附件2

“十四五”船舶动力基础科研

计划第二批项目指南

一、船舶柴油机领域

**方向一：船舶柴油机先进设计方法**

**课题1：面向复杂环境的柴油机设计体系研究**

**研究目标**

开展面向复杂环境的柴油机性能设计、关键系统环境适应设计、电子管理系统开发、冷却等技术研究，并试验验证，掌握满足复杂环境使用要求的船用柴油机设计方法。

**研究内容**

（1）面向复杂环境的柴油机性能设计技术研究；

（2）柴油机关键系统复杂环境适应性设计技术研究；

（3）面向复杂环境的柴油机防护技术研究。

**考核指标**

（1）面向复杂环境的技术验证样机在相关标准规定的环境条件下，功率及折扣率、过量空气系数等满足要求；

（2）技术验证样机具备在恶劣条件下正常起动的能力，起动时间≤10s；

（3）排气管系表面温度小于85℃；形成低阻力冷却装置设计方法及设计方案，在特定环境条件下，压损、冷却、强度、防护水平等指标满足要求。

**成果形式**

**软件成果：**

设计流程、设计规范、系统软件等。

**硬件成果：**

样机、样件等。

**研究周期**

36个月。

**课题2：船舶柴油机高瞬态性能自适应燃烧技术研究及试验验证**

**研究目标**

开展瞬态过程燃烧模拟方法研究、工作过程组织方案研究、油气协同及自适应燃烧控制技术研究，并进行试验验证，形成船用柴油机瞬态过程自适应燃烧设计方法、流程及数据库，支撑未来船用柴油机瞬态性能进一步提升。

**研究内容**

（1）瞬态过程燃烧劣变机理及模拟方法研究；

（2）面向瞬态性能提升的柴油机工作过程组织技术研究；

（3）基于进气迁移变化的油气协同燃烧控制技术研究；

（4）瞬态性能偏移识别方法及自适应控制技术研究；

（5）高瞬态性能自适应燃烧控制技术试验验证。

**考核指标**

（1）建立船用中高速柴油机瞬态模型，模型预测精度不低于90%；

（2）瞬态过程燃烧终点（CA90）不超过上止点后60°CA；

（3）船用中高速柴油发电机组起动时间不高于10s，空载到满负荷加载时间不高于15s，在满足二级调速精度的条件下，一级加载幅度不低于40%。

**成果形式**

**软件成果：**

瞬态过程燃烧模拟方法、设计要求、研究报告、试验验证报告等。

**硬件成果：**

样机、试验件等。

**研究周期**

36个月。

**课题3：船舶柴油机多维协同主动减振技术研究及验证**

**研究目标**

开展柴油机垂向、横向、纵向多维度协同主动减振技术研究，形成多维振动主动控制的设计流程、设计方法和研究报告，并进行试验验证，支撑船用柴油机及动力装置更高振动噪声指标的实现和装船适配性应用。

**研究内容**

（1）多维振动传递路径识别技术研究；

（2）三向执行机构设计技术研究；

（3）多通道解耦合主动控制算法研究；

（4）主动减振控制模块设计技术研究；

（5）多维主动减振装置试验验证研究。

**考核指标**

（1）主动减振加速度线谱可实现垂横纵三向协同控制；

（2）在中高速船用柴油机试验台架验证条件下，5Hz～500Hz频带内，控制线谱不少于12根，单根线谱控制效果不小于6dB。

**成果形式**

**软件成果：**

研究报告、设计流程及方法、控制算法等。

**硬件成果：**

样机等。

**研究周期**

36个月。

**课题4：高功率密度船舶柴油机复合增压系统设计技术研究及试验验证**

**研究目标**

针对高功率密度船用柴油机高低负荷兼顾优化和高瞬态响应特性的要求，开展大流量电动增压器设计研究、两级复合增压系统匹配研究、复合增压系统控制策略研究等技术研究，形成复合增压系统设计流程与规范、大流量电动增压器设计规范，提高高功率密度船用柴油机电动增压器及复合增压系统设计能力，支撑船用柴油机改进提升并为未来船用柴油机自主开发奠定技术基础。

**研究内容**

（1）电动复合涡轮增压系统总体设计技术研究；

（2）电动复合涡轮增压系统与柴油机匹配技术研究；

（3）电动复合涡轮增压系统控制策略、控制系统设计技术研究；

（4）电动复合涡轮增压系统集成设计技术研究；

（5）电动复合涡轮增压系统试验验证。

**考核指标**

（1）电动增压器从起动到加载至最高允许转速时间≤20s；

（2）通过增压系统热动力平台实验验证，两级复合增压系统模块压比≥10，增压系统效率≥72%；

（3）通过整机试验验证增压系统压比≥10，增压系统效率≥70%，主要性能参数仿真精度≥90%；

（4）低负荷运行范围平均扩大80%，燃油消耗率和烟度降低3%以上；推进特性柴油机急加载时间≤40s，发电机特性在满足二级调速精度的条件下，一级突加幅度达到35%。

**成果形式**

**软件成果：**

设计流程及规范、试验验证规范、试验数据库等。

**硬件成果：**

样机、样件等。

**研究周期**

36个月。

**课题5：船舶柴油机复杂环境应用关键技术研究及验证**

**研究目标**

开展船用柴油机复杂环境下综合性能研究、起动空气预热及油气协同控制策略研究、低负荷长期运行高可靠性技术研究、复杂环境下冷却润滑和振动性能研究，形成复杂环境用柴油机设计流程、规范和数据库，掌握复杂环境用柴油机自主设计能力，为复杂环境用柴油机研制提供基础技术支撑。

**研究内容**

（1）复杂环境下柴油机综合性能研究；

（2）复杂环境用柴油机起动空气预热及油气协同控制技术研究；

（3）低负荷长期运行高可靠性技术研究；

（4）复杂环境下柴油机冷却系统适应性研究；

（5）复杂载荷下柴油机振动冲击技术研究。

**考核指标**

（1）通过仿真计算评估，复杂环境条件下，柴油机功率不打折；通过小型机模拟环境验证，且全工况的最小喘振裕度不低于10%；

（2）通过小型机验证，在复杂环境、柴油机充分预热的情况下，柴油机的起动时间不超过10s；

（3）柴油机具备低负荷长期运行的能力（10%负荷，连续运行100h）；

（4）大功率船用柴油机试验台架验证条件下，隔振抗冲装置隔振效果不低于15dB（10Hz～10000Hz频段内）；经计算验证，隔冲效率（100%-机组与基座冲击加速度响应之比\*100%）不小于70%。

**成果形式**

**软件成果：**

设计流程、设计规范、试验数据库等。

**硬件成果：**

样件、样机等。

**研究周期**

36个月。

**课题6：船舶柴油机排气消声一体化智能控制研究及验证**

**研究目标**

开展船用柴油机排气消声一体化、柴油机某特征智能控制、排气控制等研究，实现对柴油机背压有益的、排气某系数高的船用柴油机一体化智能控制方法。

**研究内容**

（1）船用柴油机排气消声一体化研究；

（2）柴油机某特征智能控制研究；

（3）排气控制研究；

（4）智能控制评估研究。

**考核指标**

（1）某状态时，柴油机排气某系数；

（2）柴油机排气指标可调节级数；

（3）柴油机排气智能控制算法的计算值与同条件下试验值误差；

（4）响应时间。

**成果形式**

**软件成果：**

研究报告、设计方法等。

**硬件成果：**

样机、测试设备等。

**研究周期**

36个月。

**课题7：智能小缸径高速柴油机燃烧控制技术研究**

**研究目标**

针对船舶对柴油机的高动力性、自主性、安全性、复杂工况及环境适应性等需求，开展船用智能小缸径高速柴油机多模式全可变气门驱动技术、强稳定性高温隔热技术、高效快速混合多模式燃烧技术、自适应调控技术研究，为开发新一代船用智能小缸径高速柴油机提供技术支撑。

**研究内容**

（1）多模式全可变气门驱动技术；

（2）强稳定性高温隔热技术；

（3）高效快速混合多模式燃烧技术；

（4）自适应燃烧模式调控技术。

**考核指标**

（1）平均有效压力、最高燃烧压力满足要求；

（2）最高指示热效率55%；

（3）传热损失减少25%；

（4）进/排气门最大升程循环变动率≤1%；

（5）控制系统响应时间≤10ms。

**成果形式**

**软件成果：**

研究报告、自适应调控模型等；

**硬件成果：**

样件等。

**研究周期**

48个月。

**课题8：船舶柴油机关键摩擦副抗疲劳及可靠性提升技术研究**

**研究目标**

通过开展轴瓦、止推轴承等关键摩擦副基材、表面涂覆层及承载能力提升设计及工艺技术研究，并经过试验验证，提升高承载关键摩擦副可靠性水平，完善船舶柴油机关键摩擦副设计及工艺体系。

**研究内容**

（1）高承载轴瓦基材抗疲劳技术研究及验证；

（2）高承载轴瓦涂覆工艺稳定性研究及验证；

（3）止推轴承承载性能设计技术研究；

（4）止推轴承承载性能试验及测试技术研究。

**考核指标**

（1）轴瓦基材屈服极限不低于460MPa、疲劳极限不低于200MPa，满足比压85MPa，线速度13m/s的使用要求；

（2）经轴瓦抗咬合试验验证，不同批次间轴瓦抗咬合时间差异≤15%；

（3）经止推轴承承载试验台试验验证，止推轴承满足轴向载荷30kN，线速度22m/s的使用要求。

**成果形式**

**软件成果：**

流程、规范、图纸、研究报告等。

**硬件成果：**

试验件、加载及测试设备等。

**研究周期**

36个月。

**课题9：船用发动机燃油喷射系统精密零部件关键技术研究**

**研究目标**

开展小型高速电磁阀设计与仿真研究、制造工艺研究、动态响应测试研究、超细雾化喷嘴设计与试验研究等，完成船用发动机小型高速电磁阀与超细雾化喷嘴样件研制，小型高速电磁阀动态响应速度与喷嘴雾化性能等技术指标达到国际先进水平。

**研究内容**

（1）小型高速电磁阀设计与仿真研究；

（2）小型高速电磁阀材料开发技术研究；

（3）小型高速电磁阀制造工艺研究；

（4）小型高速电磁阀动态响应测试研究；

（5）超细雾化喷嘴设计及性能分析研究；

（6）超细雾化喷嘴性能试验研究。

**考核指标**

（1）高速电磁阀仿真模型电磁力、动态响应仿真精度＞90%；

（2）电磁阀开启时间≤200μs，电磁阀关闭时间≤200μs；

（3）高速电磁阀电参数一致性达到±3%、电磁性能重复性标准差±2%；

（4）高速电磁阀寿命达5000小时（通过开关测试）；

（5）燃油喷嘴流量仿真精度与实测结果一致性达到90%以上；

（6）燃油喷嘴雾化索太尔平均粒径（SMD）不大于40μm（柴油燃料）；

（7）在供油压差3MPa下，燃油喷嘴雾化不均匀度不大于25%（柴油燃料）。

**成果形式**

**软件成果：**

研究报告、测试验证报告等。

**硬件成果：**

样件等。

**研制周期**

36个月。

**方向二：船舶柴油机先进工艺技术**

**课题10：船舶柴油机高承载零部件表面强化工艺研究及验证**

**研究目标**

开展表面强化高承载件疲劳性能评估，曲轴、活塞、缸套表面强化等研究，并经过试验验证，提升强化高承载零部件可靠性水平，完善船用柴油机高承载零部件工艺体系。

**研究内容**

（1）曲轴内凹圆角表面强化工艺技术及预测方法研究；

（2）高速柴油机曲轴过渡圆角复合强化制造工艺技术研究；

（3）活塞高应力表面覆层强化技术研究及验证；

（4）活塞喷涂石墨工艺适配性研究；

（5）气缸套表面抗穴蚀强化技术研究及验证。

**考核指标**

（1）在最高燃烧压力23MPa的负荷条件下，经轴径300mm曲轴单拐试验验证，与非强化的曲轴相比，表面强化曲轴弯曲疲劳强度极限提升10%以上；

（2）经表面强化的曲轴疲劳强度≥500MPa，复合强化曲轴疲劳强度模型仿真预测准确度≥80%；

（3）表面强化活塞通过1000万次不低于30MPa平台疲劳试验验证；

（4）活塞石墨化自动喷涂效率提升30%，石墨化喷涂设备和工装夹具可靠性、能力指标监控覆盖率≥80%；

（5）在最高燃烧压力23MPa的活塞敲击激励作用条件下，通过振动空蚀试验验证，薄壁缸套失重速率降低20%以上。

**成果形式**

**软件成果：**

工艺流程、规范、研究报告等。

**硬件成果：**

试验件等。

**研究周期**

36个月。

**课题11：基于数字孪生和智能制造的柴油机关重件工艺参数在线监测与优化技术研究**

**研究目标**

开展面向工艺布局设计、关重件工艺参数在线监测、生产制造全流程、全资源要素工程数据优化研究，构建基于数字孪生和智能制造的柴油机零部件生产系统全要素工程应用平台，建立船用柴油机关键零部件数字化、智能化生产线设计准则，形成船用柴油机关键零部件制造生产线优化设计能力，实现船用柴油机关键零部件高效、高质量生产。

