

# 十、新材料技术

## 1. 长寿命绿色生态防波堤

### 项目概述

本成果的领域为海岸工程与海洋工程与贝类养殖学的交叉,具体为诱导海洋固着生物附着的混凝土及制品的设计理论与建造技术,诱导海洋固着生物附着的水泥基涂料设计理论与制备技术以及诱导牡蛎附着的附着基设计理论与制备技术等系统的技术体系。本研究开始于2006年,期间获得了国家自然科学基金面上项目、青岛海洋科学与技术国家试点实验室开放基金项目和中国科学院海洋大科学研究中心重点部署项目等的资助。

本成果系统性地解决目前海洋环境下潮差区钢筋混凝土结构的防腐蚀措施少、保护效果有限、造价高及存在污染等;以及目前海洋生态破坏严重、修复技术不成熟且造价高、采用传统技术建造的混凝土工程会进一步加剧现有海域生态的破坏的问题。国内首次提出利用海洋固着生物技术,同时实现了海洋钢筋混凝土工程的生物防腐蚀与海域生态的修复。区别于传统技术的特点:防腐蚀与生态修复于一体、主动性、长效性、经济性、绿色环保。

### 项目成熟情况

形成技术方案,已筛选出多种诱导剂,并进行优化设计,优异的混凝土可以大幅度增加牡蛎早期的附着密度和速率,在实验室和海洋进行了多轮的实验验证,目前形成了混凝土材料及制品、水泥基涂料及制品以及牡蛎附着基等根据环境设计和制备能力。

### 应用范围

主要应用领域为:

- (1) 新建的和服役的生态化工程,如沿海生态护岸,南海岛屿生态护岸,海南岛旅游的生态景区,以及防波堤和牡蛎礁等。
- (2) 新建的和服役的钢筋混凝土工程生物防腐蚀技术,如跨海大桥、海港码头等。
- (3) 牡蛎育苗、养殖,如育苗场和养殖场等。

该技术是集海洋固着生物对钢筋混凝土的防腐蚀和生态修复功能于一体的

新型技术,实现了海洋固着生物在混凝土防腐蚀中的应用与采用混凝土工程作为生态修复工程,具有与自然和谐共存、经济和高效的特点,契合国家提出的绿色海洋、生态海洋以及高耐久工程政策,具有极大的应用潜力和市场前景。

## 2. 氨基硅纳米改性疏水、厌冰环氧涂层

### 项目概述

本项目旨在开发一种可低温环境下长期使用的疏水、厌冰涂层材料。目前,该项技术属于国际先进,据报道仅韩国具有类似技术达到同样指标。技术指标如下:超疏水(静态接触角 $\geq 150^\circ$ ,集聚覆冰时间延迟30分钟)、厌冰性(覆冰粘接剪切强度 $\sigma \leq 500\text{KPa}$ ),还具有施工简单、可喷涂等优势。

疏水材料行业需求一直旺盛,从建材、服装(高端冲锋衣)、用具(不粘锅)到减阻材料无所不包。但同时兼备疏水、厌冰特征的涂层材料市场缺乏。目前,随着国家北极战略的推进,考虑极地恶劣的服役环境以及极地开发和极地恶劣环境的需求,以及电网等设备面临极端环境下冻雨的威胁等因素,开发可低温环境下长期使用的疏水、疏冰涂层材料市场广阔。具体应用包括:极地航行船舶的甲板、天线罩、舰岛以及高压电线绝缘子表面等部位。

主要专利:

种冰粘附剪切强度测量装置 ZL. 104897565A

### 项目成熟情况

目前已经到达样品阶段,完成前期的实验室样品制备及性能测试,疏水性、验冰性以及金属、非金属等基体的粘接强度均达到预期效果,并完成了实验室喷涂工艺验证。

### 应用范围

极地航行船舶、极地工作站、高压电网等领域。

## 3. 船用高性能热塑性 pCBT 复合材料

### 项目概述

目前船用结构复合材料以热固性为主导,但随着各国政府和国际组织绿色环保政策的出台(如欧盟玻璃钢制品限入制度),全球复合材料行业都将目标转向

易回收、可再利用的热塑性复合材料。热塑性复合材料逐步提高应用比率已成趋势，一些机构预测未来几年热塑性和热固性复合材料应用比率将趋于相等。目前欧盟热塑性复合材料占整个用量 30%以上，美国高达 50%，远远高于我国的 17%（且以低端 PP、PA 为主），究其原因是我国热塑性复合材料的原材料和工艺水平较低、存在技术瓶颈。具有良好工艺性的 CBT 热塑性复合材料是近年来国际上兴起的一种新型绿色环保型复合材料，它的可液体成型特征为其应用于大型结构和规模化生产带来了便利。作为结构材料，本项目可应用于豪华游艇结构及内饰，高技术船舶的上层建筑以及汽车复合材料等对绿色环保有明确要求的领域。

热塑性复合材料船舶结构具有易回收、可再利用等绿色环保特征，但传统热塑性复合材料无法液体成型一直是限制其在中大型构件应用的桎梏。本项目中所提出 pCBT 热塑性复合材料具有超低的熔融粘度，易浸润，可液体成型，能制成纤维含量达 75%的复合材料。聚合温度 $\leq 180^{\circ}\text{C}$ ，粘度 $\leq 100\text{Pa}\cdot\text{s}$ ，基体强度 $\geq 50\text{Mpa}$ 、冲击韧性 $\geq 7.0\text{KJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ，与纤维界面粘接良好。

