

附件 1

中国船舶集团-上海交通大学 海洋装备前瞻基金 2023 年度项目指南

上海海洋装备前瞻技术研究院

2022 年 11 月

项目一、船用核动力系统多机组分析方法

课 题：船用核动力系统多机组二回路比例模化方法与一回路运行特性影响研究

指南编号：1-1

研究目标：针对不同工况下船用核动力装置的运行特性进行建模与分析，形成系统仿真演示平台，并基于小比例试验数据对模型进行评估与优化。研究成果可为船用核动力系统比例模化试验提供理论支撑。

研究内容

1. 复杂环境下船用核动力装置一二回路运行特性研究；
2. 船用核动力装置一二回路比例模化和失真度评价方法研究；
3. 船用核动力装置一二回路耦合小比例仿真模型及算法研究；
4. 船用核动力装置小比例试验结果外推理论和方法研究。

成果形式

1. 船用核动力装置一二回路耦合仿真模型演示平台 1 套；
2. 多种任务工况和事故工况下一二回路瞬态运行特性研究报告；
3. 船用核动力装置一二回路比例模化和失真度评价方法研究报告；
4. 发明专利 2~3 项、高水平论文 4~5 篇。

项目二、先进舰载电子信息及对抗技术

课题 1（重点）：超高速自适应灵巧式回溯干扰通信技术研究

指南编号：2-1

研究目标：舰载超高速、自适应、灵巧式干扰系统在电子对抗中具有重要的意义。针对传统灵巧式干扰方法先验信息依赖性强且信号处理流程复杂的问题，提出一种自适应回溯干扰技术，不依赖于对方信号先验信息，即可实现纳秒级超高速灵巧式回溯干扰。围绕基于射频通道内调制的自适应回溯干扰信号快速生成方法，超宽带抗识别干扰结构等技术开展研究，试制适用于舰载的干扰原理样机。

研究内容

1. 自适应干扰信号快速生成方法研究；
2. 超宽带抗识别干扰结构设计研究；
3. 调制参数优化与干扰原理样机研制。

成果形式

1. 舰载干扰原理样机 1 套；
2. 项目研究报告 1 份；
3. 发明专利 2 项（国防）、高水平论文 2 篇。

课题 2：（详请至前瞻院查阅）

指南编号：2-2

课题 3：紫外到中红外的宽光谱高速光电探测研究

指南编号：2-3

研究目标：针对智能舰艇系统对高性能宽光谱光电探测器的需求，研究不同能量的光子激发材料或界面载流子的动力学过程，探究材料尺度和维度对光电探测器量子效率和响应速度的影响，优化器件支撑基板的电特性，突破优化的材料选择和先进的器件制备工艺，研发出覆盖紫外到中红外、能在室温工作、且响应速度快的高性能光电探测器，并进行系统的表征测量。

主要研究内容

1. 不同能量的光子激发材料或界面载流子的动力学过程研究；
2. 电场或偏压对探测器探测率和探测范围的调控特性研究；
3. 优化的材料选择和先进的器件制备工艺研究。

成果形式

1. 高性能宽光谱光电探测器 1 件；
2. 项目研究报告 1 份；
3. 发明专利 1~2 项、高水平论文 1~2 篇。

项目三、极端条件服役部件先进测试技术

课题 1（重点）：大厚度钛合金焊接件三维残余应力的中子多参量同步测试技术研究

指南编号：3-1

研究目标：针对大厚度钛合金焊接后残余应力水平高、组织稳定性及抗应力腐蚀性能差等问题，开展构件表面至深部不同深度位置三维残余应力量化分析，同时开发中子衍射-瞬发伽玛同步测试技术，实现三维残余应力-痕量氢元素分布多尺度、同步定量测试，配合显微分析等表征手段，获得多尺度耦合与关联信息，揭示应力对氢含量空间分布的影响规律，支撑大厚度钛合金焊接件性能优化与服役寿命评价。

研究内容

1. 先进中子衍射-瞬发伽马同步测试技术及数据分析方法研究；
2. 针对不同残余应力、氢含量/分布等实验样品进行微观结构与宏观力学分析；
3. 开展中子衍射三维应力测试，配合 XRD 及有损类测试技术建立三维应力分布云图；
4. 大厚度钛合金焊接区具有空间分辨的三维应力-氢浓度/分布规律研究；
5. 大厚度钛合金样品的氢含量三维应力分布研究。

成果形式

1. 大厚度钛合金及其焊接件至少 6 个特征位置的三维残余应力分布以及应力-氢含量同步测试数据库，以及相关报告；
2. 团体、企业标准或规范不少于 1 项；
3. 发明专利不少于 2 项、高水平论文不少于 3 篇。