**研究内容**

（1）面向工艺布局和生产制造全流程、全资源要素的工艺优化方案研究；

（2）基于复杂场景的柴油机关键零部件生产线布局数字模型构建；

（3）基于生产线仿真数据的柴油机关键零部件制造工艺优化技术研究；

（4）柴油机关键零部件生产线多源数据采集、集成与监控技术研究；

（5）基于数字孪生和智能制造的柴油机零部件全要素工程制造应用验证。

**考核指标**

（1）柴油机关重件生产线设备平均利用率提升20%；

（2）柴油机关重件生产线生产设备在线监控覆盖率达到90%以上；

（3）柴油机关重件生产线效能仿真准确率达到90%以上。

（4）柴油机零部件生产系统全要素工程应用平台涵盖不少于3条生产线应用场景。

**成果形式**

**软件成果：**

设计准则、仿真模型、应用平台、论文、软著等。

**硬件成果：**

在线监测系统等。

**研制周期**

36个月。

**课题12：柴油机关重件超声振动高效高质量加工工艺技术研究**

**研究目标**

开展柴油机关重件超声振动高效高质量加工工艺技术研究，以保证加工精度，提高生产效率。

**研究内容**

（1）高强度合金钢活塞销等零件小直径超深交叉孔及表面超精加工技术特征分析；

（2）高强度合金钢小直径超深孔及交叉孔（长径比20D）加工工艺方案分析；

（3）高强度合金钢小直径超深孔及交叉孔（长径比20D）超声特种加工技术及应用研究；

（4）活塞销表面超声特种超精加工技术及应用研究。

**考核指标**

（1）高强度合金钢超深孔加工表面粗糙度提高1级，加工时间缩短一倍；

（2）活塞销表面超精加工时间由10h减少至4h以内，表面压应力提高20%以上。

**成果形式**

工艺规范、专利、论文、样件等。

**研制周期**

24个月。

**课题13：柴油机制造数据资源管理与应用系统**

**研究目标**

基于柴油机数据管理与应用平台，建立贯穿制造全过程数据模型，应用大数据技术将结构化、非结构化的制造数据进行整合处理，实现多源制造数据从采集、汇总、管理、运算、优化、执行、反馈的全流程管理，以制造数据和实时外部经营数据支撑全面管控与内外部协调决策能力，提升企业核心竞争力。

**研究内容**

（1）柴油机多源制造数据采集治理技术；

（2）柴油机制造多资源管理系统集成开发技术；

（3）基于大数据的柴油机制造全过程数据分析技术。

**考核指标**

（1）制造数据综合分析及制造过程数据可追溯率准确率高于90%；

（2）采集汇总及分析制造数据种类不低于16种。

**成果形式**

柴油机制造数据资源管理与应用平台、数据模型、专利、软著、论文等。

**研制周期**

36个月。

**课题14：船舶柴油机复杂构件加工工艺及数字化技术研究及验证**

**研究目标**

对船用柴油机机身加工工艺及程序进行分析及再设计，开展加工刀具磨损状态在线监控与工艺参数自适应控制、基于加工状态数据的复杂构件表面质量预测及控制、关键要素在线检测、基于深度学习和聚类分析的加工装备预防性维护等技术研究，构建相应的监控、检测及自适应调控软硬件系统，初步形成一套针对柴油机复杂构件“半无人值守”智能制造单元，以柴油机关重件机身、缸盖为对象开展应用验证，提升船用柴油机复杂构件加工效率及质量稳定性，降低制造成本。

**研究内容**

（1）面向无人值守加工的柴油机复杂构件制造全过程工艺分析及设计；

（2）加工刀具磨损状态在线监控与工艺参数自适应控制技术研究；

（3）基于加工状态数据的复杂构件表面质量预测及控制技术研究；

（4）复杂构件关键要素在线检测技术研究；

（5）基于深度学习和聚类分析的关键加工装备预测性维护技术研究。

**考核指标**

（1）机身加工50%以上工时实现“无人值守”；

（2）机身、缸盖有效切削率提升20%；

（3）机身、缸盖关重加工要素一次过检率提升到95%以上；

（4）实现机身主轴承孔、凸轮轴孔等关重特征的在位检测，检测效率提升30%以上。

**成果形式**

**软件成果：**

工艺流程及规范、数控程序、控制系统、表面质量预测软件、预测性维护模型、专利、论文等。

**硬件成果：**

工装、检测装置、样件等。

**研究周期**

36个月

**课题15：船舶柴油机关重件部套装配检测工艺及数字化技术研究**

**研究目标**

开展船用柴油机高精度数字化装配工艺设计与仿真优化、装配质量数字化检测及质量评估、自动化安装装备系统集成及控制、装配物料动态精准仓储及配送、零部件清洗及整机清洁度控制技术研究，形成船用柴油机关重件部套装配检测工艺及数字化流程规范，开发数字化检测及自动化装配工艺装备，提升船用柴油机装配效率及质量稳定性。

**研究内容**

（1）船用柴油机关重件部套高精度数字化装配工艺设计与仿真优化技术研究；

（2）船用柴油机关重件部套装配质量数字化检测及质量评估技术研究；

（3）船用柴油机关重件部套自动化安装装备系统集成及控制技术研究；

（4）船用柴油机装配物料动态精准仓储及配送关键技术研究；

（5）船用柴油机零部件清洗及清洁度控制技术研究。

**考核指标**

（1）装配试验关键过程质量数据数字化检测率达80%以上；

（2）形成3种零部件检测仿真模型，仿真结果与实际测量误差＜10%；

（3）建立缸盖组件自动化装配单元，可满足大于等于3型柴油机缸盖组件自动化装配，装配效率相对于传统的人工装配提升50%以上；

（4）现场装机物料配送精准率≥95%，提升船用柴油机装配环节资源配置及配送效率30%以上；

（5）柴油机关重件清洗效率提高30%以上。

**成果形式**

**软件成果：**

技术规范、工艺流程、控制规范、专利、论文等。

**硬件成果：**

工装、检测装置、专用清洗及清砂装置等。

**研究周期**

36个月。

**方向三：船舶柴油机先进试验测试方法**

**课题16：船舶柴油机关键摩擦副状态监测及失效评估技术研究**

**研究目标**

建立基于形貌特征的摩擦副失效等级评价方法和标准，开展不同失效模式的故障模拟试验，建立基于形貌特征、监测特征的摩擦副性能退化模型，形成物理模型与数据模型相结合的在线使用性能评价方法。

**研究内容**

（1）关键摩擦副退化等级划分及评估方法研究；

（2）关键摩擦副状态监测及特征提取技术研究；

（3）关键摩擦副典型失效模拟试验技术研究及验证；

（4）关键摩擦副性能退化模型构建技术研究及验证；

（5）关键摩擦副在线失效评估方法研究及验证。

**考核指标**

（1）缸套-活塞环、曲轴-轴瓦、气阀-阀座摩擦副性能判别等级不低于3级；

（2）在船用单缸机试验平台上实现缸套-活塞环、气阀-阀座异常磨损失效模式模拟试验，摩擦副性能在线评估判别准确率不低于90%，监测特征响应时间≤1s；

（3）在模拟试验平台上实现曲轴-轴瓦胶合失效模式模拟试验，摩擦副性能在线评估判别准确率不低于90%，监测特征响应时间≤1s。

**成果形式**

**软件成果：**

等级划分及判定规范、方法指南、在线评估策略、失效图谱及数据库等。

**硬件成果：**

在线监测与评估系统、试验件等。

**研究周期**

36个月。

**课题17：大功率船舶柴油机电控喷油器瞬态喷射压力光电感知技术研究与验证**

**研究目标**

开展智能化感知技术研究，以柴油机典型信号中高频高压的电控喷油器瞬态喷射压力信号为对象，开展整机运行条件下电控喷油器瞬态喷射压力信号光电感知技术研究，完成电控喷油器瞬态喷射压力传感系统的共轨平台及配机试验验证，形成电控喷油器瞬态喷射压力光电感知系统设计规范、光学特性参数测试数据库。

**研究内容**

（1）大功率船用柴油机电控喷油器瞬态喷射压力光电感知系统总体技术研究；

（2）光电感知系统解调单元设计技术研究及验证；

（3）光电高压微型传感器设计技术研究及验证；

（4）大功率船用柴油机电控喷油器瞬态喷射压力光电感知系统共轨系统平台及配机试验验证。

**考核指标**

（1）光电感知系统可满足船用柴油机电控喷油器液压桥路瞬态压力测量、信号解调要求；

（2）光电感知系统测量压力范围：0～250MPa；

（3）光电感知系统测量误差：≤3%FS；

（4）光电感知系统响应频率：≥10kHz；

（5）光电高压微型传感器工作温度范围：0～200℃。

**成果形式**

**软件成果：**

设计规范、设计流程、试验方法、数据库等。

**硬件成果：**

样件等。

**研究周期**

36个月。

**课题18：船舶柴油机试验数据集成及结构化技术研究**

**研究目标**

开展船用柴油机试验数据集成及结构化技术研究，形成柴油机试验数据的清洗、识别和结构化方法，实现船用柴油机试验数据的高度集成和多维结构化，提高船用柴油机试验数据的集成及应用水平。

**研究内容**

（1）船用柴油机试验数据集成及结构化总体技术研究；

（2）船用柴油机试验数据的清洗、识别及结构化技术研究；

（3）典型系统运行状态试验数据的关联检索与分析技术研究；

（4）船用柴油机试验典型故障数据的集成及应用方法研究；

（5）船用柴油机试验数据应用平台设计开发。

**考核指标**

（1）结构化数据覆盖满足要求；

（2）建立试验数据的关联检索与分析方法，数据检索速度不低于100万条/秒；

（3）建立至少包含船用柴油机环境适应性、瞬态性能、起动能力、曲轴系止推能力的4种关键性能特征参数数据库；

（4）建立不少于2型船用柴油机的典型试验故障数据库。

**成果形式**

**软件成果：**

测试规范、数据库等。

**硬件成果：**

试验数据应用平台等。

**研究周期**

36个月。

**方向四：船舶柴油机运维保障技术**

**课题19：船舶柴油机推进动力装置实时故障诊断技术研究**

**研究目标**

以船用柴油机动力装置为研究对象，开展船用柴油机动力装置故障诊断总体架构及评估决策技术、设备典型故障信息识别及提取技术、集成匹配典型故障诊断技术、故障诊断验证技术等研究，总结形成经验证的船用柴油机动力装置实时故障诊断设计方法和规范，提升动力装置可靠性和智能化水平。

**研究内容**

（1）船用柴油机动力装置故障诊断总体架构及评估决策技术研究；

（2）船用柴油机动力装置设备典型故障信息识别及提取技术研究；

（3）船用柴油机动力装置集成匹配典型故障诊断技术研究；

（4）船用柴油机动力装置故障诊断技术验证研究。

**考核指标**

（1）船用柴油机推进动力装置故障识别方法准确率≥90%；

（2）船用柴油机推进动力装置故障信息检测方法≥5类，识别时间≤1s；振动分析频率带宽≥20kHz，10～1000Hz范围内声振速度RMS值分析精度≥95%；轴线对中状态实时监测精度达到0.02mm；

（3）船用柴油机推进动力装置故障诊断系统样机故障检测率≥80%，故障虚警率≤5%。

**成果形式**

**软件成果：**

数据库、诊断方法、评估方法及流程、验证方法、系统软件等。

**硬件成果：**

样机、在环验证平台等。

**研究周期**

36个月。

**方向五：船舶柴油机基础共性技术**

**课题20：基于MBSE的船舶柴油机数字化设计与制造顶层技术研究**

**研究目标**

以研发制造流程为主线，以协同设计、数字化制造为基础，建立基于MBSE的船用柴油机数字化设计与制造顶层架构与目标图像，开展基于MBSE的船用柴油机数字化设计与制造平台顶层设计、数字化设计与制造体系框架及标准接口、数字化设计技术、特征数据识别及结构化、基于设计模型的零部件和整机数字化工艺规划等研究。

**研究内容**

（1）基于MBSE的船用柴油机数字化设计与制造平台顶层设计研究；

（2）船用柴油机数字化设计与制造体系标准接口研究；

（3）基于流程驱动的船用柴油机总体性能数字化设计技术研究；

（4）船用柴油机总体性能特征数据识别及结构化技术研究；

（5）基于设计模型的柴油机及零部件数字化工艺规划研究；

（6）多工序工艺模型和多源数据驱动的柴油机制造质量控制研究。

**考核指标**

（1）建立流程驱动的数字化仿真设计平台，船用柴油机产品及工艺设计流程数字化覆盖率达到60%；

（2）船用柴油机数字化设计研发工具/数字样机模型集成接口不少于20种；

（3）实现柴油机总体性能、动力单元等主要系统的特征参数识别，建立船用柴油机数字化仿真设计流程、标准及规范；

（4）数字化工艺设计覆盖率90%，电控喷油器、缸盖等影响整机装配质量和性能参数的关键零部件关重要素数字化检测覆盖率100%。

**成果形式**

顶层设计报告、仿真平台、性能模型、仿真流程、标准规范、数据库、工艺质量模型等。

**研究周期**

36个月。

**课题21：船舶动力技术成果发展研究**

**研究目标**

围绕船舶动力系统及设备研制生产标准体系建设及主干标准研制的需求，总结固化已形成的船舶动力领域相关标准（草案）的应用成果，分领域梳理标准现状及关键标准研究，提出各级标准及建设需求，制定标准化发展建设路线，进一步完善船舶动力系统标准体系，研发标准贯彻实施系统，提升标准数字化应用水平，满足船舶动力系统及设备研制生产等关键技术攻关需要。同时，开展专用软件调研，形成专用软件体系相关情况报告。