主要专利：

纤维增强 PBT 复合材料的真空辅助树脂扩散成型方法 ZL:201310187953

一种对苯二甲酸丁二醇脂树脂基预浸料的制备方法 201410153155

### 项目成熟情况

目前该项目已经到达样品阶段，已完成前期的实验室样品制备及性能测试，聚合温度、基体强度、冲击韧性。温度老化性能、海水浸泡实验均达到预期要求。

### 应用范围

豪华游艇、船舶上层建筑、汽车工业等领域。

## 4. 适用于海洋环境下的 FRP-海砂混凝土梁板柱结构

### 项目概述

依据《联合国海洋法公约》，我国有 300 万海里的“蓝色国土”。不过，我国与日本、韩国等 8 个邻国存在海洋主权主张冲突或争议。在军事战略上，海岛和大型人工岛就是一艘不沉的航空母舰，战备能力强于航母，且运行维护费低。在资源战略上，深海资源及海上新能源开发将成为世界各国激烈争夺的主战场。我国把加速海岛、人工岛等海洋结构的开发与建设提升到国家战略层面，这急需

在海洋环境下建造大量港口码头、机场跑道、海洋平台和住宅等大型建筑物。海洋环境下氯化物及冻融循环等侵蚀条件对混凝土结构的腐蚀是严重威胁结构耐久性的主要因素, 容易造成巨大损失。目前, 国内外专家和学者达成了类似的观点: 当今的钢筋混凝土结构主要研究其耐久性, 尤其是严酷环境下的钢筋混凝土结构。海洋环境是目前混凝土结构所处环境中最恶劣的环境之一, 因此海洋环境下混凝土结构的耐久性是目前海洋混凝土工程研究的热点和难点问题。如何保证海洋环境下民用设施和军用设施的耐久性和长期服役的混凝土结构遭遇意外荷载作用下的整体性, 已成为迫切需要解决的问题。但是, 大部分海洋结构远离大陆, 建筑材料运输成本昂贵, 发改委、财政部、工信部于 2014. 10. 23 联合印发《关键材料升级换代工程实施方案》指出开发可以就地取材的建筑材料是岛礁建设的迫切问题。此外在海洋等极端环境下, 普通混凝土和钢等传统的结构工程结构要遭受海水、海洋大气温度的腐蚀, 造成巨大损失。海洋产业“十二五”规划指出, 我国将对海洋工程结构腐蚀的控制技术做进一步的深化研发。《2011-2020 年学科发展战略规划》指出将耐久性设计纳入到结构全寿命设计理论中是结构设计理论的发展趋势。因此, 新型高耐久性海洋建筑材料及其结构的工程应用, 是实现海洋领域工程结构高性能和长寿命是国家可持续发展和建立灾害最小化社会的迫切需求, 具有良好的经济及社会效益。

基于热带海洋环境下, 海工混凝土材料“原位资源利用”和结构“安全耐久”的原则, 将海砂代替河砂减少海岛建设的造价, FRP 材料替代钢筋解决海洋氯离子对普通钢筋的腐蚀问题, 提出 FRP 海砂混凝土结构的设计计算方法, 形成适用于 FRP 和钢筋海砂混凝土结构的整体安全性和经济性评价体系, 开发适用于海洋环境下的 FRP-海砂混凝土梁板柱结构体系。

主要专利:

受压混凝土耐久性试验加载装置及试验方法 ZL 2012 1 0220055. 4

受压混凝土耐久性试验加载装置 ZL 2012 2 0310333. 0

荷载与多因数耦合作用下混凝土试验加载装置及试验方法  
CN201210220051. 6

荷载与多因数耦合作用下混凝土试验加载装置 ZL 2012 2 0310312. 9

一种 FRP 材料永久性模板及 FRP 模板与混凝土组合梁 201410143342. 9

一种 FRP 材料永久性模板及 FRP 模板与混凝土组合楼板 201410102556.1

### 项目成熟情况

正处于基础研究阶段。

### 应用范围

海洋工程结构包括海岸工程（海港、跨海桥梁、海岸防护、潮汐发电站等）和近海工程（大型深水码头和海洋平台等）。

## 5. 船舶轻质耐火分隔复合结构

### 项目概述

该防火分隔结构材料具有轻质、施工方便、无污染等特点，对于具有防火等级需求的结构局部位均可采用，且其耐火性能满足 A-60 级防火标准、价格适中，其未来必有良好的应用前景。

采用高分子纳米防火分隔材料设计轻质耐火分隔复合结构，有良好的轻质、隔热、保温及良好的力学性能。该结构在 1000 度高温下不变形、不膨胀、导热系数极低，在 945 度高温时导热系数为 0.0320w/mk，材料密度 250kg/m<sup>3</sup>。

