着高负荷方向发展，涡轮逐渐具有大扩张通道特性；然而，流道的大子午扩张、端区密封结构等特征会造成较大的端部二次流动、端区损失及热负荷。因此，气热设计技术不仅是舰船燃气轮

机大子午扩张涡轮的核心技术，也同样是航空、航天和工业用涡轮部件的核心技术。我国在气热设计这一核心技术研究上与国外差距仍比较大，在具体核心参数上存在“代差”，技术储备严重不足。舰船技战术性能的具体指标要求以及舰船燃气轮机的自主化设计亟待突破燃气轮机大子午扩张涡轮气热设计技术。

主要专利：

迷宫与指尖组合式密封结构 ZL200910072917.1

一种包括叶顶带有孔窝的动叶片的涡轮 ZL201310385138.3

一种具有S形叶冠动叶片的涡轮 ZL201310385139.8

一种包括叶端带有凹槽状小翼结构的可调静叶的变几何涡轮  
ZL201410349945.4

一种具有正交型可调静叶片的大子午扩张变几何涡轮 ZL201410349952.4

一种带有可调静叶自引气-喷气结构的变几何涡轮 ZL201410349922.3

一种具有台阶型球面端壁的大子午扩张变几何涡轮 ZL201410349925.7

一种包括自适应喷气孔的多重轮缘密封结构的涡轮 ZL201610118526.9

一种大子午扩张涡轮的三维正交非定常设计方法 ZL201610118673.6

一种应用于气膜冷却技术的旋流冷气腔结构 ZL201610147198.5

### 项目成熟情况

项目目前技术成熟，具备转化条件。

### 应用范围

可以应用于船舶、航空、航天、地面等叶轮机械设计领域。

## 7. 锅炉疲劳寿命监测系统

### 项目概述

锅炉是船舶蒸汽动力系统的核心设备，其中锅筒是工质受热、蒸发和过热的枢纽，是锅炉装置中最重要的受压部件之一，其安全可靠运行尤为重要。哈尔滨工程大学根据船用锅炉锅筒结构特点和工作条研发了锅炉疲劳寿命监测系统，实现了对锅炉锅筒温度场、应力场分布的监测，根据锅筒参数和实测数据对锅筒危险区域进行预测，并对危险区域的疲劳寿命做出预估。该系统在锅炉各种复杂的工况下均能测得较准确的温度场、应力场，参数的测量和计算精度已达国际先进

水平，可保障整个锅炉装置的安全性、可靠性和经济性。

主要专利：

一种船舶锅炉水位控制系统

一种利用锅炉壁温，应力测量装置的锅炉疲劳寿命测定方法

一种小型增压锅炉水冷壁结构

锅炉旁通补燃复合回热涡轮增压系统

### 项目成熟情况

该系统技术成熟，已完成实验样机研发。

### 应用范围

船舶锅炉和陆用电站锅炉领域。

## 8. 船用柴油机排气挡板阀

### 项目概述

挡板阀，也称蝶阀。大部分船舶柴油机的排气管出口均需安装有排气挡板阀，该阀在柴油机开车时打开，停机时关闭，用于防止柴油机停机时海水倒灌。为满足结构强度及密封要求，标准蝶阀的重量均较大（如标准 DN450 蝶阀重约 60kg），对于一些轻型船舶，其排气管路不要求排气挡板阀严格密封，允许少量渗漏，但要求其重量尽量轻，并可承受高温及满足耐腐蚀要求。

针对这一要求，哈尔滨工程大学动力装置工程技术研究所研制了非标系列轻型不锈钢挡板阀，主要有 DN425 和 DN125 两种型号，材质为 316L 耐腐蚀不锈钢，可在 600℃ 高温条件灵活启闭，带位置锁止与信号反馈功能，重量仅为同口径标准蝶阀的二分之一左右（如非标 DN425 挡板阀的重量仅为 28kg 左右），特别适用于各型快艇的应用。该两型产品已生产交付近 400 台，用户反映良好。