**研究内容**

（1）标准适用性及标准需求分析；

（2）标准化发展路线及专用软件发展研究；

（3）工程关键标准预先研究及标准验证；

（4）标准贯彻实施系统研制。

**考核指标**

（1）船舶柴油机领域关键标准不少于40项；

（2）船舶燃气轮机领域关键标准不少于30项；

（3）船舶动力传动系统关键标准不少于20项；

（4）船舶综合电力系统关键标准不少于30项；

（5）船舶动力领域专用软件发展研究报告1份；

（6）标准贯彻实施系统1套，形成单机版和网络版两种版本，实现标准在线查询、全文阅读、智能推送、意见反馈等功能。

（7）标准适用性及标准需求分析报告1份，标准化发展路线涵盖未来3-5年标准制修订建议及标准体系。

**成果形式**

标准、研究报告、软件、需求分析报告等

**研究周期**

24个月。

二、船舶燃气轮机领域

**方向一：船舶燃气轮机先进设计方法**

**课题22：船舶燃气轮机智能感知及控制技术研究与验证**

**研究目标**

开展基于决策大模型的船舶燃气轮机智能运行控制系统研究，完成决策大模型知识驱动的船舶燃气轮机智能控制系统设计及试验验证，形成基于决策大模型的船舶燃气轮机智能运行控制系统设计规范、控制策略与控制算法软件、原理样机及试验验证，建立船舶燃气轮机智能控制系统设计体系。

**研究内容**

（1）开展船舶燃气轮机智能感知技术研究；

（2）开展船舶燃气轮机智能运行决策大模型技术研究；

（3）开展船舶燃气轮机容错控制及自寻优控制技术研究；

（4）开展船舶燃气轮机智能控制系统设计技术研究；

（5）开展船舶燃气轮机智能控制系统试验方法研究及试验验证。

**考核指标**

（1）感算传端侧智能部件信息处理周期满足要求；

（2）船舶燃气轮机工作环境下智能大模型决策正确率不低于95%，决策时间满足要求；

（3）用于综合电力系统的控制精度、用于机械推进的控制精度，以及运算周期满足要求。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

（1）船舶燃气轮机感算传智能端侧部件原理样机；

（2）船舶燃气轮机智能运行决策大模型训练及仿真平台；

（3）船舶燃气轮机智能控制系统原理样机。

**研究周期**

36个月。

**课题23：船舶燃气轮机自适应耦合数字化设计技术研究**

**研究目标**

基于结构与性能参数一体化智能耦合快速寻优的自适应耦合算法，开展船舶燃气轮机三大部件基本通流结构参数化与流热声等多物理场性能、基本单元结构参数化与流热固应力及模态的自适应耦合多目标寻优方法研究，构建燃气轮机各主要部件组成的有机整体的数字化设计方法，形成智能参数化建模与性能仿真数据库，实现数字化燃气轮机从部件到整机的智能设计、性能预测及数字化性能试验，为快速工程化设计提供方法及工具。

**研究内容**

（1）基于结构与性能参数一体化智能耦合快速寻优的自适应耦合算法研究；

（2）燃气轮机三大部件基本通流结构可控几何边界与流热声等多物理场性能的自适应耦合多目标寻优方法研究；

（3）燃气轮机三大部件基本单元结构可控几何边界与流热固应力及模态的自适应耦合多目标寻优方法研究；

（4）基于基本单元结构参数化构建的三大部件多物理场性能自适应耦合集成与多目标寻优方法研究；

（5）整机各部件热力性能与结构匹配参数化耦合优化集成设计方法研究。

**考核指标**

（1）基于结构与性能参数一体化智能耦合快速寻优的自适应耦合算法；

（2）基本通流结构可控几何边界与流热声等多物理场性能的自适应耦合多目标寻优方法，典型基本通流结构寻优结果与试验结果相比误差不大于1%；

（3）基本单元结构可控几何边界与流热固应力及模态的自适应耦合多目标寻优方法，典型基本单元结构寻优结果与试验结果相比误差不大于3%；

（4）三大部件多物理场性能自适应耦合集成与多目标寻优方法，部件总体热力性能典型稳态工况寻优结果与试验结果相比误差不大于2%；

（5）整机各部件热力性能与结构匹配参数化耦合优化集成设计方法，整机总体性能典型稳态工况寻优结果与试验结果相比误差不大于3%、典型动态工况寻优结果与试验结果相比误差不大于8%。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

（1）基本通流结构试验件；

（2）基本单元结构试验件；

（3）三大部件原理试验件；

（4）整机原理试验件等。

**研究周期**

36个月。

**课题24：船用燃气轮机转子构件表面附着物沉积生长机理及高效抑制方法验证**

**研究目标**

聚焦海洋盐雾环境下船用燃气轮机颗粒沉积、腐蚀及性能衰退，采用试验和数值仿真方法掌握多相态颗粒在船用燃机内部的沉积、熔化凝结以及生长机制；获得颗粒物沉积、腐蚀、冲蚀以及粘附等对燃机部件及整机气热性能衰退影响机理；形成燃气轮机转子部件高效抗砂尘、气溶胶设计技术。

**研究内容**

（1）砂尘、盐雾气溶胶在压气机内颗粒运动、沉积及生长机理研究；

（2）砂尘、盐雾在涡轮内部反应、相变及沉积特性机理研究；

（3）颗粒不同沉积、腐蚀、粘附条件下对燃机气热性能影响规律研究；

（4）砂尘、盐雾等复杂海况条件下整机寿命及性能衰退评估方法研究。

**考核指标**

（1）复杂海况条件下，燃机性能衰退评估精度不大于10%；

（2）压气机性能衰退预测精度与试验误差不超过5%；

（3）涡轮气热性能退化率预测值与实验结果误差≤10%。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

（1）燃气轮机颗粒沉积、腐蚀、冲蚀及气热性能实验装置及试验件；

（2）燃气轮机压气机及涡轮叶片抗砂尘、盐雾设计样件。

**研制周期**

36个月。

**课题25：运行环境下船用燃气轮机转子支撑系统优化设计技术研究及验证**

**研究目标**

开展船用燃气轮机转子支撑系统在运行环境下的高可靠性设计及工艺技术攻关，以及转子支撑系统复杂工作环境作用机理及仿真方法、支撑-轴系动力学耦合优化方法、多组件支撑系统连接优化设计及评估方法等研究工作，并完成部件或整机条件下的多层次试验验证，建立高可靠性的船用燃气轮机转子支撑系统模型，形成转子支撑系统设计及评估规范、轴向压紧工艺规范等方法工具，解决高压后机匣油腔零组件磨损问题。

**研究内容**

（1）后机匣油腔转子支撑系统复杂工作环境作用机理及仿真方法研究；

（2）支撑-轴系动力学耦合优化方法研究及验证；

（3）多组件支撑系统连接优化设计、工艺研究、长时可靠性评估方法研究及验证；

（4）高可靠性船用燃气轮机转子支撑系统模型试验验证。

**考核指标**

（1）压气机涡轮转子热端支撑系统温度分布计算值与试验值结果偏差不大于10%；

（2）轴承轴套结构刚度预测误差不大于5%；

（3）典型工况下，压气机涡轮转子连接热态剩余预紧力较优化前提升1倍以上；

（4）整机性能试验前后，轴承内环、调整环、动环等关键件相对于转子周向转动量满足要求。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、规范、模型、数据库等。

**硬件成果：**

转子支撑系统试验样件。

**研究周期**

36个月。

**课题26：船用发电燃气轮机安保技术研究与验证**

**研究目标**

开展船用发电燃气轮机复杂场景下安全保护系统架构研究，完成满足要求的船用发电燃气轮机安全保护系统设计及试验验证，形成船用发电燃气轮机安全保护性评估方法，船用发电燃气轮机安全保护系统设计规范、软件、原理样机及试验验证，建立船用发电燃气轮机安全保护系统设计体系。

**研究内容**

（1）开展船用发电燃气轮机安全保护性评估技术研究；

（2）开展船用发电燃气轮机安全完整性优化设计技术研究；

（3）开展船用发电燃气轮机安全保护策略及算法研究；

（4）开展基于船用发电燃气轮机安全保护系统设计技术及验证。

**考核指标**

（1）安全保护系统结构形式不少于3种；

（2）安全保护系统动作响应时间满足要求；

（3）安全完整性等级不低于二级。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

船用发电燃气轮机安全保护系统原理样机。

**研究周期**

36个月。

**课题27：船用燃气轮机叶片性能与可靠性综合优化设计技术研究**

**研究目标**

开展压气机高性能叶型设计与结构可靠性综合优化设计方法、高温涡轮动叶片榫接结构抗疲劳优化设计方法研究，建立运行环境下压气机静叶气热固耦合、动静应力耦合疲劳特性分析方法及耦合热循环、机械载荷循环的高温叶片榫接结构可靠性提升优化方法，并完成模拟运行环境下的考核验证及整机试验验证。

**研究内容**

（1）高性能压气机静叶叶型与抗疲劳性能综合优化设计方法研究；

（2）高压压气机静叶环气热固耦合变形分析、结构优化研究及验证；

（3）高温涡轮动叶片榫接结构抗疲劳优化设计技术研究；

（4）热-机复合疲劳综合环境高温榫接结构考核验证方法研究。

**考核指标**

（1）与现有机组相比，在保证压气机级效率不下降的前提下，优化后静叶片静强度储备提升不小于20%；叶片振动疲劳极限值提升不小于10%；

（2）与现有机组相比，优化后涡轮动叶片榫接结构最大应力下降不低于20%，榫接喉部截面、榫齿工作面平均强度储备提升不小于10%；台架热机复合疲劳试验条件下，高温榫接关键结构区域静态应力仿真值与实测值误差不高于10%。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

（1）压气机静叶试验件；

（2）压气机静叶叶栅试验件；

（3）高温涡轮动叶片试验件。

**研究周期**

36个月。

**方向二：船舶燃气轮机先进工艺技术**

**课题28：船舶燃气轮机涡轮机匣耐腐蚀高温可磨耗封严涂层应用评估研究**

**研究目标**

为了建立与无冠单晶合金涡轮叶片刮削配合的机匣封严涂层应用评估体系，开展适用于船舶燃气轮机运行条件下的涡轮机匣耐腐蚀高温封严涂层匹配性、制备工艺研究，以及复杂运行环境下的封严涂层失效机理研究及性能评价，建立耐腐蚀高温可磨耗封严涂层设计、工艺制备及性能评价方法。

**研究内容**

（1）船舶燃气轮机涡轮机匣耐腐蚀高温可磨耗封严涂层匹配性研究；

（2）基于先进喷涂制备工艺的封严涂层性能调控技术研究；

（3）复杂运行环境条件下的封严涂层失效机理及性能评价研究。

**考核指标**

（1）适用于船舶燃气轮机结构具有高度适配性的耐腐蚀高温可磨耗封严涂层不少于2种；

（2）涂层与基体结合力不小于35MPa；96h盐雾腐蚀试验条件下，涂层质量损失不大于100g/m2，外观评级不小于3级；室温条件下的涂层冲蚀速率不小于30s/mm；涂层在指定条件下的热震次数满足要求；

（3）模拟运行环境下封严涂层刮磨性能满足要求。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、数据库等。

**硬件成果：**

（1）可磨耗封严涂层性能试验样件；

（2）带有目标封严涂层的实尺寸外环样件；

（3）可磨耗封严涂层验证试验工装。

**研究周期**

36个月。

**方向三：船舶燃气轮机试验测试方法**

**课题29：燃气轮机进气全流道含盐流动测试、评估与主动腐蚀防护技术**

**研究目标**

开展基于进气道全域盐计量的燃气轮机进气含盐耦合流动测试、评估技术研究，提出主动式进气腐蚀防护方法；形成基于不同燃气轮机进气盐分容许值标准和进气腐蚀防护设计准则。

**研究内容**

（1）复杂海洋进气环境精确模拟与盐计量测试技术研究；

（2）燃气轮机进气系统与压气机内部含盐流动测试、评估方法研究；

（3）基于盐雾颗粒在线监测、多级高效过滤、腐蚀预警的主动式防护技术研究；

（4）不同燃气轮机进气盐分容许及防护标准研究。

**考核指标**

（1）盐分在进气系统和压气机内部分布预测误差不大于10%；

（2）进气系统出口含盐量和压气机内部含盐量测试范围覆盖0.001ppm～0.1ppm；

（3）与现有过滤方式相比，在同样应用条件下进气阻力降低和过滤效率提升各不小于20%。多级高效过滤后进气系统出口含盐量满足要求。

**成果形式**

**软件成果:**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

（1）典型工况下燃气轮机进气系统与压气机内部含盐量测试试验装置；

（2）盐雾颗粒在线监测、多级高效过滤、腐蚀预警装置样机；

（3）不同工艺的滤清材料样品4种以上。

**研究周期**

36个月。

**课题30：船用燃气轮机跨音级轴流压气机失稳预测及控制技术**

**研究目标**

开展复杂进气条件/非设计工况下的压气机气动失稳预测及控制技术研究。揭示不同条件下的压气机气动失稳发生机理和典型特征的主要区别，建立反应速度快、可靠性高的失稳信号识别技术，明确可调叶片、级间放气以及机匣处理等现有主/被动控制手段针对不同失稳形式的控制效果，建立可靠有效的多目标耦合控制策略，实现复杂实际条件下多种不同失稳特征的有效控制。