### 项目成熟情况

目前已经完成轻质耐火分割材料的小样品测试阶段，满足 A-60 耐火要求。

### 应用范围

适用于船舶、机车及大型车辆等需要防火分隔需求的部位。

## 6. 全碳纤维复合材料蜂窝结构

### 项目概述

结构轻量化是航空航天永恒的主题。本技术采用曲壁拓扑结构设计方法，通过蜂窝壁面曲率与波形设计来增加抗弯刚度，避免蜂窝壁的屈曲失效的发生，进而强化蜂窝结构。复合材料蜂窝壁的表面处理工艺，显著提升了结构的剪切性能。实验结果表明碳纤维复合材料曲面蜂窝结构具有高比强度和高比刚度特性，其力学性能显著优于铝蜂窝和芳纶蜂窝，也强于其他轻质夹芯结构，为其多功能性开发提供了技术支撑，目前可实现大尺寸典型样件的制备。

碳纤维复合材料蜂窝结构尺寸及力学性能详表

密度 g/cm <sup>3</sup>	单胞尺寸 (mm)	平压强度 (MPa)	平压模量 (MPa)	剪切强度 (MPa)	剪切模量 (MPa)
0.195	6	59.4	16900		
0.165	6	55		3.13	83.3
0.168	10	53.4			
0.12	10	27.7	8780		

### 项目成熟情况

小样品测试阶段。

### 应用范围

研究成果既能满足卫星、火箭等航天器对超轻多功能结构的迫切需求，又能大幅减轻深海无人平台浮力结构的重量，使其可以搭载更多有效载荷，提高其续航能力等综合性能，显著提高我国深海装备技术水平，加速推进我国海洋开发战略的实施。

## 7. 多层金属金字塔点阵夹芯结构

### c 项目概述

金字塔点阵夹芯结构芯子由桁架杆系组成，是一种芯层杆件以拉伸为主导的夹芯结构。具有相对密度低、比强度高，比刚度大的特点。点阵夹芯结构在冲击载荷作用下，具有多种能量吸收机理，包括面板弯曲吸能、芯子杆件压缩失效吸能和剪切失效吸能等，同时结构中贯穿的空间空隙为芯子杆件的充分塑性变形提供了可能。多层点阵夹芯结构通过对层数和芯层相对密度的设计，可以实现对动载荷作用时应力波的引导，从而提高结构抗冲击性能。在承受冲击载荷时，多层点阵夹芯结构通过芯层的逐层失效，能够显著提高结构的面比吸能，并实现对冲击载荷的缓冲。金字塔点阵夹芯结构可以采用切割-嵌锁-钎焊工艺进行制备。课题组采用线切割技术从金属板上切出金字塔点阵芯杆，通过嵌锁工艺将芯杆进行组装，再利用激光焊接工艺将点阵芯层与金属面板进行焊接。利用切割-嵌锁-钎焊工艺制备的3层金字塔点阵夹芯结构。

### 项目成熟情况

技术成熟。

## 应用范围

可应用于舰船和军用车辆的防护。通过各层金字塔点阵的相对密度的梯度设计，可以用于防护爆炸冲击载荷，通过与复合材料及陶瓷材料的联合应用，可以用于防护弹道冲击载荷。

## 8. 正弦曲线梁芯子夹层结构

### 项目概述

在爆炸防护领域，金属点阵夹芯结构可以通过面板变形或破裂、芯子压缩变形和剪切损伤等多种形式来实现能量吸收过程，而且点阵夹芯结构高孔隙率的特点为芯子在爆炸载荷下发生的较大塑性变形提供了足够的空间。而且，夹芯结构具有轻质的特点，满足航空、航天对于轻量化的需求，金字塔或沙漏夹芯结构在静态和动态载荷作用下主要呈现为杆件的屈曲变形带来的失效，屈曲变形带来的失效使得结构承载能力下降速度较快，针对防护结构的防护能力，这种失效方式不能很好的使爆炸波得到有效的衰减。而波纹板夹芯结构虽然拥有较为平缓的冲击波卸载能力，但相对密度较大，无法很好的满足轻量化需求。因此，本成果借鉴两种类型夹芯结构的特点，将周期波纹结构与点阵结构相结合，提出了正弦曲线梁夹芯结构，旨在兼顾较好的承载能力的前提下，使得抗爆抗冲击能力得到一定提升，借助曲线梁弯曲变形特点，使得冲击波得到平缓的卸载，具有一定的储备研究意义。

正弦曲线梁夹芯结构进行空气爆炸数值模拟结果表明：

(1)通过不同幅值一周期比的前后面板中心挠度的时间历程曲线可以看出，幅值一周期比较大的夹芯结构与实体板相比性能提升较大，具有更优异的抗爆性能。

(2)通过不同曲线梁截面积的前后面板中心挠度的时间历程曲线可以看出，在相同的爆炸载荷条件下，芯子截面积越大，中心区域芯子变形量越小。这是由于芯子截面积越大，整体刚度越大，芯层更“硬”，越不容易变形，具有更好的抗爆效果。而且截面积过小时，芯子刚度较弱，易发生芯子破坏或面板破坏，工程应用意义不大。

(3)通过不同爆距对夹芯结构前后面板中心无量纲挠度和芯子变形能可以

看出，爆距较小时，夹芯结构可能会出现破坏情况，爆距较大时，夹芯结构的芯子所能提供的吸能抗爆能力较弱。而且，爆炸距离对与夹芯结构的抗爆性能影响很大。实际应用时，对于爆距很小的工况，该夹芯结构的抗爆能力较弱，需根据实际情况选择合适刚度的结构设计才能发挥出最好的抗爆效果。