### 项目成熟情况

已具备非标轻型挡板阀的设计、研发与制造能力，除上述两型产品外，可根据厂家要求，进行各种非标挡板阀的研制与生产。

### 应用范围

各型船舶柴油机。

## 9. 船用燃气轮机等离子点火装置

### 项目概述

在燃气轮机的启动过程中，点火的成功率将直接关系到整个燃气轮机动力装置的安全可靠运行。该点火装置采用空气等离子技术，在空气等离子体与燃料雾化粒子的相互作用下，产生等离子化学反应，加速了燃料燃烧的物理—化学过程，扩大了点火的浓度极限，增加了火焰传播速度。等离子技术可以在很大程度上提高点火的可靠性及燃烧的稳定性和，在等离子流作用下，燃料可在低浓度燃气混气中进行燃烧，可以避免在炉膛和燃烧室中可能发生的“爆燃”。

该装置由等离子发生器和专用高能电源以及控制部分组成。对采用火炬点火的航空发动机和各种工业燃机的燃烧室基本不需改造，对采用火花点火的航空发动机和各种工业燃机的燃烧室需要简单改造。

### 项目成熟情况

该产品成熟，具有完全的自主知识产权。

### 应用范围

航空发动机、船用燃气轮机和工业燃机。

## 10. 高压共轨燃油喷射装置

### 项目概述

高压共轨燃油喷射系统主要包括高压油泵、共轨管、电控喷油器及控制单元等部分。系统具有较高的喷油压力，喷油压力与发动机转速无关并能灵活调控，使发动机在各种工况下的燃烧品质得到优化。由于能够实现多次喷射，使发动机具有燃烧柔和、排放低、噪音小等优点。高压共轨燃油喷射系统：最高工作压力180MPa，轨压波动 $\leq 3\%$ ，最小喷射间隔 $\leq 0.1\text{ms}$ ，最小稳定喷油量 $\leq 3\text{mm}^3$ 。

本项目以高压共轨技术研究并实现产业化为目标，通过突破高压共轨系统关键零部件优化设计等核心关键技术，实现高压共轨燃油系统关键零部件产业化，建立服务于全行业的我国高压共轨系统自主研发平台，提高自主创新和开发能力。同时通过本项目锻炼出一批有志于国家船舶建设工程事业的优秀人才，再经过本项目的培养和锤炼，储备并形成国内最完善的高压共轨燃油喷射系统研发队

伍。本项目研制的高压共轨燃油喷射系统主要应用于船用柴油机及双燃料发动机，对提高我国高压共轨发动机产品竞争力、促进我国高压共轨燃油喷射系统的发展具有重要的战略意义，对节约石油资源、保护环境具有重要的社会意义，相关关键技术突破点对促进我国国防建设也有重要的现实意义。

主要专利：

可变供油规律柱塞偶件 ZL 200910071969. 7.

双电磁阀 ZL 200910072277. 4.

冗余双电磁阀 ZL 200910072278. 9.

冗余双线圈电磁铁 ZL 200910072279. 3.

模块化电控单体泵 ZL 201010197247. 9.

压电与电磁组合双阀装置 ZL 201010117338. 7.

一种整体式电磁阀 ZL 201010186901. 6.

双电磁铁 ZL 200910072280. 6.

电控单体泵与电控喷油器双阀燃油喷射装置 ZL 201010117323. 0.

柴油机多级蓄压分级增压可配置式燃油喷射系统 ZL2011110371542. 6

多鼓滚轮 ZL 200910071961. 0.

具有两级增压活塞的电控共轨喷油系统 201210402460. 8.

可变喷油压力双增压共轨喷油系统 201210402676. 4.

相继增压式电控共轨喷油系统 201210158058. X.

多级增压电控共轨喷油系统 201210163136. 5.

### 项目成熟情况

已经开发出高压共轨燃油喷射系统样品，处于实验室试验阶段。

### 应用范围

该技术可广泛应用于船用柴油机、双燃料发动机。

## 11. 船用低速柴油机尾气 NO<sub>x</sub> 排放后处理装置

### 项目概述

该项目来源于工信部高技术船舶科研计划，主要技术指标有本项目通过开展船用 SCR 装置研究与开发，掌握 SCR 系统设计方法，突破 SCR 系统关键技术，针



对 6S50MEC 柴油机开展 SCR 系统样机研制,按 IMO 相关法规要求进行配机试验和优化改进,满足 Tier III 规范要求。项目具体技术指标如下:在柴油机原机满足 Tier II 排放的基础上,经 SCR 后处理,NO<sub>x</sub> 排放不大于 3.4g/kW·h,满足 IMO Tier III 的要求;氨气逃逸量不超过 10ppm;SCR 系统压力损失小于 300mm WC。