**研究内容**

（1）复杂海洋环境下压气机气动失稳机理及高精度快速预测技术研究；

（2）压气机不同失稳形式的调控机理及有效性研究；

（3）基于自相关技术的压气机失稳信号在线快速识别及修正技术研究；

（4）压气机气动失稳多目标耦合控制策略及有效性验证。

**考核指标**

（1）压气机失稳特性数值预测与实验结果相对误差不大于5%；

（2）失稳自相关响应时间相比深度失速时间提前规定旋转周期以上；

（3）多目标耦合控制策略介入条件下压气机失稳发生率满足要求。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

（1）压气机失稳多目标耦合控制机构样机；

（2）压气机失稳信号采集与识别试验装置。

**研制周期**

36个月。

**课题31：船舶燃气轮机发电机组运行稳定性技术研究**

**研究目标**

开展特殊环境下船舶燃气轮机发电机组运行稳定性、控制及附属系统特殊环境适应性、燃气轮机发电机组转子系统安全性等研究，建立极端条件下燃气轮机发电机组状态边界模型，形成燃气轮机发电机组运行稳定性分析能力。

**研究内容**

（1）燃气轮机发电系统运行稳定性研究；

（2）燃气轮机发电机组控制技术研究；

（3）燃气轮机发电机组轴系安全性研究；

（4）燃气轮机发电机组状态边界预测技术研究。

**考核指标**

（1）燃气轮机发电机组负荷突变下运行边界计算精度不低于90%；

（2）燃气轮机发电机组的转速瞬态控制精度满足要求；

（3）燃气轮机发电机组转子动力学特性仿真结果误差不超过5%，振动响应误差不超过10%。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

（1）燃气轮机发电机组控制系统模块原理样件；

（2）燃气轮机发电机组轴系弯扭纵耦合一体化动力学试验件。

**研制周期**

36个月。

**方向四：船舶燃气轮机运维保障技术**

**课题32：融合数据与机理知识的船舶燃气轮机机载健康评估技术研究及验证**

**研究目标**

研究构建面向现场运维的船舶燃气轮机机载健康评估指标体系，融合性能退化机理、振动噪声分析、数据融合学习等技术，开展机载健康评估技术研究，建立船舶燃气轮机机载健康评估系统，并完成应用验证。

**研究内容**

（1）面向现场运维的船舶燃气轮机机载健康评估指标体系研究；

（2）基于性能退化机理的船舶燃气轮机健康评估技术研究；

（3）基于声振信息融合的船舶燃气轮机健康评估技术研究；

（4）融合数据和机理知识的船舶燃气轮机健康态势感知和预测技术研究；

（5）船舶燃气轮机机载健康评估应用验证。

**考核指标**

（1）典型故障动力学特征机理与模型试验测量结果主要频率偏差<5%；

（2）船舶燃气轮机机载健康评估系统至少包括整机健康评估，以及压气机、燃烧系统、振动综合、燃油系统、滑油系统、起动系统等6个子系统的健康评估；

（3）系统应用验证应涵盖船舶燃气轮机的运行数据；

（4）系统应用验证应包含不少于20小时整机试验验证。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

船舶燃气轮机机载健康评估系统样机。

**研究周期**

36个月。

**课题33：典型工况下燃气轮机推进系统综合性能评估与预测技术研究及验证**

**研究目标**

开展燃气轮机推进系统综合性能评估与预测系统顶层设计技术研究、系统设计技术研究、系统开发与集成研究、系统验证研究等工作，形成典型工况下燃气轮机推进系统综合性能评估与预测系统设计能力，实现对燃气轮机推进系统综合性能的定量化评估与预测。

**研究内容**

（1）燃气轮机推进系统综合性能评估与预测系统顶层设计技术研究；

（2）燃气轮机推进系统综合性能评估与预测系统设计技术研究；

（3）燃气轮机推进系统综合性能评估与预测系统开发与集成研究；

（4）燃气轮机推进系统综合性能评估与预测系统验证研究。

**考核指标**

（1）燃气轮机推进系统覆盖运行方式数共计不少于9种；

（2）典型工况下燃气轮机推进系统综合性能评估与预测系统评估精度≥90%；

（3）典型工况下燃气轮机推进系统综合性能评估与预测系统预测精度≥90%；

（4）验证平台具备对典型工况下燃气轮机推进系统综合性能评估及预测功能的验证能力。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

（1）燃气轮机推进系统综合性能评估与预测系统样机；

（2）燃气轮机推进系统验证平台。

**研究周期**

36个月。

三、船舶动力传动领域

**方向一：高性能先进动力传动装置设计方法**

**课题34：高性能船舶复合材料传动元件关键技术研究**

**研究目标**

开展船用复合材料传动元件抗损伤、疲劳、绝缘等技术以及平面柱面过渡复合材料传动轴技术、小口径大空腔复合材料联轴器技术及分块式复合材料高弹性联轴器技术研究，形成高性能船用复合材料传动元件上船应用设计流程、规范、数据库，提升复合材料传动元件上船适配能力，为船用动力系统轻量化和升级换代奠定技术基础。

**研究内容**

（1）船用复合材料传动元件损伤特性及防护技术研究；

（2）船用复合材料传动元件失效评估及耐久性技术研究；

（3）高承载复合材料绝缘轴设计技术研究；

（4）平面柱面过渡翻边结构复合材料传动元件设计技术研究；

（5）小口径大空腔一体结构复合材料传动元件设计技术研究；

（6）分块式复合材料高弹性联轴器设计技术研究。

**考核指标**

（1）复合材料传动元件典型结构耐工具跌落（27J）不出现损伤；

（2）复合材料传动元件样机疲劳寿命满足要求；

（3）高承载绝缘型复合材料传动轴样机指标：额定转矩、推力、绝缘电阻满足要求；

（4）平面柱面过渡复合材料传动轴样机指标：额定转矩、许用转速满足要求；

（5）小口径大空腔复合材料联轴器样机指标：额定转矩、许用转速、最大补偿能力、口径腔径比满足要求；

（6）分块式复合材料高弹性联轴器缩比样机指标：额定转矩满足要求。

**成果形式**

**软件成果：**

流程、规范、数据库等。

**硬件成果：**

复合材料传动轴样机、联轴器缩比样机等。

**研究周期**

48个月。

**课题35：高速大滑差接排碳/陶摩擦离合装置设计技术研究及验证**

**研究目标**

开展高速大滑差碳/陶摩擦离合器的设计技术研究并开展相关试验验证。突破高温极端条件下的碳/陶复合材料摩擦元件设计与高效制备技术、离合器复杂温度场下的多体热力学分析技术、离合器大速差接排核心参数动态测试技术等核心关键技术，形成完整的高速大速差摩擦离合器的设计与试验能力，满足大滑差带负荷接排需求。

**研究内容**

（1）碳/陶复合材料强韧性一体化设计与高效制备工艺技术研究；

（2）碳/陶复合材料组织结构与力学性能强化机制研究；

（3）碳/陶摩擦元件动/静态摩擦磨损特性与行为研究；

（4）离合器流-固-热耦合作用条件下控制系统联合仿真技术研究；

（5）高速大滑差摩擦离合器总体设计方法研究；

（6）高速大滑差碳/陶复合材料摩擦离合器试验与测试技术研究。

**考核指标**

（1）高速大滑差碳/陶复合材料摩擦离合器样机，工作转速、接合转速差、传递功率、负载转动惯量、接合时间满足要求；

（2）碳/陶复合材料室温条件下压缩强度≥800MPa，抗拉强度≥340MPa，三点弯曲强度≥350MPa，1000℃条件下压缩强度≥400MPa，抗拉强度≥240MPa；

（3）干式摩擦条件下，静摩擦系数≥0.30，摩擦元件磨损率≤0.9×10-5mm3/J；

（4）离合器温度与应变场测试系统温度测量范围满足要求，应变测试精度50微应变。

**成果形式**

**软件成果：**

设计方法、试验规范、工艺规范、数据库、研究报告、试验报告等。

**硬件成果：**

试验样机、样件等。

**研究周期**

48个月。

**课题36：船舶传动装置数字化构型设计及仿真研究**

**研究目标**

针对船用传动装置及其关键离合联接元部件数字化研发所需解决的结构设计、运动及动力学仿真、性能仿真、设计仿真协同等问题，开展船用传动装置数字化协同设计仿真架构研究，构建船用传动装置数字化协同设计仿真架构平台，为船用传动装置设计仿真全流程数字化奠定基础。

**研究内容**

（1）船用传动装置数字化协同设计仿真架构研究；

（2）基于构型方案的功率多分支传动系统协同设计技术研究；

（3）传动装置及其离合联接元部件数字化设计仿真技术研究；

（4）传动装置及其离合联接元部件试验验证技术研究；

（5）船用传动装置数字化协同设计仿真架构平台构建。

**考核指标**

（1）基于协同设计仿真架构平台至少支持4种典型船舶传动装置总体设计；

（2）支持不少于5种设计建模工具接口，包括但不限于STEP、IGES、STL等通用数据格式的数据交互；

（3）尺寸变动度分析涉及传动元部件覆盖率85%以上，至少包含单斜齿、人字齿、行星轮系、轴、联轴器等典型传动零部件；

（4）基于真实加工尺寸的联轴器挠性元件应力仿真偏差≯15%；

（5）多耦合场分析条件下离合器同步机构接触转速仿真偏差≯15%。

**成果形式**

**软件成果：**

设计规范、软件、研究报告、试验报告等。

**硬件成果：**

综合试验验证系统、试验样件等。

**研究周期**

48个月。

**课题37：基于多物理场的齿轮传动系统设计仿真自主化研究**

**研究目标**

考虑结构、流体、声学和传热等多物理场耦合作用，开展齿轮传动系统数字化设计仿真平台研究工作，建立齿轮传动系统虚拟样机模型、实现部件强度、系统振动及噪声分析，从而形成齿轮传动系统协同设计、仿真、优化和测试等综合能力，指导高质量齿轮传动系统的设计和制造。

**研究内容**

（1）齿轮传动系统结构强度及疲劳寿命分析方法及仿真技术研究；

（2）齿轮传动系统减振降噪设计模型及多物理场仿真技术研究；

（3）齿轮传动功率损失机理、效率分析数值计算方法研究；

（4）轴承设计、强度校核方法及疲劳寿命预测技术研究；

（5）基于多物理场的齿轮传动系统集成仿真技术研究。

**考核指标**

（1）软件具有齿轮传动系统优化设计、动态力学分析、疲劳寿命预测和基于多物理场的多领域仿真分析等功能，结构强度计算精度不低于90%；

（2）形成齿轮传动系统加速度疲劳寿命仿真分析方法，仿真精度不低于国外主流同类软件；

（3）形成支持多物理场的传动系统优化方法，与常规设计相比优化后的振动、噪声降低10%以上，齿根应力、齿面应力下降10%以上；

（4）形成齿轮传动系统传动效率仿真分析方法，仿真精度不低于90%；

（5）设计平台可快速生成齿轮等关键零件，具有通用数据接口。

**成果形式**

数据模型、研究报告、设计流程、软件、验证报告等。

**研究周期**

36个月。

**方向二：高速重载传动装置工艺技术**

**课题38：船舶高速大功率联轴器性能提升工艺技术研究**

**研究目标**

开展船用高速大功率金属挠性联轴器和碳纤维复合材料联轴器性能提升工艺技术研究，选取或制定适当的防腐蚀表面处理、柔性传动轴动平衡、低模量新材料膜盘制造、膜盘表面强化、碳纤维复合材料联轴器连接、碳纤维复合材料挠性元件成型的工艺方法，建立相关工艺规范，以便提高联轴器防腐性能，降低轴系振动激力，提高膜盘补偿能力、疲劳强度和可靠性，提升碳纤维复合材料联轴器成型工艺水平，并对联轴器性能提升效果进行试验验证。

**研究内容**

（1）船用高速大功率联轴器防腐蚀能力提升工艺技术研究；

（2）船用高速大功率联轴器柔性传动轴动平衡工艺技术研究；

（3）高性能低模量钛合金材料膜盘工艺技术研究;

（4）膜盘表面强化工艺技术研究；

（5）高速大功率碳纤维复合材料联轴器连接工艺研究；

（6）碳纤维复合材料挠性元件成型工艺研究。

**考核指标**

（1）中性盐雾试验无锈蚀持续时间满足要求；

（2）柔性传动轴振动最大位移满足要求；

（3）膜盘使用规定弹性模量的钛合金材料，膜盘刚度降低15%；

（4）膜盘疲劳强度提高15%；

（5）碳纤维复合材料联轴器连接处传扭能力、铺放成型工艺挠性元件传扭能力、模压成型工艺挠性元件传扭能力满足要求。

**成果形式**

**软件成果：**

工艺规范、研究报告、试验报告等。

**硬件成果：**

联轴器样机、膜盘样件等。

**研究周期**

48个月。

**课题39：基于仿真与模型的大型高精度船舶齿轮传动装置工艺可靠性研究**

**研究目标**

通过对大型高精度船舶齿轮传动装置关键零部件加工过程物质流、能量流、信息流之间演变及相互作用规律的研究，采用多场/多尺度物理仿真、表面质量模拟等有限元仿真与验证，揭示加工过程中初始残余应力、装夹力、切削力耦合作用下零部件形变应变规律和对加工精度影响规律，进一步阐明加工工艺机理，提高装配工艺控制精度及稳定性，提升大型高精度船舶齿轮传动装置加工、装配精度和工艺可靠性。