(4) 通过不同炸药量对夹芯结构后后面板中心无量纲挠度和芯子变形能可以看出，炸药量对夹芯结构的抗爆性能影响较小，芯子在爆炸载荷下的变形能随炸药量的变化也较为均匀。而且，炸药量对于夹芯结构的抗爆性能影响较小，在实际应用中，相同参数夹芯结构可以承受的炸药量变化范围更大，而且一定跨度内的炸药量变化对夹芯结构抗爆性能影响也不大。

### 项目成熟情况

技术成熟度 2 级，完成了模型设计、数值模拟计算和基本准静态验证实验。

### 应用范围

金字塔、沙漏等夹层芯子是杆系结构，其吸能前需先产生屈曲失稳后才进入塑性铰阶段，因此会造成吸能前有较高的载荷峰值，而本成果是梁系结构，直接形成塑性铰，不会产生峰值应力而持续吸能，因此对防护目标没有较大的冲击，特别适用于船舶、飞行器等航行体重要舱室及部位的抗远场冲击防护领域，也可用于汽车防撞梁及吸能防护设计，装甲车及运兵车的座舱底板抗地雷爆炸的能量吸能和人员防护领域。

## 9. 零约束收缩高抗腐蚀树脂混凝土

### 项目概述

零收缩树脂混凝土是指采用树脂、骨料及填料的混凝土，该混凝土具有小的早期固化收缩，并在约束的条件下，可使收缩产生的应力降低到可忽略不计，且具有良好的抗渗性和抗腐蚀性，并根据工程及环境的特点进行结构设计和施工方法确定，形成现场浇筑、零约束的树脂抗腐蚀防腐层和结构。

本项目是针对热电厂脱硫塔在采用湿法脱硫后出现的脱硫塔腐蚀严重，目前的聚脲、萨维真、OM 涂料、杂化聚合物等薄膜类喷涂料和粘贴国产泡沫玻璃砖进行防腐的烟囱以及硅橡胶加玻璃钢板加浇注料三层复合防腐内衬防腐修复措施存在诸多的不足。本成果系统性地解决目前热电厂脱硫塔或者其它高温且腐

蚀性强的环境下防腐蚀材料的制备和施工存在的问题,如耐久性差、施工周期长、造价高等。树脂混凝土具有的优点为:约束收缩几乎为零;高强度、轻质;良好的抗渗性和抗腐蚀性;可现场浇筑、大面积施工;杜绝或大幅度减少可能产生的裂缝,更好地实现与现有混凝土工程协同工作。

### 项目成熟情况

形成技术方案,已制备出多种混凝土材料,并对其力学性能、高温性能、耐久性和早期体积稳定性进行测试,得到了耐高温、零约束收缩的、高强轻质树脂混凝土,并具有优异的抗腐蚀性和耐久性。

### 应用范围

本技术成果主要应用于石油、化工、湿法冶炼、火力发电、制药等大型污水池以及发电厂脱硫塔防腐层等。目前在污水池特别是涉及石油、化工、湿法冶炼、火力发电、制药等大型污水池,因污水成分复杂,有时会含有大量的酸、碱、盐等强腐蚀介质以及有机物等介质,对污水池造成严重破坏,并造成污水渗漏及各种损失。此外生活污水处理池含有大量的有机物及细菌,同样普通的水泥混凝土结构不能满足耐久性的需要。同时,热电厂的脱硫塔的腐蚀问题突出,采取常规的混凝土及涂料等不能达到预期寿命。因此,零约束收缩高抗腐蚀树脂混凝土产业化前景极其广阔。

## 10.大豆秸秆资源化利用新技术

### 项目概述

本项目针对秸秆资源化、功能化利用效率低、秸秆利用经济附加值差以及现有污水生物膜载体生物相容性差、挂膜效率低、载体内部传质效果差的问题,历经4年研发,研制出了基于秸秆载体的生物膜系统构建以及系统运行控制方法。本项目技术具有载体生物相容性好、生物附着量大、廉价易得、环境友好、寿命长及系统中微生物群落丰富等特点,同时本项目技术生物系统产泥量少、耐冲击负荷能力强、抗污泥膨胀能力极强,大量丝状菌也不会引起污泥膨胀,丝状菌使有机物去除效率提高。本项目采用生物膜载体模块化设计构造,加工制作安装及维护方便,适合于新旧污水厂建设改造。系统运行采用单池切换或双池切换两种运行模式,生物膜系统始终保持动态演替,运行效率高,也不需要污泥回流,与

传统缺氧/好氧工艺相比较，本项目工艺对 COD 的去除效率可提高 20%-40%、脱氮效率提高 15%-30%。

### **项目成熟情况**

项目进行了大量室内间歇和连续流实验，形成了从载体搭建、模块化制作、反应系统构建与运行控制的成套技术体系。初步估计，每亩地秸秆产生经济附加值 50 元—100 元，即每亩地农民净增收 50 元—100 元，对于污水处理厂，每吨秸秆载体比常用聚酯、聚乙烯等材料载体价格低 70%—90%。经济效益、环境效益及社会效益显著。

