

十三、海洋极地科学

1. 极地破冰平台

项目概述

我国极地保障与环境观测手段主要依靠直升机和雪地车，直升机维护费用高；雪地车在覆雪冰层上易塌陷，难以穿越两栖地形。极地气垫破冰/运输平台是一种兼具破冰与运输功能的新型极地装备，具有运载能力强、多栖性、航速高等特点，可为物资及人员转运/极地环境监测等提供可靠平台，也可作为结冰内河及渤海地区提供新的破冰装备，对提高我国极地科考保障能力和完善极地环境观测手段具有重要意义。

极地气垫破冰/运输平台关键技术研究将针对极地气垫平台技术特点，围绕固-液-气耦合作用下冰破坏机理与模式、柔性围裙内气动压力变化规律及控制方法、低温环境下螺旋桨气动特性、安全运动与操控策略等科学问题，以理论、仿真和试验为研究手段，重点突破固-液-气动力弹性耦合、垫升系统优化设计与试验、气雪/结冰条件下空气螺旋桨的气动力特性数值仿真与试验、气垫平台运动与操控等关键技术，完成工程样机研制，并在我国高寒内河地区兼或极区（根据我国极地科考计划安排）开展实船试验，通过演示验证。

项目成熟情况

已完成冰下气腔的诱发机理与控制方法等关键技术研究，完成气垫平台系统集成及总体设计，目前正在进行工程样机建造。

中试阶段。

应用范围

极地气垫破冰/运输平台能够有效满足极地环境下“人员物资转运、科学考察、应急救援”等需求，提升自主知识产权的极地装备研究能力，进一步提高极地科学考察条件保障水平，并为结冰内河及沿海水域提供新的破冰手段。

2. 欧盟地平线 2020 项目

项目概述

随着全球变暖，北极航道开通的可能性大大提高。北极航道的开通将为中国开辟一条新的远洋航运通路，成为一条连接亚、欧、美等国家新的“海上丝绸之路”，极大缩短我国与欧美贸易航程，相比于传统的航线将减少航程 40%以上。此外，北极丰富资源储备对提高我国能源安全具有重要战略意义，故北极地区正越来越成为国际科研创新合作的重要研究领域和新的战略要地。极地的特殊环境对于安全航行有特殊的要求和标准，我国在该领域研究尚处于起步阶段，与欧洲先进国家有较大差距，而当前技术落后的现状严重制约我国两极战略的实施发展。

“Safe Maritime Operations under Extreme Conditions; the Arctic Case (极端条件下安全海事操作：北极航行，简称 SEDNA)”项目旨在从冰区船舶设计、北极海洋环境与海冰预报系统观测系统、冰区安全航行保障技术、综合安全性和经济性的冰区航行规划和航线优化等多个角度，为欧亚北极航路（欧洲到中国的“东北航路”）航运提供一整套安全、高效、环保的解决方案。通过与欧盟极地研究领域优势单位的合作，开展极地航行环境分析，对冰区航行环境中船舶结构冰载荷及强度、船舶运动性能进行研究，掌握海冰现场监测、冰载荷及破冰能力、运动性能和结构性能预报等技术，开发北极航行船舶运动和结构安全性分析软件系统，并应用于欧盟相关单位和我国远洋海运集团等直接用户方，为保证极地航行船舶的安全性提供技术支撑。

项目成熟情况

已完成北极航行船舶运动阻力和操纵性模块的开发，正在开发北极航行船舶结构响应模块以及总体集成等。

小试阶段。

应用范围

预期成果将面向极地航行船舶例如极地商船、极地破冰船、极地小型邮轮等领域的冰载荷预报和结构响应评估等，以期在较短的时间内突破和掌握相关关键技术，有效地缩短我国与国外先进技术的差距，提升我国极地航行船舶运动和结构安全性等。