**研究内容**

（1）大型高精度齿轮传动箱体关键制造工艺优化及制造质量稳定性研究；

（2）大型高精度齿轮传动轴轴颈局部复合硬化工艺对疲劳性能影响研究；

（3）大型渗碳淬火齿轮硬化层均匀性对疲劳强度影响及工艺稳定性研究；

（4）多源应力场下人字齿圈和长轴组合行星架精度分析与控制关键技术研究；

（5）大型高精度齿轮传动装置关键零部件装配工艺精度控制及稳定性研究。

**考核指标**

（1）箱体加工关键指标精度达到3级；

（2）轴颈硬化达到HRC40，疲劳强度寿命满足船舶同期；

（3）加工效率提高30%；

（4）行星减速器的机脚振动降低1～2dB。

**成果形式**

**软件成果：**

轴颈硬化、渗碳淬火硬化层、磨齿余量智能分配等仿真软件。

**硬件成果：**

样件及工装等。

**研究周期**

36个月。

**方向三：船舶传动装置试验测试方法**

**课题40：双机并车齿轮传动装置振源识别及异响控制技术研究**

**研究目标**

开展双机并车齿轮传动装置振源识别及异响控制技术研究，揭示在内外部多激励、多约束、多耦合关系下复杂并车齿轮传动装置产生异响的动态响应机制，形成双机并车齿轮传动装置振源识别测试方法和异响特征评价方法，支撑双机并车齿轮传动装置异响试验及控制研究；并通过开展引起异响的多因素耦合影响研究，提出可应用于两级或多级减速的复杂双机并车齿轮传动装置异响控制设计方法。

**研究内容**

（1）双机并车复杂齿轮传动装置瞬态动力学仿真研究；

（2）多因素耦合作用下双机并车复杂齿轮传动装置敲击异响机理研究；

（3）双机并车复杂齿轮传动装置振源识别及异响特征评价研究；

（4）双机并车齿轮传动装置异响特征测试及验证试验研究；

（5）双机并车齿轮传动装置异响的影响因素及控制研究。

**考核指标**

（1）双机并车复杂齿轮传动装置轴系仿真固有频率与试验验证偏差小于10%；

（2）建立双机并车复杂齿轮传动装置异响分析动力学模型，用于分析并车齿轮传动装置的异响特征，分析得出双机并车齿轮传动装置异响产生部位与测试结果基本一致，异响发生时角加速度仿真值与实测值偏差不超过10%；

（3）掌握双机并车复杂齿轮传动装置振源识别方法，应用于并车复杂齿轮传动装置异响的识别，可定位异响产生具体部位和识别出异响特征信息；

（4）掌握复杂因素耦合作用下双机并车齿轮异响分析方法，可考虑多因素耦合作用分析并车齿轮传动装置异响出现的转速范围，与台架模拟试验验证出现的异响转速范围偏差小于5%；

（5）掌握并车齿轮传动装置异响匹配控制方法，经试验台模拟验证通过优化匹配可降低异响产生的振动幅值3～5dB。

**成果形式**

**软件成果：**

动力学模型、控制设计方法、研究报告、试验报告等。

**硬件成果：**

模拟试验装置、传动装置对比试验件等。

**研究周期**

48个月。

**方向四：船舶传动装置运维保障技术**

**课题41：船用大功率轴系后传动装置可靠性技术及验证**

**研究目标**

探索船用大功率轴系后传动装置可靠性设计方法，建立包含船用大功率弹性离合器和推力轴承的复杂工况多应力（机械载荷、热载荷及环境载荷）下的故障模式、故障机理、优化改进设计方法、寿命提升的可靠性设计方法，揭示船用大功率轴系后传动装置故障机理，突破后传动装置摩擦和动力学建模技术、关键部件材料制备和可靠性提升、工艺装配和磨损预测、多场耦合故障建模及诊断技术等可靠性技术，初步形成船用大功率轴系后传动装置可靠性正向设计能力。

**研究内容**

（1）船用推力轴承关键零部件失效概率模型及可靠性评估方法研究；

（2）交变负载高应力点接触轴承支承结构可靠性优化及工艺验证；

（3）船用推力轴承故障机理及诊断技术研究；

（4）船用大功率离合器关键弹性部套件疲劳损伤分析及验证；

（5）船用大功率离合器传扭部件多应力载荷下摩擦磨损分析及验证；

（6）船用大功率离合器多应力载荷故障机理及可靠性设计方法研究；

（7）船用后传动装置可靠性提升及可靠性设计方法研究。

**考核指标**

（1）船用轴系后传动装置MTBF提升25%；

（2）形成大功率弹性离合器、推力轴承可靠性评估方法。

**成果形式**

**软件成果：**

设计规范、评估报告、数据库等。

**硬件成果：**

大功率弹性离合器可靠性验证样机、推力轴承可靠性验证样机等。

**研究周期**

36个月。

**课题42：船舶传动装置可靠性加速试验验证与评估技术研究**

**研究目标**

开展传动装置关键设备及部套件的主要失效模式及失效机理分析，突破多环境应力交叉的传动系统加速模型构建技术、基于传动装置关键性能指标的退化模型构建技术、考虑多因素耦合的传动装置可靠性仿真试验技术，提出传动装置可靠性加速试验验证与评估方法，并开展样机试验验证，形成船用传动装置的可靠性加速试验的标准草案，为我国船用传动装置的研制及可靠性验证评价提供支撑。

**研究内容**

（1）船用传动装置关键部套件失效机理及退化模型分析；

（2）船用传动装置关键部套件的加速因子及加速试验验证；

（3）船用传动装置多应力多失效模式相依竞争条件下加速失效因子研究；

（4）基于部套试验修正的加速仿真及可靠性试验方法研究；

（5）船用动力传动装置可靠性加速试验验证。

**考核指标**

（1）提出一种船用传动装置可靠性加速试验验证与评估方法；

（2）在不改变传动装置失效机理的前提下，船用传动装置关键部套件的可靠性加速试验方法所需试验时间比传统鉴定试验方法减少30%以上；

（3）在不改变传动装置失效机理的前提下，船用动力传动装置可靠性加速试验方法所需试验时间比传统鉴定试验方法减少30%以上；

（4）仿真试验结果与部套件试验或类似型号试验相比误差不超过20%。

**成果形式**

**软件成果：**

传动装置关键部套的加速试验模型、传动系统加速模型、研究报告、试验报告等。

**硬件成果：**

加速试验样件、加速试验装备样机等。

**研究周期**

48个月。

**方向五：船舶传动装置基础共性技术**

**课题43：喷水推进装置数字化设计平台技术研究**

**研究目标**

开展喷水推进装置数字化设计平台技术研究，突破喷水推进装置模块化和参数化设计、基于模型试验数据驱动的性能分析和预报、模型参数化自动化装配、设计同步校核等关键技术，构建喷水推进参数数据库，建立喷水推进参数优化与综合性能预报平台，开发喷水推进数字化设计平台软件系统，提升喷水推进产品研发效率和管理水平，缩短研发周期。

**研究内容**

（1）喷水推进水动力多目标参数优化设计方法研究；

（2）基于模型测试的微流动分析和预报技术研究；

（3）基于数据驱动的模型泵水动力性能预报技术研究；

（4）喷水推进综合性能预报平台研究；

（5）基于参数与关系驱动的喷水推进装置部件数字化设计与装配技术研究；

（6）喷水推进装置参数校验模板及参数同步校核方法研究。

**考核指标**

（1）建立喷水推进数字化设计平台，数字化设计与装配流程在不少于2型装置设计上得到验证；

（2）喷水推进泵参数快速优化外特性结果与模型试验对比误差小于5%；

（3）建立基于基础模板的产品数字化设计方法，形成喷水推进参数数据库，支持6种及以上功能构型属性表达与快速优化，设计效率较传统模式提升30%。

**成果形式**

**软件成果：**

试验数据分析管理平台、仿真平台、设计平台软件、数字模型库等。

**硬件成果：**

性能验证试验模型等。

**研究周期**

48个月。

四、船舶综合电力领域

**方向一：船舶综合电力系统设计方法**

**课题44：无人船混合动力系统设计技术研究与验证**

**研究目标**

开展无人船高效高密度、多能融合及动力混合、智能化动力技术研究与验证，形成无人船混合动力系统的设计体系，提升无人船混合动力系统集成度、功率密度和能量利用效率。

**研究内容**

（1）无人船多工况高密度高效混合动力系统集成优化技术研究；

（2）无人船混合动力系统基于任务规划的多运行工况智能切换与控制技术研究；

（3）混合动力高效多机电端口磁集成能量转换装置设计及其功率控制技术研究；

（4）混合动力多能源系统能量管理技术研究；

（5）混合动力系统预测性故障诊断和柔性降级技术研究；

（6）无人船混合动力系统仿真建模与试验验证技术研究。

**考核指标**

（1）多源混合动力系统多运行工况切换响应时间不大于10ms；

（2）混合动力系统电力推进装置样机的额定效率不低于90%，功率密度不低于200W/kg，20Hz～10kHz振动总振级不大于110dB；

（3）低速工况混合动力系统设计能量效率提升10%以上；

（4）电力推进装置样机故障早期识别率不低于85%；

（5）混合动力系统能量效率、响应时间等仿真设计值与试验测试值的静态偏差不大于5%，动态偏差不大于8%。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

（1）无人船混合动力系统仿真验证平台；

（2）混合动力多机电端口磁集成能量转换装置样机；

（3）混合动力功率变换器样机；

（4）混合动力系统控制器样机。

**研究周期**

36个月。

**课题45：电力电子化的船舶直流组网关键技术研究与验证**

**研究目标**

针对新一代船舶电力系统全电力电子化的发展需求，对电力电子化后船舶直流组网系统存在功率潮流控制复杂、动态运行稳定性低、故障保护难度大的问题，开展电力电子化船舶直流组网拓扑架构、系统多时间尺度建模与分析、直流潮流控制及快速短路故障隔离等关键技术研究与验证，掌握电力电子化船舶直流组网系统设计方法，支撑后续电力船舶研制。

**研究内容**

（1）电力电子化直流组网拓扑架构研究；

（2）电力电子化直流组网多时间尺度建模与仿真技术研究；

（3）电力电子化直流组网运行稳定性及控制技术研究；

（4）基于电力电子高速母联开关的选择性保护策略研究；

（5）电力电子化直流组网试验验证。

**考核指标**

（1）直流组网系统运行模式不少于3种；

（2）直流组网潮流控制响应时间≤20ms、控制精度≥95%；

（3）母线电压动态波动≤10%；

（4）提出优化的直流组网选择性保护匹配策略，选择性保护响应时间≤25μs，运行模式切换时间≤40ms。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

直流组网典型母联潮流控制、直流组网保护等样机。

**研究周期**

24个月。

**课题46：基于分布式混合储能的船舶微电网设计技术研究与验证**

**研究目标**

分析船舶储能功能复用场景及可行性，开展包括分布式混合储能的船舶微电网架构优化设计、功率多目标调度策略、多端口多目标电能转换装置设计及控制技术研究，形成基于分布式混合储能的船舶微电网功率调度设计能力。

**研究内容**

（1）分布式混合储能功能复用场景及可行性分析研究；

（2）基于分布式混合储能的船舶微电网架构优化设计研究；

（3）基于分布式混合储能的船舶微电网多目标调度策略研究；

（4）多端口多目标电能转换装置设计技术研究；

（5）多端口多目标电能转换装置控制技术研究；

（6）基于分布式混合储能的船舶微电网功率调度试验验证技术验证。

**考核指标**

（1）基于分布式混合储能的船舶微电网网络架构优化设计方案和多目标功率调度策略合理可行，功率调度策略考虑的目标数量不少于3个；

（2）多端口多目标电能转换装置能够针对不少于3个目标实现电能转换；

（3）电能变换装置额定效率≥95%；

（4）电网电压波动≤±10%；

（5）功率调度响应时间≤20ms。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

（1）交直流电能变换模块样机；

（2）多端口多目标电能变换装置样机。

**研究周期**

36个月。

**课题47：船舶直流综合电力系统安全性设计与验证研究**

**研究目标**

船舶直流综合电力系统涉及到大功率原动机发电适应性、机电运行匹配与一体化控制、船舶直流系统安全保护与控制、船舶电力推进组合运用、大容量电力电子装置精细控制等多项与传统动力不同的地方，需针对船舶直流综合电力系统安全性设计与验证等方面开展系统性梳理分析，提出船舶直流综合电力系统安全性顶层设计要求与指标体系，查找系统安全性设计薄弱环节，完善船舶直流综合电力系统安全性设计方法与体系，形成船舶直流综合电力系统安全性设计、分析与验证能力，进一步提高船舶直流综合电力系统安全性。

**研究内容**

（1）综合电力系统安全性设计需求与顶层要求研究；

（2）综合电力系统安全性指标体系研究；

（3）大功率原动机发电适应性安全设计研究；

（4）发电机组机电性能安全匹配研究；

（5）船舶直流输配电安全研究；

（6）电力推进安全控制研究；

（7）综合电力系统安全性设计方法与体系研究；

（8）综合电力系统安全性匹配运行研究。

**考核指标**

（1）提出综合电力系统安全性设计顶层要求与指标体系，符合船舶安全使用要求；

（2）提出综合电力系统安全设计方法与体系。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

无。

**研制周期**

24个月。

**课题48：先进多相感应推进电机高性能容错控制方法研究**

**研究目标**

开展适用于多种缺相故障的先进多相感应推进电机的通用容错控制方法研究，并对其容错运行时的运行效率和转矩脉动进行优化，可大幅提高先进多相感应推进电机系统的可靠性和运行寿命，完善多相感应电机故障状态下的数学模型及电磁性能分析的理论体系，建立包含多相感应电机的高性能容错控制方法体系。