### **应用范围**

本项目将秸秆用作于生物膜载体材料，从资源化、材料功能化角度对秸秆进行综合利用，可在污水处理厂建设示范工程后推广。

## **11. ADC 发泡剂联二脲缩合污水处理方法和装置**

### **项目概述**

尿素法生产 ADC 发泡剂的联二脲缩合污水主要含有氯化钠、氯化铵、未反应完全的尿素和水合肼，以及反应副产物等，水质特点是高盐（8-15%氯化钠）、高氨氮（10000-40000mg/L）、高 COD(8000-40000mg/L)、水合肼具有较高毒性，可生化处理性极差。对联二脲缩合污水有效处理，是 ADC 生产过程中必须同时解决的问题。本技术针对目前 ADC 发泡剂联二脲缩合污水 COD 难于达标排放或回用、结晶所得的盐纯度低、处理成本高和资源回用率低的技术问题，专门研发出一套 ADC 发泡剂联二脲缩合污水处理方法和装置。该方法和装置具有 COD 去除效率高，运行成本低，不引入新的元素成分，水资源回用或达标排放，氨和盐资源全部高纯度回收的优点。

### **项目成熟情况**

该项目在与外方的合作下，已经通过了 50L 的中试试验，并进行了海上实船试验。

### **应用范围**

应用于渔船、游艇、执法艇、交通艇、邮轮等。

## 12. 甲酯酸性生产废水丙烯腈生产废水资源化处理技术

### 项目概述

甲基丙烯酸甲酯酸性废水和丙烯腈生产废水的酸度高、氨氮含量高、COD 含量高和色度极高，环境危害极大。目前该类生产废水常采用硫磺焚烧法生产硫酸、液氨中和后蒸发废硫酸液生产硫酸铵。这两种方法在处理废水的同时分别获得了新的产品——硫酸和硫酸铵，能够实现资源回收利用，目前的处理方法存在处理成本高、经济效益差、处理过程中安全与环境风险大、没有实现全部资源回收等问题。本技术解决了废水因酸度过高不能浓缩结晶出硫酸铵以及不能资源化回收有机物的技术难题，废水经本发明方法处理后，废水中的氨氮资源、硫资源和有机物资源被充分回收，氨氮回收率大于 99.5%、硫回收率 99.2%、有机物回收率大于 96.0%，可得到固体硫酸铵、建筑材料和有机低聚物。本技术还具有使用的原材料成本低，余热被充分利用的特点。

### 项目成熟情况

比较成熟，可进行工业化生产。

### 应用范围

化工污水处理。

## 13. 含盐含油废水除油蒸发结晶器

### 项目概述

在含盐含有机物废水（或废液）蒸发浓缩结晶过程中，受废水（或废液）组成物料性质的影响，有些含有少量油或油状物的废水会随着水分蒸发、盐浓度增加而逐渐析出有机物——油，在蒸发结晶器中出现油/水/固三相物料的结晶浓缩混合液，其中大部分油浮在液体上部而影响水蒸发效率，若油积累过多时油会粘附在盐表面或包裹在盐中，直接影响以回收盐为目标的废水蒸发结晶产品的品质质量。对于这类在蒸发结晶过程中析出油相的废水（或废液），需要在蒸发结晶器中连续分离出油，即需要蒸发结晶器具有高效分离油的功能。本技术解决了目前的蒸发结晶器存在分离除油效果不佳、不能长时间连续分离除油、对某些含盐含有机物废水（或废液）蒸发效率低、所得的结晶盐品质差的问题，本技术对油

的分离去除效率高，结晶产品中有机物油含量小，可连续分离除油。蒸发结晶器具有结构功能完整、两级除油、连续运行的特点，同时具有易于控制、分离除油不受蒸发室压力波动的影响、可进行常压或减压蒸发结晶的优点。

#### **项目成熟情况**

比较成熟，可进行工业化生产。

#### **应用范围**

化工污水处理。

## **14.石墨碳电极材料的制备与储能技术**

### **项目概述**

电炉炼钢是石墨电极的使用大户。我国电炉钢产量约占粗钢产量的 18%左右，炼钢用石墨电极占石墨电极总用量的 70%~80%。电炉炼钢是利用石墨电极向炉内导入电流，利用电极端部和炉料之间引发电弧所产生的高温热源来进行冶炼。

矿热电炉主要用于生产工业硅和黄磷等，其特点是导电电极的下部埋在炉料中，在料层内形成电弧，并利用炉料自身的电阻所发出的热能来加热炉料，其中要求电流密度较高的矿热电炉需用石墨电极，例如每生产 1t 硅需消耗石墨电极约 100kg，每生产 1t 黄磷需消耗石墨电极约 40kg。

生产石墨制品的石墨化炉、熔化玻璃的熔窑和生产碳化硅用的电炉等都属于电阻炉，炉内所装物料既是发热电阻又是被加热对象，通常，导电用的石墨电极嵌入电阻炉端部的炉头墙中，用于此处的石墨电极不连续消耗。

石墨电极的毛坯还用于加工成各种坩埚、模具、舟皿和发热体等异型石墨产品。例如，在石英玻璃行业，每生产 1t 电熔管，需用石墨电极坯料 10t；每生产 1t 石英砖，需消耗石墨电极坯料 100kg。