3. 极地船破冰能力与破冰载荷预报技术

项目概述

极地船舶破冰能力与破冰载荷数值预报技术是基于冰力学理论与船舶运动理论建立起来的。该技术将船-冰相互作用模型化为“接触—挤压—弯曲破坏”过程，考虑破冰载荷、流载荷、船舶推力、水阻力、欧拉力、碎冰阻力（船体艏部排开碎冰产生的阻力），在时域内建立船体六个自由度运动方程。计及极地船运动响应与其所受载荷的耦合作用，采用 Newmark 法进行求解，在每个时间步长内进行迭代，从而得到船体在六个自由度的运动响应和破冰载荷、极地船航行轨迹和海冰边界。基于破冰过程的仿真计算，可建立冰厚与破冰航速之间的关系，即用于破冰能力评估的 $h-v$ 曲线。该项技术已在多个极地船型，包括极地科考船、极地甲板运输船、极地多功能集装箱船、极地油船、新型破冰船上得到实际应用，数值计算结果与冰池模型试验结果吻合度较高，取得广泛的认可。

该项技术可用于极地船破冰过程中冰载荷、破冰能力的预报，为极地船型的开发提供有效的技术支撑。

到目前为止已取得两项软件著作权：

冰区航行船舶连续式破冰能力计算软件 2017SR033352

冰区航行船舶运动与破冰载荷计算软件 2016SR323718

项目成熟情况

技术成熟。

应用范围

可用于各类极地船舶破冰过程中的冰载荷、运动以及破冰能力数值预报。

4. 耐低温超支化聚氨酯约束阻尼材料

项目概述：

由机械振动引起的振动和噪声还严重影响产品的质量、仪器仪表的精度以及机械设备的使用寿命，特别是对在极其恶劣条件下工作的机器性能的正常发挥有直接的影响。据统计，在机器制造业中有近 80% 的事故和设备损坏是由于共振疲劳所致。

阻尼材料的使用能够有效降低机械结构的振动，减少噪音，但极地面临低温作业环境，这就对能够耐受低温的阻尼材料提出了更高的要求，在低温环境下服役，要求材料具有良好的低温力学性能，要求阻尼材料适用于更大的温度和更宽的频率范围，当前国内阻尼材料的研究已经取得很大进展，但是仍不能满足低温对阻尼材料的高要求，因此对低温用阻尼减振材料进行系统研究非常必要。

本项目针对低温用阻尼材料的需求，开展耐低温超支化聚氨酯约束阻尼材料研究，基体聚氨酯分子设计和配方研究，建立相应的低温技术评价体系，并研制出能够满足极地环境使用需求的阻尼材料。

项目成熟情况

通过开展耐低温超支化聚氨酯约束阻尼材料相关关键技术研究，掌握耐低温阻尼减振机制与制备工艺，制备出大温宽、大频宽性能良好的阻尼，达到了相关材料国产化的目标，完成了几款产品的制备。

应用范围

通过对耐低温超支化聚氨酯约束阻尼材料的研究，本项目可形成具有自主知识产权的品牌产品，满足我国极地装备对减振降噪材料的需求，减轻设备因振动而受到的损坏，打破国外垄断现状，促进国产耐低温材料产业的健康发展。

5. 超低温树脂基复合材料

项目概述

材料的轻量化对极地开发及建筑具有重要的作用，但极地面临低温作业环境，这就对能够耐受低温的轻质材料提出了明确的需求，在低温环境下服役，要求材料轻质，并且具有良好的低温力学性能。针对低温轻质复合材料的需求，开展基体树脂分子设计和配方研究，建立相应的低温技术评价体系，并研制出能够满足极地环境使用需求的基体树脂及复合材料。最终制备的低温树脂基复合材料满足极地船舶对轻量化低温复合材料的需求。

本项目设计开发的超低温环氧树脂体系，在 -70°C 下测试树脂固化样力学性能，其拉伸延展率大于 3%，拉伸强度大于 70MPa。采用平板模具制备超低温树脂预浸料固化试板，其复合材料低温力学性能测试表明层间剪切强度大于 80MPa，拉伸强度大于 1500Mpa。