**研究内容**

（1）先进多相感应推进电机容错运行状态下的解耦控制研究；

（2）先进多相感应推进电机缺相容错控制策略通用实现方法研究；

（3）先进多相感应推进电机缺相运行时的全工况效率优化控制策略研究；

（4）先进多相感应推进电机缺相运行时的转矩脉动精确抑制方法研究。

**考核指标**

（1）缺相容错运行时的带载能力最大可达到正常运行带载能力、容错运行时的各相电流幅值不对称度满足要求；

（2）电机缺相故障状态下主要转矩脉动分量的最大下降比例满足要求。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

先进多相感应推进电机缺相容错控制器样机。

**研制周期**

36个月。

**方向二：船舶综合电力系统工艺技术**

**课题49：发电机数字化装配工艺协同技术研究**

**研究目标**

初步建立发电机数字化装配工艺设计体系，将虚拟的总装进度变成直观可视的总装流程，实现以数字化模型为载体的发电机装配工艺协同设计，推动发电机数字化装配体系建立，支撑发电机虚拟加工和虚拟装配，实现高质量、低成本生产制造。

**研究内容**

（1）发电机数字化装配信息建模研究；

（2）发电机数字化装配工艺特性识别研究；

（3）发电机数字化装配工艺序列及路径规划研究；

（4）发电机数字化装配工艺平台研究。

**考核指标**

（1）建立至少2种类型发电机的典型拓扑总体架构；

（2）实现发电机数字化装配工艺覆盖范围≥80%。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

发电机典型拓扑装配验证样机。

**研究周期**

24个月。

**方向三：船舶综合电力系统先进试验测试方法**

**课题50：****高速永磁发电机关键部件失效机理分析与试验研究**

**研究目标**

针对当前高速永磁发电机可靠性设计缺少有效方法与平台支撑的问题，以高速转子、辅助励磁系统、电磁悬浮轴承等高速发电机典型零部件故障模式为对象，分析高速永磁发电机关键部件失效机理，掌握高速永磁发电机关键部件可靠性建模方法，建立高速永磁发电机关键部件可靠性预测模型，补充和完善高速永磁发电机设计方法，进一步提升高速永磁发电机可靠性，提高供电系统连续性和稳定性。

**研究内容**

（1）高速永磁发电机转子失效机理及试验方法研究；

（2）高速发电机辅助励磁系统故障模式及分析研究；

（3）高速永磁发电机电磁悬浮轴承失效机理及试验方法研究。

**考核指标**

（1）建立高速永磁发电机转子可靠性预测模型，影响因素≥3种,动态预测精度≥90%；

（2）建立高速发电机辅助励磁系统可靠性预测模型，影响因素≥3种,动态预测精度≥90%；

（3）建立高速永磁电磁悬浮轴承可靠性预测模型，影响因素≥4种,动态预测精度≥90%。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

高速永磁发电机关键试验样件。

**研究周期**

24个月。

**课题51：大功率推进变频器内部特征参数测试及性能评估技术研究**

**研究目标**

开展大功率推进变频器运行电磁环境测量及模拟方法、关键部件特征电气参数在线检测、关键部件性能评估等技术研究，掌握推进变频器内部特征参数测试与评估方法，建立推进变频器测试、评估、试验验证平台，提高推进变频器综合验证能力。

**研究内容**

（1）推进变频器典型运行电磁环境特征测试及模拟方法研究；

（2）推进变频控制器可靠性提升技术研究；

（3）推进变频器功率模块特征参数在线监测技术研究；

（4）推进变频器支撑电容状态在线检测技术研究；

（5）推进变频器关键器件退化感知及评估技术研究与验证。

**考核指标**

（1）推进变频器电磁环境典型特征线谱模拟精度不低于90%；

（2）关键部件参数在线检测精度不低于85%，功率器件结温检测精度不低于90%；

（3）推进变频器功率模块特征参数在线监测类型不小于3种；

（4）推进变频器关键器件退化诊断准确率不低于90%。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

（1）变频器功率模块特征参数提取及监测技术验证样机；

（2）推进变频器关键部件状态诊断及评估技术验证样机。

**研究周期**

24个月。

**课题52：****海洋轮缘推进器失效模式分析及测试技术研究**

**研究目标**

以轮缘推进器结构失效及性能失效为具体研究对象，开展基于模拟实际海洋环境的轮缘推进器失效模式及测试技术研究，建立轮缘推进器失效预测模型，掌握轮缘推进器实际海况失效模式预报分析方法，完善轮缘推进器设计方法。

**研究内容**

（1）轮缘推进器海洋环境密封结构失效评估技术研究；

（2）轮缘推进器海洋泥沙环境水润滑轴承失效评估技术研究；

（3）轮缘推进器海洋环境防腐失效评估技术研究；

（4）轮缘推进器工作状态监测技术研究；

（5）轮缘推进器实际海洋环境模拟及等效测试技术研究。

**考核指标**

（1）轮缘推进器失效形式≥3种；

（2）轮缘推进器工作状态监测失效判别准确率≥65%。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

轮缘推进器模拟海洋环境失效测试平台。

**研究周期**

24个月。

**方向四：船舶综合电力系统运维保障技术**

**课题53：****大功率永磁推进系统状态评估与故障诊断技术研究与验证**

**研究目标**

开展大功率永磁推进系统状态评估故障诊断技术的研究与验证，形成永磁推进系统健康状态评估与趋势预警的能力。

**研究内容**

（1）大功率永磁推进系统特征参数提取技术研究；

（2）大功率永磁推进系统健康状态评估技术研究；

（3）大功率永磁推进电机典型故障分析与在线诊断技术研究；

（4）大功率推进变频器典型故障分析与在线诊断技术研究；

（5）大功率永磁推进系统状态评估与故障诊断方法验证。

**考核指标**

（1）大功率永磁推进系统阻抗特性、磁场特性、转矩脉动等关键特征参数识别精度不低于90%；

（2）大功率永磁推进系统健康状态评估分级等级不少于5个；

（3）建立大功率永磁推进电机典型故障模式数据库，故障模式不少于3类（故障类型：永磁体部分失磁，定子侧绕组开路故障，电机绝缘故障等），诊断准确率不低于85%；

（4）建立大功率推进变频器典型故障模式数据库，故障模式不少于6类（故障类型：电流传感器故障，电压传感器故障，位置传感器故障，功率器件开路故障,功率器件短路故障，电气绝缘故障等），诊断准确率不低于85%。

**成果形式**

**软件成果**：

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

（1）大功率永磁推进系统分布式数据检测板卡；

（2）大功率永磁推进系统状态评估与故障诊断验证平台。

**研究周期**

24个月。

**课题54：****船舶综合电力系统运维数据分析与应用技术研究及验证**

**研究目标**

开展船舶综合电力系统多源异构数据分布式管理技术研究、多源参数融合技术研究、运维数据分析方法研究、运维数据应用技术、运维数据管理和应用平台构建及验证等，形成适用于综合电力系统的运维数据分析流程和准则，完成具备模块化互操作的运维数据分析模块设计及典型应用自主化开发及验证，构建自主化的综合电力系统运维数据管理及应用平台，为综合电力系统全寿命周期的使用提供持续、高效的技术支持。

**研究内容**

（1）船舶综合电力系统多源异构数据分布式关联管理技术研究;

（2）船舶综合电力系统多源参数融合感知技术研究;

（3）典型船舶综合电力系统运维数据分析方法研究;

（4）船舶综合电力系统运维数据应用技术研究;

（5）船舶综合电力系统运维数据管理和应用平台构建及验证。

**考核指标**

（1）具备船舶综合电力系统监测数据、资料、图片等至少3种异构数据的关联管理；

（2）建立覆盖至少5种典型工况下的船舶综合电力系统状态感知模型；

（3）建立船舶综合电力系统失效预测模型不少于2种，失效预测准确度不低于85%；

（4）运维数据写入数据库速率大于100GB/小时；

（5）运维数据管理和应用平台分布式协同节点数≮6。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

船舶综合电力系统运维数据管理和应用自主化平台。

**研究周期**

36个月。

**方向五：船舶综合电力系统基础共性技术**

**课题55：基于MBSE机电混合动力系统设计及协同验证技术研究**

**研究目标**

开展机电混合动力系统设计及协同验证相关研究，形成基于MBSE的动力电力系统设计方法和规范体系，构建动力电力系统虚实融合验证系统，开展MBSE设计和验证，形成行业示范效应。

**研究内容**

（1）基于MBSE的机电混合动力系统正向集成设计方法体系研究；

（2）多系统模块化建模、验模及异构模型柔性集成技术；

（3）面向论证-设计-验证-运维等业务的一体化使能技术研究；

（4）基于MBSE的机电混合动力系统的数字化集成设计与验证。

**考核指标**

（1）基础模型库应涵盖机电混合动力系统的主要设备；

（2）系统虚拟试验全工况主要性能参数的仿真误差与设计值不大于5%，其中全工况性能参数包括且不限于转速、功率、效率、电压、电流、温度、压力等，全工况性能参数不低于15项；

（3）机电混合动力系统需求总数不少于30条，且需求覆盖率达到99%；

（4）系统方案的SysML模型，不少于60个模型元素。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

机电混合动力演示验证系统，含控制仿真系统、动力仿真系统、电力仿真系统等。

**研究周期**

36个月。

**课题56：电力推进系统多学科高精度仿真技术研究与验证**

**研究目标**

开展基于Modelica语言的电力推进系统多学科逻辑模型仿真、电力推进系统多物理场瞬态数值模拟仿真、系统高精度模型耦合降阶方法、系统实时仿真等技术研究，研制电力推进系统多学科联合实时仿真验证平台，提升电力推进系统协同设计与集成仿真能力。

**研究内容**

（1）基于Modelica语言的电力推进系统多学科逻辑模型仿真技术研究；

（2）电力推进系统电磁、温度、振动等多物理场瞬态数值模拟仿真技术研究与验证；

（3）电力推进系统多学科高精度模型耦合降阶方法研究与验证；

（4）电力推进系统多学科异构模型联合仿真技术研究与验证；

（5）电力推进系统高精度实时仿真技术研究与验证。

**考核指标**

（1）建立基于Modelica语言的电力推进系统电磁-热-振动多学科逻辑仿真模型，仿真误差≤15%；

（2）电力推进系统核心设备高精度模型电气性能仿真误差≤5%，温度场仿真误差≤5%，典型振动特征线谱仿真误差≤8%；

（3）建立典型电力推进系统多学科实时仿真模型，仿真结果与实测数据对比误差≤10%。

**成果形式**

**软件成果：**

形成研究相关的报告、标准、规范、模型、数据库、软件等。

**硬件成果：**

（1）综合电力推进系统多学科仿真永磁推进电机验证样机；

（2）综合电力推进系统多学科实时仿真验证平台。

**研究周期**

36个月。

五、二回路领域

**方向一：高性能先进典型系统关键设计方法**

**课题57：典型控制系统开放式可重构技术**

**研究目标**

针对典型控制系统架构集成、重构能力不足等问题，开展架构开放式兼容集成、多源数据理解交互、数据传输重构与任务迁移、信息自恢复容错、功能测试验证等研究，提升典型控制系统的集成性能和自恢复能力。

**研究内容**

（1）典型控制系统架构兼容集成技术研究；

（2）典型控制系统多源数据交互技术研究；

（3）典型控制系统传输重构与任务迁移技术研究；

（4）典型控制系统信息自恢复容错技术研究；

（5）典型控制系统集成测试验证。

**考核指标**

（1）故障下典型控制系统任务重构时间不大于200ms；

（2）控制系统数据兼容种类增加20%及以上；

（3）形成传感器失效监测与自恢复能力；

（4）可兼容不少于3种不同来源软件框架。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）迁移调度软件；

（2）交互软件；

（3）信息恢复软件；

（4）集成测试程序；

（5）控制系统典型交互数据与接口设计规范。

**硬件成果：**

（1）集成重构原理样机。

**研究周期**

36个月。

**课题58：弹性补偿结构设计与状态监测技术**

**研究目标**

针对金属弹性补偿结构性能与安全同步提升需求，开展弹性补偿结构优化设计、高精度成型、变形分析与控制、结构安全评估、样机研制及试验等研究，形成补偿结构安全设计能力。

**研究内容**

（1）弹性补偿结构优化设计技术研究；

（2）弹性补偿结构高精度成型技术研究；

（3）承压件变形分析与控制技术研究；

（4）弹性补偿结构安全评估技术研究；

（5）补偿结构样机研制及试验验证研究。

**考核指标**

（1）相比现有的典型弹性补偿结构，功能参数提升的基础上，进一步提升补偿能力和寿命；

（2）补偿结构相邻波形参数偏差不大于1.5‰；

（3）变形轮廓仿真结果与实验值误差不大于20%。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）弹性补偿结构设计模型；

（2）高精度成型工艺；

（3）状态监测企业标准。

**硬件成果：**

（1）成型样件；

（2）结构原理样机。

**研究周期**

36个月。

**课题59：针对复杂环境的系统适应性关键技术研究**

**研究目标**

针对复杂工况负荷高频快速升降、低温、大倾斜摇摆等复杂环境下的系统安全稳定运行问题，开展系统适应性相关机理与方法规程研究，形成适应复杂环境下系统复杂工况稳定运行、设备高效评估与通海系统防护能力。