最近提出的“船舶工业调整和振兴规划”指出,今后三年船舶工业保持平稳较快增长,力争 2011 年造船产量达到 5000 万吨,船用低速柴油机产量达到 1200 万马力。三大主流船型本土生产的船用配套设备的平均装船率达到 65%以上,船用低速柴油机、中速柴油机、甲板机械等配套设备的国内市场满足率达到 80%以上。面对当前市场需求,提高造机核心技术,满足更高要求的排放标准,对于未来国产船用柴油机在新一轮市场竞争中崛起具有十分重要的意义。因此,根据国内外在排放控制方面的研究现状及发展趋势,在考虑成本、有效性等关键设计参数的同时,最大可能的增加对于环境的关注,控制排放污染使其达标,SCR 技术在当今及不久的将来都会拥有非常广阔的前景。

### **项目成熟情况**

项目技术成熟,具有工程样机。

### **应用范围**

应用于船用低速柴油机尾气 NO<sub>x</sub> 排放后处理装置可用于远洋船舶,包括散货船、集装箱船和油船等。

## **12. 基于钠碱法的船舶废气洗涤脱硫设备**

### **项目概述**

该项目来源于工信部高技术船舶科研计划,主要技术指标有:完成船舶废气洗涤系统工程样机研制;船舶废气洗涤后 SO<sub>x</sub> 含量满足 IMO 2015 年 ECA 排放控制要求,脱硫效率大于 97.5%;动力装置油消耗增加不超过 1%;船舶废气脱硫系统引起的压降不超过 900Pa。

船舶燃油硫含量的法规在 2015 年强制实施,船舶动力装置燃油硫含量的限制标准极为严格,世界低硫燃油供应的不足,以及高低品质燃油巨大的价格差,决定了废气洗涤脱硫技术是船舶减排技术发展的方向。据资料介绍,一套 10,000kW 左右的废气洗涤脱硫系统,目前售价约 120 万美元,如此,以国产系

统价格为进口价格的 2/3，全年装机量 400 台套，每套平均 500 万人民币测算，每年市场潜力将达 20 亿人民币，而且还有维修保养、备件供应等售后服务，市场需求巨大。项目的研究成果，可以填补我国在该技术领域的空白，有助于形成产业化的具有自主知识产权的船舶废气洗涤脱硫设备配套产品，将提高我国船舶行业和造机行业的竞争力，同时增加我国在船舶减排方面的话语权。

### 项目成熟情况

项目技术成熟，具有工程样机。

### 应用范围

船舶动力装置废气洗涤脱硫系统可用于远洋船舶，包括散货船、集装箱船和油船等，也可用于燃用高硫含量燃油的内河船舶。

## 13. IETM 交互式电子技术手册

### 项目概述

IETM 是 Interactive Electronic Technical Manual 的英文首字母缩写，直译为交互式电子技术手册，它综合应用了计算机技术、网络技术以及通信技术等先进技术，将内容繁杂的操作手册、维修手册等信息有机地组织管理起来，以最优化的方式显示在电子屏幕上，并以交互的方式进行查阅，将维修技术人员或系统操作人员所需的信息，精确地展现在使用者面前，以加速装备使用和保障活动的实施。先进的 IETM 还综合了专家系统、人工智能、自动诊断、故障隔离以及培训等其它处理过程，并可嵌入便携式维修辅助装置和自动测试设备中。

采用交互式电子技术手册可以改变传统纸张型技术手册在出版、使用、保管、储存等各方面的不便，加速保障人员执行任务的速度，提高装备的可靠性与维修性，提升维修效率，降低装备在全寿命周期内的保障费用。