### **项目成熟情况**

技术成熟，已进行成果转化。

### **应用范围**

学校与鸡西市签订了“共建新型研发机构——哈工程鸡西碳材料创新研究院项目合作协议”，开展核心技术联合攻关，拟成立公司及研究院，主要研究范围

包括碳材料、碳基复合材料、石墨烯、石墨精粉、可膨胀石墨、球形石墨、高纯石墨、柔性石墨等碳材料精深加工产品的技术开发、制造、设备、销售、维修和服务。鸡西石墨企业逐步实现规模化发展、大企业引领。中国宝安、北汽集团、哈工大机器人等知名企业落户鸡西，60户企业差异化发展，形成了8个产业链条，呈现相互协同的集群发展态势。鸡西已成为全球最重要的石墨新材料生产加工集聚区。在天然石墨负极材料、氧化石墨烯合成、无氟提纯等“卡脖子”技术上，取得了行业领先的研究成果，已成为推动产业创新发展的强劲动力。

## 15. 环保型海洋防污涂料

### 项目概述

海洋生物污损是海洋开发必须解决的首要问题之一，海洋生物污损不仅会船舶航行阻力和燃油消耗增加，引起严重的生物腐蚀，缩短船舶和海洋装备的使用寿命。本成果基于自抛光原理，通过分子设计合成制备出具有水解稳定、物理性能优异的防污树脂，解决普通防污漆抛光速率不可控、易开裂等问题。同时，通过环保防污复配体系的优选、涂料配方的优化设计，制备出适用于不同类型船舶的系列环保型防污性能优异的防污涂料，且有效保证防污期效及防污效果。该技术打破国外涂料公司对我国防污涂料市场的控制，加快推进我国环保长效防污涂料实现自主化。

本成果采用多种步骤及路径制备了丙烯酸锌、丙烯酸铜、丙烯酸硅氧烷等环保型防污树脂，同时基于上述树脂制备了系列含铜型防污涂料及无铜型防污涂料，根据其防污期效又分为1~2年、3年、5年等多种类型。该成果不含有传统的有机锡等毒性防污剂，环保可靠，同时施工方便便捷、不需要苛刻条件。

### 项目成熟情况

该项目在与外方的合作下，已经通过了50L的中试试验，并进行了海上实船试验。

### 应用范围

应用于渔船、游艇、执法艇、交通艇、邮轮等。

## 16. 铀吸附特种材料制备及海水提铀技术

### 项目概述

针对我国陆地铀资源短缺和国际环境变化所引起的核工业铀原料供给不足的实际问题，课题组开发、研制高效铀吸附材料，并进行了中试放大、实海提取应用研究，本项技术在国内处于领先水平。本项技术可以大容量、高循环、快速铀吸附功能材料，满足不同实海情况以及含铀废水对于吸附材料的特殊要求。海水提铀高效吸附剂吸附容量大于 0.3mg/g，去除率大于 90%，吸附剂的脱附率大于 80%；建成新材料研发-动态模型性能评价-实海测试一体化研究平台的建设，实现了新材料研发与海水提铀材料实际应用的有效衔接，解决了我国铀吸附材料研发与实际应用相脱节的瓶颈性问题。本项技术授权专利 15 项，专利保护范围涉及吸附剂制备、吸附装置设计、含铀废水处理和中试放大设备，对于引进、吸收的关键技术形成了较为合理、完整的知识产权保护体系。

### 目成熟情况

样品阶段。

### 应用范围

应用领域：特种材料、核电原料以及含铀废水处理。

产业前景化：铀作为一种重要的核燃料，关系到我国核电的稳定运行和国家战略安全的实施。随着我国核工业的快速发展，对铀的需求与日俱增，未来铀资源的供应将严重依赖进口，因此拓展我国铀资源的供应途径迫在眉睫。本项技术通过与俄方合作，开发研制具有自主知识产权的海水提铀技术，开展海水提铀国际合作研究，不仅可以为保证未来我国核电稳定运行所需的核燃料稳定供应提供途径，同时海水提铀技术中高效铀吸附剂的研发和低浓度提取技术对核电运行所产生的核废液处理具有重要意义。

合作方式：技术转让、股权投资、风险投资、许可使用、合作开发。

## 17. 自催化高性能邻苯二甲腈树脂

### 项目概述

邻苯二甲腈树脂是一种与聚酰亚胺相媲美的耐高温树脂，其聚合物具有优异

的结构稳定性、耐高温性、阻燃性、耐湿热性以及烟雾和有毒气体少的特性，是目前唯一能够满足美国海军潜艇防火性能的有机聚合材料。本项目在单体的制备、耐高温胶粘剂等方面已具有自主知识产权，可根据用户需要进行基体树脂结构设计、树脂共混及增韧改性。

技术指标：玻璃化转变温度： $\geq 300^{\circ}\text{C}$ ，初始热分解温度： $\geq 380^{\circ}\text{C}$ ， $800^{\circ}\text{C}$ 时残碳率： $\geq 60\%$ ，可在  $300^{\circ}\text{C}$  下长期使用。

### 项目成熟情况

基础研究阶段。

### 应用范围

高性能树脂基体、绝缘材料、电子封装材料、耐高温胶粘剂、耐高温涂料、层压材料等。

## 18. 高性能深水浮力材料

### 项目概述

随着陆地资源的日益枯竭，世界各国越来越重视对海洋的探测和开发。就全世界近年来发现的海洋油气田，一半多在深水，深水将是未来全世界油气战略接替的主要区域。深水油藏的勘探开发已成为世界主要石油公司的投资热点。