课题 2：不锈镁合金及构件的海洋环境适应性研究

指南编号：3-2

研究目标：针对传统镁合金在 JZJ 机匣、减速器壳体等典型构件应用中耐蚀性较差，及其在海洋环境下使用的性能退化规律缺乏等问题，典型构件应用中易腐蚀的“卡脖子”问题，开展新型不锈镁合金构件的制备技术研究，突破不锈镁的成分优化复杂构型零部件成型技术、不锈镁表面复合防护等关键技术，材料综合性能超过国外 Elektron 21 高耐蚀镁合金。开展镁合金材料及构件在海洋环境下应用的腐蚀失效模式和内在腐蚀机制的研究，完成不锈镁合金在实海大气和实船航行动态应用环境下的测试考核，建立镁合金在海洋环境下的腐蚀防护测试方法与评价体系，为海洋环境下先进镁合金的推广应用奠定基础。

研究内容

1. 兼具力学性能和高耐蚀性能镁合金材料的研究和制备；
2. 不锈镁的室内加速腐蚀模拟试验研究；
3. 海洋自然环境下不锈镁的耐蚀性能考核与评价。

成果形式

1. 高耐蚀镁合金发动机机匣样件 1 套；
2. 不锈镁样板和机匣构件的耐盐雾腐蚀检测报告各 1 份；
3. 不锈镁在海岛和实船航行海洋自然环境下检测报告各 1 份；
4. 发明专利 1~2 项、高水平论文 2~3 篇。

课题 3：（详情请至前瞻院查阅）

指南编号：3-3

项目四、LNG 关键系统新材料新机理

课题 1（重点）：LNG 船围护结构低温抗腐蚀陶瓷增强铝合金材料研究
指南编号：4-1

研究目标：针对 LNG 船围护结构高安全性和轻量化设计需求，开展耐低温、耐腐蚀、高强度、高模量、高可焊性新型纳米陶瓷铝合金材料开发，对新材料的熔炼制备、塑性成形与焊接工艺技术进行研究，对其低温力学性能、耐腐蚀性能、焊接性能进行系统分析测试，结合 LNG 船围护系统的结构设计特点开展安全性分析，验证新型纳米陶瓷铝合金在 LNG 围护系统中的应用可行性。

研究内容

1. 针对围护系统服役工况开发纳米陶瓷铝合金高通量成分设计方法；
2. 纳米陶瓷铝合金的凝固制备和塑性成形技术；
3. 纳米陶瓷铝合金的常/低温力学性能；
4. 纳米陶瓷铝合金的常/低温腐蚀行为；
5. 纳米陶瓷铝合金的常/低温焊接性能。

成果形式

1. 新型纳米陶瓷铝合金制备工艺及典型结构样件，性能指标：常温下，抗拉强度 $\geq 400\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 300\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 10\%$ ，模量 $\geq 75\text{GPa}$ ；77K 低温下，抗拉强度 $\geq 550\text{MPa}$ ，屈服强度 $\geq 350\text{MPa}$ ，延伸率 $\geq 15\%$ ，弹性模量 $\geq 85\text{GPa}$ 。

2. 新型纳米陶瓷铝合金材料开发及制备工艺研究报告；
3. 新型纳米陶瓷铝合金常/低温性能评估报告；
4. 新型纳米陶瓷铝合金替代耐低温不锈钢可行性分析报告；
5. 发明专利 3~4 项、高水平论文 2~3 篇。

课题 2：LNG 薄膜围护系统结构抗冲击失效机理研究

指南编号：4-2

研究目标：面向 LNG 液舱围护系统自主研发需求，以不锈钢波纹板、胶合板、聚氨酯泡沫等组成的薄膜型围护系统为研究对象，聚焦表面波纹大变形冲击载荷、围护系统复合结构冲击失效机理与组合载荷下围护系统失效判据问题，建立冲击载荷时空分布规律的数学模型，阐明围护系统载荷传递与吸能机制，揭示围护系统各层动态吸能及失效机理，提出低温-静力-动力组合载荷下围护系统极限强度评估方法，为加快围护系统自主研发提供技术基础。