目前，哈尔滨工程大学动能学院动力所利用第四代 IETM 技术完成了船用燃气轮机的 IETM 交互式电子手册研发，并集成为装有嵌入式系统的便携式维修辅助装置（PMA），使之具有故障诊断、维修信息查询、技术资料查询、技术信息管理、用户信息反馈等功能。其内容指标涵盖了虚拟现实三维仿真技术、三维动画演示、CGM 矢量技术插图热点链接、故障隔离流程图交互链接、系统工作原理图动画演示等。丰富的多媒体手段、智能的人机交互功能能够快捷、准确地为

维修人员提供内容详实、功能强大、智能化程度高的现场技术支持。

IETM 能够解决使用、维护和保障等环节中技术信息的可移植性、可交换性和共享性等问题，并可以为综合后勤保障系统（ILS）的全面集成提供有效的技术手段。推广使用 IETM，可以在全面提高维修效率、改革训练体制、提高装备技术资料管理和装备研制等方面取得显著效益。

### **项目成熟情况**

该产品技术成熟，目前已经进入产品生产阶段。

### **应用范围**

航空发动机、船用燃气轮机、船用柴油机和各种需要电子技术手册的设备。

## **14. 微型燃气轮机**

### **项目概述**

燃气轮机广泛应用于飞机、船舶和工业部门，大体可分为航空发动机、轻型燃气轮机、重型燃气轮机三个方面。航空发动机一般不带有动力涡轮，而轻型与重型燃气轮机则带有动力涡轮。燃气轮机以空气为介质，一般包括压气机、燃烧室和燃气涡轮三个部分，空气经压气机进行压缩，提高空气的压力和温度，高温高压空气进入燃烧室与燃料充分混合，燃烧后形成高温高压燃气，燃气具有做功能力，进入燃气涡轮中推动涡轮旋转，一方面带动压气机工作，另一方面对外输出功率。简单循环中，涡轮发出的机械功有 1/2 到 2/3 左右用来带动压气机，其余的 1/3 左右的机械功用来驱动发电机。

本项目涉及的微小型燃气轮机属于轻型燃气轮机范畴，一般功率在 100-2000kW，结构形式以离心压气机和向心涡轮为主，主要应用于微小型设备的动力，应急发电，冷热电联供等军民行业，具有较好的市场前景。

### **项目成熟情况**

目前该微型燃气轮机已经过部件设计、整机装配与点火实验，技术成熟度达到 4 级，通过性能试验及整机耐久考核后，可实现工程应用。

### **应用范围**

微小型燃机区别于航空发动机和轻型燃机，是功率档次在 100-2000kW 量级，由于其体积小、功率密度大、排放洁净、噪音小等特点，可应用于军事设备以及

民用设备中。

## 15. 内燃机燃料喷射特性测试与分析系统

### 项目概述

掌握燃料喷射过程的测试技术是实现内燃机性能提升与创新性变革的必经之路。本项目针对现代内燃机气体或液体燃料喷射的瞬态流量特性提出一套完备的测试方法并研制相应的测试系统。该系统不仅包含针对气、液单相燃料喷射特性的多尺度测试技术，同时针对氨、氢等无碳燃料的特殊性，开发了两相燃料耦合喷射及相变喷射瞬态流量测试方法。宏观上实现了喷射执行器循环内瞬态流量特性高精度超广量程的测试，介观上实现了多孔喷嘴各孔间喷射特性差异性测试，微观上实现了喷雾在时空上动量分布的定量测试与分析。该技术为内燃机多元燃料喷射系统的自主研发与检测维护提供了技术保障，打破国外垄断局面，解决了燃料喷射特性难以全面、准确掌握的难题。流量测试精度可达 98.5%，微观空间尺度分辨率可达 0.1mm。针对直喷式发动机，首次提出了燃料喷射过程的无接触测试。针对高压共轨柴油机及高压天然气缸内直喷发动机搭建了完备的喷射过程在线感知平台。真正实现了发动机燃料喷射过程的高鲁棒性在线感知及喷射执行器全生命周期的状态监测。

该项目拥有多项自主知识产权，其中申请专利 21 项，登记软件著作权 15 项。

### 项目成熟情况

该项目具有较高的成熟度，原理样机已经为国内外多家单位提供测试服务，目前具有系列化产品 10 余种，且具有专项研究及系统定制的能力。

### 应用范围

主要应用于现代高强化发动机及清洁燃料发动机燃料供给及喷射系统开发、燃料系统的售后检修与故障分析等。