**研究内容**

（1）复杂条件下系统响应规律及抑制方法研究；

（2）负荷高频升降下系统功率快速匹配方法及试验验证研究；

（3）复杂工况系统仿真建模及稳定运行技术研究；

（4）复杂环境下关键设备环境适应性虚拟试验评估技术。

（5）复杂环境下系统安全防护技术研究。

**考核指标**

（1）形成系统参数瞬态响应分析方法，有效覆盖多种典型场景，开展仿真和试验验证，模型预测结果与试验结果误差不大于15%；

（2）形成系统负荷高频升降时功率快速匹配方法；

（3）形成复杂环境系统瞬态仿真分析模型，经典型过程缩比试验验证热工参数预测误差不大于15%；

（4）形成复杂环境系统安全防护性能预测模型，误差不大于15%。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）适应复杂环境的系统管道及设备失效分析方法、系统功率快速匹配方法、系统响应分析方法；

（2）复杂环境下系统关键设备环境适应性评估规程及适应性虚拟评估平台；

（3）复杂环境下系统关键设备瞬态运行仿真分析模型；

（4）复杂环境下系统管路特殊工况分析模型。

**硬件成果：**

（1）试验样机。

**研究周期**

36个月。

**课题60：基于动态优化的典型系统预测控制技术研究**

**研究目标**

针对典型系统控制性能不佳、增加额外开销等问题，重点开展运行优化及匹配、综合运行标定机理与模型构建、工作点标定及控制优化、动态切换预测控制、原理样机研制及试验等技术研究，形成满足系统运行的最优控制方法。

**研究内容**

（1）多模式运行优化及匹配研究；

（2）综合运行标定机理与模型构建研究；

（3）工作点标定及控制优化技术研究；

（4）动态切换预测控制技术研究；

（5）原理样机研制及试验研究。

**考核指标**

（1）形成优化运行控制方案；

（2）优化后参数波动值相对于设计值≯5%；

（3）标定后运行功率相对于标定前减小≮5%；

（4）变工况下参数超调大幅下降。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）典型系统标定计算模型；

（2）典型系统稳态控制模型；

（3）典型系统切换预测控制模型。

**硬件成果：**

（1）控制原理样机。

**研究周期**

36个月。

**课题61：冷却系统热流智能管理技术研究**

**研究目标**

针对冷却系统网络复杂、裕量大等带来的设计及调控挑战，开展冷却系统多回路预测、动态响应机理与安全边界、自适应供水、智能调控等研究，形成冷却系统智能分析软件，支撑冷却系统高效设计调控。

**研究内容**

（1）冷却系统多回路热力特性分析技术研究；

（2）冷却系统动态响应机理与安全边界研究；

（3）自适应供水技术研究；

（4）冷却系统智能调控技术研究；

（5）样机研制及性能测试。

**考核指标**

（1）冷却系统预测值与实测值相对误差≯10%；

（2）泵总功率降低≮10%；

（3）研制智能冷却系统样机，全工况无人调控。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）多回路热力特性预测方法；

（2）自适应供水方法；

（3）冷却系统智能分析方法；

（4）冷却系统智能分析软件。

**硬件成果：**

（1）智能冷却水系统原理样机。

**研究周期**

36个月。

**方向二：典型系统模块化建造关键工艺技术**

**课题62：复杂变形下典型系统高可靠建造工艺研究**

**研究目标**

面向挠性接管变形超差、初始缺陷导致的渐进失效等安装建造问题，开展模块及设备安装前后变形规律、系统狭小空间安装及变形控制工艺、管路渐进失效与初始缺陷控制工艺、挠性接管变形超差控制工艺和系统模块变形及管路控制工艺试验验证等研究，降低管路在恶劣海洋环境下运行失效风险，完善系统高质量建造工艺。

**研究内容**

（1）模块变形规律研究；

（2）安装及变形控制工艺研究；

（3）管段高精度加工工艺研究；

（4）接管变形下管路静力学特性分析及控制工艺研究；

（5）管路建造工艺试验验证。

**考核指标**

（1）变形预测精度≮90%；

（2）形成变形控制工艺要求；

（3）管路管段加工工艺；

（4）形成挠性接管变形控制工艺方案，最大应力水平降低≮20%。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）变形分析模型；

（2）安装及变形控制工艺；

（3）管段加工工艺；

（4）接管变形控制工艺。

**硬件成果：**

（1）工艺验证试验装置。

**研究周期**

36个月。

**课题63：汽轮机组关键部件装配、制造及数字化总装工艺技术研究**

**研究目标**

针对船舶汽轮机高可靠性要求和制造工艺水平不高的问题，重点开展汽轮机高效高精度动平衡工艺、高质量稳定的钛合金换热管与管板胀接工艺、汽轮机组关键部件轻量化材料技术、机组关键部件及整机高精度装配与数字化预装配工艺、部件至整机总装过程中机组模态变化规律、基于数字化预装配的高精度总装工艺验证等研究，形成批量稳定的汽轮机组关键部件制造、装配工艺设计能力。

**研究内容**

（1）汽轮机高效高精度动平衡工艺研究；

（2）高质量稳定的钛合金换热管与管板胀接工艺研究；

（3）汽轮机组关键部件轻量化材料技术研究；

（4）机组关键部件及整机高精度装配与数字化预装配工艺研究；

（5）部件至整机总装过程中机组模态变化规律研究；

（6）基于数字化预装配的高精度总装工艺验证研究。

**考核指标**

（1）在规定转速范围内动平衡最大振动烈度≤0.20mm/s；

（2）换热管与管板密封结构能承受水压试验压力、设计交变载荷及极限交变载荷的疲劳寿命满足要求；

（3）应用轻量化材料后，在原有质量基础上减少≮10%，形成满足设计载荷要求的冷凝器低肋钛合金换热管管型集；

（4）汽轮机组总装过程部件返修率减少≮10%。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）汽轮机高效高精度动平衡规范；

（2）形成钛合金换热管与管板胀接工艺流程和准则；

（3）船舶冷凝器低肋钛合金换热管管型集；

（4）基于数字化预装配的汽轮机组高精度总装工艺；

（5）汽轮机组关键部件数字化预装配总装工艺；

（6）汽轮机组关键部件及整机总装过程模态变化规律；

（7）基于数字化预装配的汽轮机组装配工艺验证报告。

**硬件成果：**

（1）钛合金换热管与管板胀接试验样件1套。

**研究周期**

36个月。

**方向三：典型系统复杂工况试验评估与先进测试技术**

**课题64：多目标敏捷寻优的高性能汽轮发电机组设计与试验测试技术研究**

**研究目标：**

针对汽轮发电机组设计与试验测试中多目标敏捷寻优的需求，掌握基于智能数据分析方法的机组设计与试验测试优化方法，形成智能寻优的设计和试验测试能力，进一步提高设计与试验效率，促进汽轮发电机组研发运行效能提升。

**研究内容**

（1）汽轮机通流部件的流固耦合影响关系研究；

（2）典型通流部件结构对耦合影响变化规律研究；

（3）多目标寻优通流设计方法及优化研究；

（4）关键边界参数对机组性能的影响规律研究；

（5）基于智能数据分析方法的机组试验测试优化方案研究；

（6）设计优化与测试数据寻优软件工具开发与验证。

**考核指标**

（1）基于多目标敏捷寻优工具的机组设计性能优化提升10%以上；

（2）具备敏捷寻优设计的目标参数不少于4个；

（3）对机组性能影响规律的敏感边界参数检出率不低于99%；

（4）多目标敏捷设计软件工具组件不少于6个，具备完善的汽轮机通流设计接口，具有直观人机交互界面。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）典型通流部件结构对耦合影响关系及变化规律；

（2）汽轮机通流多目标优化设计方法；

（3）汽轮机通流综合性能设计评估与优化准则；

（4）关键边界参数对机组性能影响规律；

（5）基于智能数据分析方法的机组试验测试优化方案。

（6）汽轮机通流设计寻优软件。

**研究周期**

36个月。

**课题65：典型系统快速变工况机动性试验评估技术**

**研究目标**

开展系统变工况关键物理现象识别、流量失配特性、压力超限特性、快速升降功率响应特性试验模拟、多种波动能量分析与稳定性等方面的研究，形成一套典型系统快速变工况机动性研究方法，为典型系统机动性试验验证奠定技术基础。

**研究内容**

（1）变工况关键物理现象识别技术研究；

（2）快速变工况下流量失配特性试验研究；

（3）快速变工况下压力超限特性试验研究；

（4）多种波动能量分析与稳定性研究；

（5）快速变工况响应特性试验模拟技术研究。

**考核指标**

（1）形成系统变工况匹配试验方法，掌握系统变工况工作特性，试验值之间的误差不大于20%；

（2）系统快速变工况时，半实物试验模拟关键参数误差不大于15%。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）快速变工况关键物理现象分析方法；

（2）快速变工况匹配试验方法；

（3）波动负载协调设计方法和防失稳设计规则；

（4）快速变工况运行策略。

**硬件成果：**

（1）半实物模拟联调样机。

**研究周期**

36个月。

**课题66：多接口复杂工况控制系统“全栈”高效联调验证技术**

**研究目标**

开展多接口复杂工况控制系统“全栈”高效联调验证技术研究，形成体系化双单元某控制系统联调验证方法及模型，具备高效模型化联调试验能力。

**研究内容**

（1）控制系统模型灵活构建技术研究；

（2）基于模型驱动的控制系统及典型泵阀接口自动测试技术研究；

（3）控制系统全工况及变工况协调控制验证技术研究；

（4）基于虚拟故障注入的控制系统保护策略验证技术研究；

（5）控制系统“全栈”联调试验数据深度挖掘及智能优化技术研究。

**考核指标**

（1）控制系统模型误差不超过5%，控制设备类型覆盖不少于90%；

（2）支持多类型测试接口，接口测试类型种数不少于10种；

（3）控制回路覆盖量不小于40个；

（4）“全栈”联调验证方案100%覆盖实物验证联调试验任务。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）控制系统联调试验模型构建方法；

（2）基于模型驱动的控制系统异构接口自动测试方法；

（3）控制系统全工况及变工况协调控制数字化验证方法；

（4）基于虚拟故障注入的控制系统保护策略验证方法；

（5）控制系统联调试验虚实融合方法；

（6）控制系统联调试验数据深度挖掘及智能优化方法；

（7）控制系统联调试验孪生模型；

（8）模型构建规范；

（9）控制系统“全栈”联调自动测试平台。

**硬件成果：**

（1）控制系统“全栈”高效联调验证原理系统。

**研究周期**

36个月。

**课题67：高能管路损伤数字化仿真技术及试验研究**

**研究目标**

开展高能管路流体流动特性建模及分析、极限环境下高能管路结构损伤机理演变、高能管路智能检测方法、高能管路智能检测系统试验验证、动力装置全环境试验仿真系统研制等研究，形成通过虚拟仿真手段支撑高能管路的数字化仿真模拟和智能化故障诊断能力，支撑动力装置高能管路系统可靠性设计提升、泄漏故障智能诊断及虚拟仿真试验和训练。

**研究内容**

（1）高能管路建模及极限环境下结构损伤演变机理研究；

（2）高能管路智能检测方法研究；

（3）高能管路智能检测系统试验验证；

（4）动力装置全环境试验仿真系统研制。

**考核指标**

（1）高能管路流体流动特性建模计算误差≤5%；

（2）高能管路结构损伤演变过程与试验对比偏差≤15%；

（3）可检测的最小泄漏率、试验系统汽液压力、试验温度满足要求；

（5）可支持连续虚拟仿真实验，仿真实验与物理试验参数对应的变量仿真误差＜5%，拓展范围的连续虚拟仿真试验误差≤15%。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）高能管路流体流动特性模型；

（2）高能管路结构损伤演变机理、损伤演变模型；

（3）智能检测方法、虚拟仿真试验软件。

**硬件成果：**

（1）高能管路泄漏智能检测系统；

（2）动力装置全环境试验仿真系统。

**研究周期**

36个月。

**方向四：典型系统故障分析及综合保障技术**

**课题68：汽轮机组失效评估及典型零部件可靠性提升技术**

**研究目标**

开展船舶汽轮机组关键部件的可靠性评估模型开发等技术研究，建立适合船舶汽轮机组的可靠性评估模型，进行关键部件可靠性分析，初步形成船舶主汽轮机组可靠性评估能力。

**研究内容**

（1）具备多维索引的汽轮机组历史故障信息化库构建；

（2）汽轮机组关键部件可靠性提升技术研究；

（3）船舶推进汽轮机组控制系统集成化技术研究；

（4）汽轮机组关键零部件可靠性评估模型开发与验证。

**技术指标**

（1）基于特征的故障索引准确率＞90%；

（2）除湿级叶片材料最大侵蚀率降低10%；

（3）船舶推进汽轮机组控制系统设备数量由5台简化为3台；

（4）汽轮机组可靠性分析评估模型置信度不小于80%。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）汽轮机组历史信息化库；

（2）汽轮机组关键零部件可靠性评估模型；

（3）汽轮机组关键部件可靠性提升技术设计方法、流程、规范；

（4）汽轮机组关键部件可靠性试验数据库；

（5）汽轮机组关键零部件可靠性评估模型。

**硬件成果：**

（1）汽轮机叶片等关键零部件可靠性试验件；

（2）船舶推进汽轮机组集成化控制系统原理样件。

**研究周期**

36个月。

**方向五：典型系统基础共性技术**

**课题69：基于需求导向与持续验证的系统数字化正向设计与智能优化技术**

**研究目标**

完成系统“需求-功能-逻辑-物理”+“测试验证”数字化设计方法研究，基于“需求导向、模型驱动、智能优化、持续验证”技术理念，构建系统正向设计平台，结合主要系统完成平台集成测试与演示验证，全面提升系统设计能力。