研究内容

1. 围护系统冲击载荷时空特性研究；
2. 围护系统冲击吸能及失效模式研究；
3. 围护系统入水冲击损伤试验研究；
4. 组合载荷下围护系统极限强度研究。

成果形式

1. 围护系统冲击失效机理及极限强度优化研究报告；
2. 发明专利 1~2 项、软件著作权 1~2 项、高水平论文 2~3 篇。

课题 3：LNG 船用压缩机低温高速轴用先进材料技术研究

指南编号：4-3

研究目标：针对目前国产低温压缩机轴用钢材料性能难以满足需求的问题，对现有和开发的新型低温钢材进行可行性验证，阐明元素分布梯度、析出和奥氏体等微观组织和强韧性的相关性规律，开发低成本高性能 LNG 压缩机轴用钢，补齐国产船用液货系统用低温气体压缩机在基础材料领域，支撑 LNG 产业核心装备技术自主可控。

研究内容

1. LNG 液化压缩机轴用低温钢的可行性验证研究；
2. 适用于 LNG 液化压缩机轴的新型低温钢材料成分-组织调控和组织-性能相关性规律研究。

成果形式

1. 新型低温钢母材样件，性能指标：屈服强度 $>650\text{Mpa}$ 、延伸率 $>15\%$ 、 -196°C 夏比冲击功 $>100\text{J}$ ；
2. 项目研究报告 1~2 份；
3. 发明专利 1 项、高水平论文 1~2 篇。

项目五、船用氢气储运关键技术

课题 1（重点）：船用高性能镁基固态储氢材料开发

指南编号：5-1

研究目标：面向船载储氢系统需求，开发可在较低温度下使用的高性能镁基固态储氢材料，实现小批量制备，为镁基固态储氢技术在船载氢动力系统中的应用奠定技术基础。针对镁基储氢材料放氢温度和储氢密度无法兼得的难题，重点开展高性能镁基复合储氢材料研究，评估材料的吸放氢性能，解析其载体物理吸附和氢化镁吸氢协同机理；研究载体的快速合成方法，形成镁基复合储氢材料的合成制备工艺。

研究内容

1. 开发高性能镁基复合储氢材料，评估材料的吸放氢性能，解析其载体物理吸附和氢化镁吸氢协同机理；
2. 开发镁基复合储氢材料的合成制备工艺，实现 5kg 级的镁基复合储氢材料生产。

成果形式

1. 新型镁基复合储氢材料，多孔块体材料密度 $\geq 1.2\text{kg/L}$ ，吸放氢速度 $\geq 300\text{L/kg}\cdot\text{h}$ ，材料质量储氢密度 $\geq 6.3\text{wt}\%$ ，体积储氢密度 $\geq 70\text{g/L}$ ，材料完全放氢温度 $\leq 150^\circ\text{C}$ ；
2. 形成镁基固态储氢系统与动力单元余热的耦合方案；
3. 新型镁基复合储氢材料的 5kg 级制备工艺；
4. 发明专利 1~2 项、高水平论文 1~2 篇。

课题 2：超低温下液氢围护系统新型支撑结构的热固耦合特性研究及优化
指南编号：5-2

研究目标：针对超低温双层围护系统支撑结构存在的氢脆氢渗、漏热以及变形严重等关键问题，设计新型支撑结构，研究液氢围护系统支撑结构的热应力及热固耦合特性，揭示支撑结构的漏热、应力及形变的演化规律，建立基于热固耦合的热应力及形变的预报体系，支撑大型液氢运输船的研发。

研究内容

1. 建立考虑温度梯度的热固耦合数学模型；
2. 形成液氢围护系统热固耦合的有限元分析方法；
3. 实现支撑结构的材料快速选型及结构优化。

成果形式

1. 温度大范围变化时热固耦合作用模型；
2. 培养或联合培养研究生 1~2 名；
3. 发明专利 1~2 项、高水平论文 1~2 篇。

项目六、海洋装备波浪补偿及定位控制技术

课题 1 (重点): 多功能波浪补偿过驳装置运动补偿机理与控制方法研究
指南编号: 6-1

研究目标: 针对海洋工程装备领域中, 多功能过驳装置运动控制的大惯量、非线性、强耦合、大时滞及参数时变等技术难题, 提升多功能波浪补偿过驳装置自主配套能力, 研究非惯性系、大负载条件下液压并联六自由度机构设计和位姿检测方法; 研究自适应变结构控制与模型预测控制相结合的复合控制策略; 研制六自由度波浪补偿平台的缩比样机并开展相应试验研究。针对多功能过驳装置俯仰、回转等姿态高精度、高响应、高可靠性测量需求, 研制大动态 MRU 测量装置。

研究内容

1. 非惯性系、大负载条件下液压并联六自由度机构设计方法研究;
2. 低成本高精度高速率的六自由度位姿检测方法研究;
3. 一体化多传感器姿态及升沉测量系统及其融合算法研究;
4. 自适应变结构控制与模型预测控制相结合的复合控制策略研究;
5. 大动态 MRU 研制与试验研究;
6. 六自由度波浪补偿平台的缩比样机研制与试验研究。