目前，海洋探测和开发所需的深水浮力材料由国外几家公司垄断，而我国在深水浮力材料的材料体系、技术工艺、产品性能等方面存在不足，极大地增加了我国深水开发的成本。

深水浮力材料自身具有密度低，浮重比大，抗压强度高，且能承受数千米水下巨大的静水压力，吸水率低，耐腐蚀，绝缘，隔热，阻燃，隔音等诸多优良品质及良好的可设计与机加工性能，能为海洋工程装备提供净浮力，是深水开发、探测、生产等海洋工程环节中必要的关键性材料之一，是保障深海装备及其高效可靠应用的关键技术。

哈尔滨工程大学结构功能一体化材料研究所 2006 年以来就致力于深水浮力材料的研究，所研发的深水浮力材料性能达到国内领先，国际先进水平，并取得了一系列科技成果。所研发的产品已在海洋工程中应用。

项目组制备的高性能浮力材料性能指标：

体积密度：0.35~0.55 (g/cm<sup>3</sup>)；

单轴压缩强度：20~50 (MPa)；

可潜深度：500~4500 (m)；

体积变形率：≤1%；

吸水率：≤1%。

### 项目成熟情况

已经实现产业化生产，可批量化生产大体积、复杂形状的浮力材料。

### 应用范围

深水浮力材料广泛应用于水下工程及装备，其应用贯穿海洋考察、海洋探测、海洋开发、海洋采油、海洋石油输送、ROV 水下作业、海洋工程设备安装维修等多个领域。

## 19. 水环境下金属基激光熔覆涂层的成形机理及摩擦学性能研究

### 项目概述

当今世界，人口数量急剧增长，陆上能源日益短缺，于是人们逐渐将目光转向了大洋深处。如今，世界各国纷纷加入了海洋资源的争夺中，竞相发展海洋工程技术。随着海洋开发逐渐向深、远海方向发展，诸如石油钻井平台、海底输油管道等大型结构件的在线维修需求也变得日益迫切。在海服役的结构件，除了承受工作载荷之外，还承受潮水、波浪等引起的附加载荷以及流沙磨蚀和海水腐蚀的作用，尤其是在深水环境中服役的金属结构件，它们面临的工作环境更加苛刻，常常因为表面腐蚀、摩擦磨损而造成失效甚至导致重大事故发生。目前，人们开发了一系列的水下维修技术，包括水下焊接技术、干法和局部干法激光熔覆技术等，然而，这些技术都有其不可避免的局限性，不能满足海洋工程日益严苛的维修需求。近些年来，将激光熔覆技术移植到水环境中的尝试为人们提供了水下金属件在线维修的新思路。本项目针对海洋工程装备易损零部件在线维修的迫切需求，开展水环境下金属材料激光熔覆行为机理的研究。重点搭建水下环境模拟实验系统，揭示激光/水/材料之间相互作用下的熔覆层传质机理，明确氢、氧、氯、硫等有害杂质在熔覆层中的扩散机制；完成水下激光熔覆过程的温度场和应

力场的仿真模拟，揭示水下激光熔覆过程中残余应力产生及演变机制；阐明水下环境多物理场耦合下组织演变规律和气孔、裂纹等缺陷形成机理；结合上述机理研究与试验测试探索得到影响水下湿式激光修复涂层力学性能与腐蚀磨损性能的关键因素，为海洋工程关键装备水下在线维修提供理论指导。

### 项目成熟情况

技术成熟度 3 级，针对应用设想，通过详细的分析研究、模拟仿真和实验室实验，验证了技术概念的关键功能、特性，具有转化为实际应用的可行性。主要成果为研究报告、模型和样品等。

### 应用范围

海洋工程金属零部件的原位维修。

## 20. 超声波固结成形快速固结增材制造高端装备与(3D 打印)技术

### 项目概述

超声波固结成形快速固结与制造（3D 打印）技术是以金属箔材为原材料，利用超声波的高频振动，使层与层之间的接触界面在静压力和弹性振动能的共同作用下，通过摩擦、温升等作用促进界面之间的扩散与结合，实现层间的固态冶金结合。

技术特点：

（1）不需要特殊的 3D 打印金属粉末，采用的是普通金属箔材（如铝箔、铜箔、钛箔、不锈钢箔材等），来源广泛，价格低廉；

（2）固态连接成形，温度低，残余内应力低，无须进行去应力退火，节省能源；

（3）不产生任何焊渣、污水、有害气体等废物污染，因而是一种节能环保的快速成形与制造方法；

（4）金属箔材表面氧化膜可被超声波击碎，无需对金属带材进行表面预处理。

本项目开发的超声波固结成形高端装备和技术打破了国外的技术封锁和垄断，填补了国内空白，使我国成为继美国之后国际上第二个掌握该技术的国家。

该技术可用于制造高性能金属叠层复合材料板材（箔材）和零部件，如：叠层复合电极，金属夹芯板结构以及高端电子封装等，该装备和工艺的应用将改变目前我国由于缺乏先进的复合材料制备技术、不能生产这种高性能复合材料的落后局面。该技术属于低温、低成本和高效率的制造技术，是一项利国利民的绿色环保工程。该项目顺应了国家节能减排、减少资源浪费、可持续发展的战略，具有重要的社会效益。