项目成熟情况

目前已经达到中试程度。

应用范围

项目组开发的超低温树脂基复合材料可以广泛的应用于极地环境使用的复合材料，如极地船舶、极地装备、极地建筑以及高寒地区的装备。目前已经经过多个装备可靠性验证，性能良好。

6. 先进树脂基复合材料设计制备技术

项目概述

和传统的金属材料如钢材、铝合金相比，复合材料具有高得多的强度比。同时提高了材料抗疲劳性和耐腐蚀性从而降低了长期维护费用。纤维增强复合材料具有很强的可设计性。不同的增强纤维、树脂、铺层角度、层数、层合板类型，都可以生产出各种不同性能的材料。其可设计性是传统金属无法达到的。

不同的增强纤维、树脂、铺层角度、层数、层合板类型，都可以生产出各种不同性能的材料。通过国内外关于复合材料制备相关文献和课题组大量的实验，对先进树脂基用复合材料树脂体系和纤维增强体系进行了选择、优化，使复合材料在达到使用要求的同时，降低复合材料成本，达到工业化生产的要求。

本项目主要开展了结合环氧树脂树脂韧化机制，采用分子模拟技术设计开发了环氧树脂并结合碳纤维制备预浸料，采用机械铺层成型工艺制备了复合材料构件，并对其力学性能进行测试，分析了树脂基复合材料的界面损伤机理。

项目成熟情况

通过开展先进树脂基复合材料的制备技术研究，掌握先进树脂基复合材料制备工艺，制备出高性能、高强度、轻量化、功能性强的复合材料典型制品，达到了相关材料国产化的目标，完成了几款产品的制备。

应用范围

先进树脂基复合材料可广泛的应用在航空航天、海洋船舶、水下装备以及交通运输等多个领域。目前已经为海洋钻井平台，大型船舶结构，水下装备，水下柔性管道，航天结构等多个领域提供产品。

7. 极地钢复合板制备技术

项目概述

船舶破冰部位材料的性能是决定破冰船破冰能力的关键因素，使用高性能的不锈钢/低温钢复合板作为船舶破冰部位材料能够使材料同时获得不锈钢优异的耐蚀性和低温钢卓越的机械性能，提高极地船舶的破冰能力，对于发展极地航道和开发极地资源有着重要的促进作用。

本成果基于 IMO 极地航行船舶安全准则的要求开发了不锈钢/低温钢复合钢板，同时兼具不锈钢耐蚀性能和低温钢高强度、高韧性、易焊接性能的极地钢复合板。该极地钢复合板将主要以极地船舶破冰部位为应用目标于，从而获得开展了极地船舶破冰部位复合钢板应用技术研究，通过系统分析钢板低温性能选择出适合制备极地船舶破冰部位复合钢板的低温钢和不锈钢材料；通过多种复合工艺完成低温钢/不锈钢复合钢板的制备并通过工艺控制其复合界面结构，进而阐述了复合钢板界面结构与其低温性能之间的关系，实现复合钢板低温性能的控制；在此基础上对复合钢板低温性能进行了系统评估，并形成了系统的极地船舶破冰部位复合钢板性能考核表征方法。

本项目能够推动我国极地船舶破冰部位复合钢板标准的建立，促进复合钢板在我国极地船舶破冰部位的应用，推动我国高性能极地船舶的研究、设计、建造和产业发展。

项目成熟情况

本项目已经完成了焊接工艺相关理论的研究，选择了适合的复合板材料，并选择了爆炸焊复合和轧制复合两种工艺作为制造工艺，已经在实验室里完成了试验，根据总体要求，确定了其在实验室的技术要求，提出了关键生产工艺，并在实验室里对关键生产工艺进行了评估，达到 4 级成熟度。

应用范围

本项目研究极地复合板可广泛应用于低温环境并有一定耐腐蚀要求的材料。具体应用范围包括极地船舶船体结构材料，极地海洋平台耐低温结构材料、极地建筑结构材料、特种船舶耐低温管路材料、耐低温容器材料、制冷设备等。