成果形式

1. 多功能波浪补偿过驳装置六自由度机构运动补偿设计方法;
2. 大动态 MRU 系统分析及样机研制设计方法;
3. 一体化多传感器姿态及升沉测量样机;
4. 控制策略及算法, 六自由度波浪补偿平台的缩比样机 1 套, 满足 4 级海况、20m 以上对接跨距末端补偿精度 $\pm 0.2\text{m}$;
5. 发明专利 3~4 项、高水平论文 4~5 篇。

课题 2：动力定位控制系统国产化集成技术与基于数据驱动的自适应控制方法研究

指南编号：6-2

研究目标：动力定位控制系统是传统海洋工程船舶的关键设备，是未来实现船舶无人航行控制的核心设备。针对国产化控制系统集成应用软硬件适配性与系统适用性等问题，重点研发基于国产化 IDE 软件开发环境和实时操作系统的动力定位控制软件；研究基于国产主控芯片的软硬件集成技术；研究基于数据驱动的动力定位自适应控制方法；研制动力定位控制单元原理样机，开展风浪流水池环境中的功能验证。

研究内容

1. 动力定位控制软件研发；
2. 软硬件集成技术研究；
3. 基于数据驱动的动力定位自适应控制方法研究；
4. 模型试验技术研究。

成果形式

1. 动力定位控制单元原理样机，定位偏差优于 2.0 米 (RMS)、艏向偏差优于 2.0 度 (RMS)；
2. 动力定位控制软件，包括实时操作系统、底层驱动程序、数学函数库、控制算法程序等模块；
3. 动力定位人机交互软件，包括设备状态监视、定位状态显示、参数设置、虚拟手柄控制、故障报警信息等功能模块。
4. 项目研究报告 1 份。

项目七、破冰船连续破冰性能数值模拟方法

课 题：冰水桨耦合破冰船连续破冰性能数值模拟与冰激振动噪声预报方法研究

指南编号：7-1

研究目标：针对极地航行船舶（主要是破冰船）在不同冰区及航行条件，尤其是破冰状态下由冰载荷引起的阻力变化规律进行建模与分析，并进一步研究随机瞬态冰载荷对船舶振动噪声的贡献。其研究成果可以用于指导冰区航行船舶动力装置选型与船机桨匹配设计，并为冰载振动噪声控制及优化声学设计提供理论基础。

研究内容

1. 基于冰-水-桨耦合的破冰船连续破冰阻力预报数值方法；
2. 破冰船、螺旋桨和平整冰相关参数对破冰船连续破冰的影响规律；
3. 冰激振动及噪声源强度局部缩比模型冰载撞击试验及源强数据回归；
4. 冰载荷作用下船舶结构声与舱室空气噪声预报方法，及冰载荷作用下全船振动计算与评估方法；
5. 冰激振动及噪声分析及早期预报技术研究与预报软件。

成果形式

1. 基于冰-水-桨耦合的破冰船连续破冰数值仿真模型、建模方法，及破冰阻力预报方法；
2. 冰载荷下破冰船噪声与振动预报；
3. 不同航行工况及冰区条件下冰载源强度等效载荷的工程化的源强数据/经验公式；
4. 冰激噪声预报软件；
5. 发明专利 1~2 项、高水平论文 2~3 篇。

项目八、船舶 CAD/CAE 软件核心算法研究

课题 1（重点）：面向大型复杂船舶装备的 CAD 几何引擎关键算法研究
指南编号：8-1

研究目标：提出面向大型复杂船舶装备的 CAD 几何引擎架构，研究适配的几何引擎数据表示以及曲面建模和分析等核心算法，支撑大型复杂船舶装备的 CAD 设计、建模和分析。以研发自主知识产权船舶三维 CAD 几何引擎为目标，提出面向大型复杂船舶装备的、基于 CPU/GPU 混合计算模式的 CAD 几何引擎架构，研究适配的几何引擎数据表达、求交、布尔运算，以及曲面建模和分析等核心算法。解决主流 CAD 几何引擎在面对复杂船舶装备时存在的计算效率、曲面质量以及算法稳定性的问题。

研究内容

1. 三维 SG 几何引擎架构调研与基础数据结构设计；
2. 三维 SG 几何引擎调研与架构设计；
3. 面向船舶三维几何引擎基础平台搭建；
4. 满足 G3 连续的高质量 A 级面曲面建模算法；
5. 初步可用的船舶 CAD 几何引擎。