**研究内容**

（1）系统需求分析、追溯与全流程测试验证技术研究；

（2）基于架构模型驱动的系统功能、性能综合仿真环境研究；

（3）基于智能算法的测试案例自动生成与关键参数优化评估技术研究；

（4）与设计流程深度融合的系统知识工程关键技术研究；

（5）基于设计流程的数字化设计平台集成测试与演示验证。

**技术指标**

（1）实现方案论证-方案设计-技术设计全过程的需求管理与响应测试；

（2）关键特性模型稳态误差不大于5%，动态误差不大于10%；

（3）实现测试案例自动生成与技术方案关键指标的高效优化评估；

（4）实现系统设计过程知识智能高效推送，推送覆盖率达到80%；

（5）平台可有效集成需求管理、架构、仿真、评估与测试验证等关键功能模块，功能实现率100%。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）系统需求分析及追溯管理规程；

（2）基于需求追溯的全流程测试验证规程；

（3）基于需求导向与自动测试验证的系统正向设计平台；

（4）系统需求分析与过程管理功能模块；

（5）系统功能、性能综合仿真环境；

（6）与设计流程深度融合的系统知识工程模块；

（7）基于设计流程的平台集成测试与演示方案。

**研究周期**

36个月。

**课题70：典型系统过程精细化建模仿真技术**

**研究目标**

开展数据-机理混合驱动的仿真模型、系统多学科协同仿真及验证等研究，形成系统的多层次、多学科、高精度仿真能力，提升系统精准建模仿真水平，为系统数字化设计提供高保真仿真模型基础。

**研究内容**

（1）数据与机理混合驱动的系统仿真模型研究；

（2）系统启动过程两相流动精细化仿真技术研究；

（3）系统自留循环多学科协同仿真技术研究；

（4）融合典型过程精细化模型的仿真验证。

**考核指标**

（1）系统机理与数据混合驱动仿真关键参数预测误差≯10%；

（2）系统启停过程压力、温度等关键参数预测误差≯10%；

（3）系统典型过程精细化建模仿真预测误差≯10%。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）数据与机理混合驱动系统仿真预测模型；

（2）系统启停过程精细化仿真模型；

（3）系统自流循环水力特性仿真模型；

（4）典型过程精细化模型的系统仿真软件。

**研究周期**

36个月。

六、水中装置动力领域

**方向一：先进设计方法**

**[课题71：发动机乏汽冷凝与增压排放技术研究](#_Toc1220166381)**

**研究目标**

开展发动机乏气冷凝与增压排放技术研究及试验验证，获得汽液混合冷凝强化机理，掌握气液多相高效增压技术，形成乏气冷凝与增压排放系统验证样机，实现动力系统在水环境下的高效运行。

**研究内容**

（1）排放系统构型及性能预示方法研究；

（2）富蒸汽含量排气混合快速冷凝方法研究；

（3）气液多相高效增压技术研究；

（4）排放系统性能验证与评价。

**考核指标**

（1）系统性能预示误差不大于10%；

（2）尾气排放量满足要求；

（3）排放系统样机在使用工况下气液多相增压性能满足要求；

（4）使用工况下动力系统效率提升率满足要求。

**成果形式**

**软件成果**

（1）排放系统方案及仿真软件；

（2）汽液混合冷凝强化机理；

（3）气液多相高效增压技术；

（4）排放系统性能验证试验。

**硬件成果**

（1）排放系统验证样机及验证系统。

**研究周期**

36个月。

**课题72：水环境动力系统与平台适配性技术研究**

**研究目标**

开展适应进水条件的能源进给技术、匹配系统结构布局的进水系统特性、发动机喷流影响特性规律、燃气通流结构设计及通流参数验证等研究，获得发动机喷流影响特性，建立适应系统要求的动力系统。

**研究内容**

（1）适应进水条件的能源进给技术研究；

（2）匹配系统结构布局的进水系统特性研究；

（3）发动机喷流影响特性规律研究；

（4）燃气发生器结构和工作参数设计研究；

（5）燃气通流结构设计及通流参数验证。

**考核指标**

（1）发动机燃烧室压强、推力满足要求；

（2）能源进给速率、输送压差满足要求；

（3）进水管路压强损失满足要求，进水流量控制误差不大于15%；

（4）燃气发生器通气流量比满足要求；

（5）发动机喷流仿真模型预示误差不大于10%。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）发动机能源进给设计方法；

（2）进水系统动态特性；

（3）发动机热喷流影响特性；

（4）燃气通流结构设计方法；

（5）发动机台架试验方法。

**硬件成果：**

（1）发动机样机；

（2）进水管路样件；

（3）燃气发生器样机；

（4）燃气通流装置样件。

**研究周期**

36个月。

**[课题73：柔性能源舱集成优化及动态输送技术研究](file:///C%3A%5C%5CUsers%5C%5C10200889%5C%5CAppData%5C%5CLocal%5C%5CMicrosoft%5C%5CWindows%5C%5CTemporary%20Internet%20Files%5C%5CContent.IE5%5C%5CA0E5CIRB%5C%5C%E3%80%90%E7%A7%98%E5%AF%86%E3%80%91MPRD%E7%87%83%E6%96%99%E8%88%B1%E6%8C%87%E5%8D%97.doc%22%20%5Cl%20%22_Toc1220166381)**

**研究目标**

开展柔性能源舱数字化样机设计及仿真研究，构建柔性能源储存单元寿命评估方法，实现柔性能源舱集成优化设计，完成柔性能源舱动态输送性能试验验证。

**研究内容**

（1）柔性能源舱集成优化设计研究；

（2）柔性能源舱数字化样机设计及仿真研究；

（3）加注状态柔性能源储存单元寿命评估方法研究；

（4）柔性能源舱动态输送性能验证与评价。

**考核指标**

（1）柔性能源舱样机耐压性能满足要求；

（2）柔性能源舱数字化样机预示偏差小于10%；

（3）柔性能源储存单元贮存寿命满足要求；

（4）柔性能源舱启动建压时间、供应压力波动满足要求，供应流量精度偏差小于5%。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）柔性能源舱性能仿真模型、方法、流程及数字样机；

（2）柔性能源储存单元寿命评估方法；

（3）柔性能源舱动态输送性能试验方法和流程。

**硬件成果：**

（1）能源舱动态输送性能试验测试平台;

（2）柔性能源舱试验验证样机。

**研究周期**

36个月。

**课题74：高速重载精密传动装置数字化设计及优化技术研究**

**研究目标**

开展高速重载精密传动装置数字化模型及设计方法、齿面减摩减振技术、性能及结构优化设计研究及试验验证，形成高速重载精密传动装置数字化高效研发能力。

**研究内容**

（1）高速重载精密传动装置数字化模型及快速设计方法研究；

（2）高精度齿面修形及减摩强化涂镀技术研究；

（3）多约束下高速重载精密传动装置性能及结构优化研究；

（4）高速重载精密传动装置性能验证及评价。

**考核指标**

（1）形成高速重载精密传动装置数字化样机，实现在使用工况下数字样机输出参数精度偏差不大于10%；

（2）减摩强化涂层厚度、表面粗糙度、摩擦系数满足使用要求；涂镀后齿轮精度应大于6级齿轮精度要求；

（3）传动装置传递功率密度满足要求；

（4）在使用工况下传动装置通过考核。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）高速重载精密传动装置设计分析优化流程规范；

（2）精密传动齿轮减振修形设计方案；

（3）高强韧减摩涂层复合涂镀工艺规范；

（4）高速重载精密传动装置性能试验及评价方法；

（5）高速重载精密传动装置数字化快速设计软件；

（6）高速重载精密传动装置多场耦合性能仿真及优化软件。

**硬件成果：**

（1）高速重载精密传动装置数字化设计验证样机。

**研究周期**

36个月。

**课题75：涡轮发动机动力性能及密封设计技术研究**

**研究目标**

围绕涡轮发动机中的通流结构、转子、机械密封等关键单元，开展涡轮发动机数字化设计及验证技术研究，形成涡轮发动机数字化样机并完成试验验证，实现涡轮发动机数字化设计分析及性能验证能力。

**研究内容**

（1）涡轮发动机数字化样机仿真及优化方法；

（2）涡轮发动机转子动力学仿真及验证；

（3）涡轮发动机机械密封仿真及验证；

（4）涡轮发动机数字化样机试验验证。

**考核指标**

（1）涡轮发动机数字化样机具备通流性能、动力学、机械密封等仿真分析功能，优化后涡轮发动机比功率满足要求；

（2）涡轮发动机高速转子振动位移峰值满足要求，动力学性能仿真偏差不大于10%；

（3）机械密封线速度、工作压力满足要求，冷却水温升仿真偏差不大于10%；

（4）涡轮发动机通过使用工况验证，仿真偏差不大于10%。

**成果形式**

**软件成果**

（1）涡轮发动机性能仿真模型、方法及数字样机；

（2）涡轮发动机转子动力学仿真验证方法；

（3）涡轮发动机机械密封仿真验证方法；

（4）涡轮发动机数字化样机集成试验验证方法。

**硬件成果**

（1）涡轮发动机机械密封验证样件及验证系统；

（2）涡轮发动机转子动力学验证样件；

（3）涡轮发动机数字化设计验证样机。

**研究周期**

36个月。

**方向二：先进工艺技术**

**[课题76：电动力关键组部件性能短板可靠性提升技术研究](#_Toc1220166381)**

**研究目标**

开展电池组可靠性表征信息提取及监测、功率器件可靠性增强、复杂内流道防腐、电池稳定性等关键技术研究，构建转子系统设计方法、逆变主回路设计规范、内流道防腐方法、电池稳定性测试规范。

**研究内容**

（1）电池可靠性表征及在线监测方法；

（2）电机高速转子可靠性提升设计方法；

（3）逆变主回路可靠性增强设计方法；

（4）内流道防腐技术；

（5）动力电池系统稳定性研究。

**考核指标**

（1）全周期电池组失效预报准确率不低于60%；

（2）相比增强设计前，转子系统连续可靠运行时间增加不少于20%；

（3）相比增强设计前，器件脉冲负载功率循环次数提升10%；

（4）内流道耐海水浸泡时间满足要求；

（5）电池组单体电位、携液量、气液分离效率满足要求。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）电池组失效预报模型；

（2）转子系统设计方法；

（3）逆变主回路设计规范；

（4）内流道防腐方法及工艺规范；

（5）动力电池系统稳定性测试规范。

**硬件成果：**

（1）电池组监测系统；

（2）高速转子验证样件；

（3）逆变主回路验证样件；

（4）内流道防腐技术验证样件；

（5）电池单体小组合样机和系统稳定性验证样机。

**研究周期**

36个月。

**方向三：先进试验测试方法**

**课题77：贮备电池无损检测与失效评估技术研究**

**研究目标**

开展电池各组分材料老化、电池与环境因素相互作用的失效机制研究，构建一维至融合环境的多维贮备电耦合失效规律、失效因子与预测方法的映射关系，探索贮备电池失效预判及失效重现技术途径。

**研究内容**

（1）电池活性组分、密封件、结构件等关键材料失效机制研究；

（2）电池系统组件与环境耦合失效作用与规律研究；

（3）基于多手段无损检测方法构建失效因子映射关系研究；

（4）贮备电池失效预判及故障重现技术研究。

**考核指标**

（1）建成贮备电池失效数据库，收集失效特征数据，初步实现失效电池自动判别技术，提炼关键失效因子不少于3个；

（2）针对贮备电池的环境耦合失效模式不少于2个；

（3）无损检测手段的3次量化评估偏差不高于5%；

（4）注入故障诱因不少于2个，失效预判时间不低于24小时，失效过程演变重现度达到90%以上。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）贮备电池失效机制、模型、数据库；

（2）贮备电池系统与环境耦合规律研究报告；

（3）贮备电池失效分析专题报告；

（4）放电工况下缩比样机的故障模拟与重现报告；

（5）贮备电池无损检测方法。

**硬件成果：**

（1）故障注入与失效重现试验用贮备电池缩比样机。

**研究周期**

36个月。

**方向四：基础共性技术**

**[课题78：涡轮机动力系统半物理仿真及控制方法研究](#_Toc1220166381)**

**研究目标**

开展动力系统仿真、控制方法研究及验证，实现涡轮机动力系统高置信度性能校验、系统匹配及控制策略验证。

**研究内容**

（1）涡轮机动力系统性能仿真模型；

（2）涡轮机动力系统性能仿真方法；

（3）涡轮机动力系统实时控制仿真方法；

（4）涡轮机动力系统半物理仿真验证。

**考核指标**

（1）仿真结果偏差不大于10%；

（2）实时仿真系统模型解算周期满足要求；

（3）稳态转速控制误差满足要求。

**成果形式**

**软件成果：**

（1）涡轮机动力系统性能仿真模型、方法、流程及数字样机；

（2）涡轮机动力系统实时控制仿真软件；

（3）涡轮机动力系统半物理仿真验证方法、流程。

**硬件成果：**

（1）控制系统验证样机；

（2）涡轮机动力系统低延迟实时控制仿真系统。

**研究周期**

36个月。