成果形式

1. 基于异构计算的新型 CAD 几何引擎软件架构，支持 CSG 和 B-rep 两种实体模型，核心算法可提供多线程和 GPU 加速能力；
2. 基于混合计算的几何引擎数据和拓扑表示，具备实体、线框、边界等几何形体表示能力，支持不少于 100 种几何元素和 10 种拓扑元素；
3. 面向船舶场景下求交以及布尔运算算法；
4. 满足 G3 连续的高质量 A 级面曲面扫描、放样、拼接和过渡算法。

课题 2：基于知识工程和母型船数据驱动的船舶设计优化方法研究

指南编号：8-2

研究目标：将基于知识工程、母型船数据驱动的设计结合船舶设计，对知识进行有效集成和运用，并不断迭代进行数据交互和系统更新，可应用于包括方案设计、详细设计等船舶设计阶段，提高船舶设计开发的效率，缩短设计周期，降低设计成本。针对船舶设计中对于统一设计方法和系统化集成平台的设计需求，研究基于知识工程的船舶设计管理平台构建方法、基于母型船数据驱动的设计方法、船体设计智能优化方法，搭建基于统一的设计、优化方法的集成平台。

研究内容

1. 基于知识工程的船舶设计管理平台构建方法研究；
2. 基于母型船数据驱动的船舶设计方法研究；
3. 船体设计智能优化方法研究。

成果形式

1. 基于新构建方法的船型知识库平台；
2. 基于新优化方法的船型优化软件；
3. 发明专利 1 项、高水平论文不少于 5 篇。

课题 3：（详请至前瞻院查阅）

指南编号：8-3

项目九、先进制造基础工艺及数字化技术

课题 1（重点）：超高强钢特厚板双面超窄间隙激光-热丝 TIG 复合焊接技术指南编号：9-1

研究目标：提出新一代深海装备超高强钢特厚板结构尺寸要素和精度精准控制新理念，提出 1000MPa 级超高强钢特厚板双面超窄间隙激光-热丝 TIG 复合精密精准焊接方法，研究超高强钢特厚板激光-热丝 TIG 复合焊接接头组织性能演变规律、强韧化机理；创新设计不清根双面对称焊接坡口形式、尺寸要素，研究超高强钢特厚板双面超窄间隙激光-热丝 TIG 复合焊接多热源多场耦合的温度场、应力场和变形规律，研究超高强钢特厚板超窄间隙坡口根部焊缝的不清根高可靠熔透及填充焊道排布技术，确定焊接工艺参数，支撑新一代深海装备精密高可靠快速建造。

研究内容

1. 超高强钢特厚板激光-热丝 TIG 复合焊接接头组织性能演变规律、强韧化机理研究；
2. 超高强钢特厚板双面超窄间隙激光-热丝 TIG 复合焊接多热源多场耦合的温度场、应力场和变形规律研究；
3. 超高强钢特厚板超窄间隙坡口根部焊缝的不清根高可靠熔透及填充焊道排布技术研究。

成果形式

1. 实现厚度 $\geq 100\text{mm}$ 、屈服强度 1000Mpa 级超高强钢特厚板双面超窄间隙激光-热丝 TIG 复合精密精准焊接；
2. 实现效率提升 3 倍，焊缝金属填充量减少 70%；
3. 焊接变形减少 80%，脊状变形控制在 $\pm 2\text{mm}$ 。

课题 2：船舶智能制造的视觉共性技术研究

指南编号：9-2

研究目标：研究大尺寸三维视觉系统方案、复杂结构识别算法、非标零件自适应识别算法，提升视觉感知在船舶生产作业环节中的应用效率和覆盖率。按照零依赖目标建设独立可控的船舶信息化视觉通用算法库，提高兼容性、降低研发成本。基于零依赖视觉通用算法库，对现有船舶智能生产装备的视觉系统进行升级验证，提升新一代智能设备的研发效率和作业覆盖率。

研究内容

1. 大尺寸三维视觉系统方案研究；
2. 复杂结构识别算法设计；
3. 非标零件自适应识别算法设计；
4. 零依赖视觉通用算法库建设；
5. 基于零依赖视觉通用算法库的视觉系统升级试验。

成果形式

1. 零依赖通用算法库，包括复杂结构识别算法、非标零件自适应识别算法，复杂结构识别算法、非标零件自适应识别算法的工件覆盖率达到 50%以上，识别效率提升 20%以上，兼容不少于 2 种船舶工业机器人；
2. 基于零依赖通用算法库的智能设备视觉系统样机 1 套，开发周期缩短 30%；
3. 大尺寸三维视觉系统设计报告；
4. 软件著作权 1 项、高水平论文 2 篇。