主要专利：

连续陶瓷纤维均布铝带材超声波固结快速制造方法——已提交。

### 项目成熟情况

超声波固结成形快速固结与制造技术装备样机已完成，正在进行试生产的阶段。

### 应用范围

航空航天、舰船、交通、电子、电力、能源等领域。

## 21. 超纯超微金属间化合物 $Al_3Ti$ 粉体制备技术

### 项目概述

本项目开发的超纯超微金属间化合物  $Al_3Ti$  粉体，由于其具有低密度，高强度，耐高温、抗氧化、无磁性、耐腐蚀，导电等性能，可作为耐磨涂层，导电填料，高阻尼填料，复合材料增强相、3D 打印粉体材料，解决了传统制备方法无法制备高纯度金属间化合物  $Al_3Ti$  粉体的局限性。该技术属于低温、低成本和高效率的制造技术，是一项利国利民的绿色环保工程，具有重要的社会效益。

利用先进的制造技术，制备出了传统制备方法无法获得的高纯度金属间化合物  $Al_3Ti$  超微粉，该技术工艺简单，成本较低，超微粉成分单一，大小均匀，粒度可控，粒径在  $100\text{nm}-5\ \mu\text{m}$  调控，粉体具有低密度，高强度，耐高温、抗氧化、无磁性、耐腐蚀，导电等性能。

主要专利：

一种超纯  $Al_3Ti$  金属间化合物粉末的制备方法 201410826981.5

### 项目成熟情况

技术成熟，处于小批量生产阶段。

## 应用范围

耐磨涂层；导电填料；高阻尼填料；复合材料增强相、3D 打印粉体材料等领域。

## 22. 连续纤维预制轻金属带材自动化制备技术

### 项目概述

针对连续陶瓷长纤维束丝不易均匀分散，铺放过程中易折断等问题，发明了束丝纤维分散与固结成形一步法制造技术。该技术采用超声波先进制造技术，纤维百分数、箔材厚度可调、可控等特点，具有自动化程度高、连续生产、效率高等优点。

本项目可用于连续陶瓷纤维（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiC、玄武岩）和碳纤维等的快速固结成形，生产出纤维分布均匀的轻金属预制带材，可用于钛合金、铝合金、镁合金等轻金属带材、板材、以及复合材料结构的制造，生产纤维分布均匀、性能均匀的机械零部件制造。

主要专利：

连续陶瓷纤维均布带材超声波固结快速制造技术——已提交。

### 项目成熟情况

处于样品阶段。

## 应用范围

航空航天、舰船、汽车制造、轨道交通等领域。

## 23. 高性能金属层状复合材料低成本制备及应用

### 项目概述

金属层状复合材料板（箔）材及 CPC “三明治” 结构电子封装材料、各种夹芯板等复合材料因具有优异的力学、物理和化学性能，在电力电器、冶金设备、石油化工、交通运输、能源工业、微电子工业、航空航天等诸多领域有着广泛的应用。特别是高性能金属间化合物基层状复合材料和夹芯板等轻质材料更是航空航天等领域急需的新材料，但国内目前尚不能生产金属间化合物基层状复合材料。因此，高性能金属层状复合材料的需求和应用空间广阔。

超声波固结和无真空烧结技术是目前国际上金属层状复合材料板（箔）材制造最先进的技术之一。和传统的制备工艺（轧制、爆炸复合成型等）相比，它具有低温、快速、工艺简单、适用性广，可用于制备高性能的层状复合材料板材（箔材），被称为绿色制造技术。但是由于国外对这一高技术的限制，国内至今还不能采用这种先进制造技术来生产高性能层状复合材料。该工艺的技术特点是：

- （1）工作温度较低，节省能源，是一种低成本的制造工艺；
- （2）不需要对金属箔的表面进行预处理，金属层间结合率达 99%，界面结合强度优异；
- （3）可以代替传统的工艺技术来制造多种金属层状复合材料体系；
- （4）通过起始金属箔的改变，可以很方便地把合金化元素、增强纤维引入到转变后的金属间化合物中，进一步地改善复合材料板材的性能；
- （5）可实现连续生产，生产效率高，适合于产业化。

该项目属于高技术新材料领域，已获得多项美国专利。预计投资规模在 5000 万元左右。

据报道，仅国内爆炸复合厚板低端产品一项的国内产值大约在 40-50 亿人民币左右。本项目将联合研发超声波固结成型制造设备，利用先进装备和技术生产高性能金属层状复合材料板（箔）材，将填补我国在相关领域的空白，促进相关产业升级，建立国内高性能复合材料产业，是一项利国利民的绿色环保工程。

### **项目成熟情况**

项目目前处于实验室样品阶段。

### **应用范围**

该工艺可用于制造多种金属层状复合材料板（箔）材，例如：Cu/Al 复合排、Ti/Al、Ti/Cu、Cu/Al 复合板、CPC 电子封装层状复合材料、金属泡沫夹芯板等。对利用超声波固结工艺制造的毛坯进行后续烧结，可生产轻质高性能金属间化合物基层状复合材料，这类层状复合材料在航空航天、地面武器装备等国防领域具有广泛的用途，还可联合研发超声波固结成型制造的高端设备。

## **24. 深海固体浮力材料**

### **项目概述**

固体浮力材料是由无机轻质填充材料填充到有机高分子材料中,经物理化学反应得到的固体复合泡沫材料。从宏观上看,该材料是一种低密度、高强度、低吸水率的聚合物基固体复合材料,具有密度低(0.35~0.93g/cm<sup>3</sup>)、吸水率低(不大于2%)、机械强度高(压缩强度1~100MPa)、耐腐蚀、可进行二次机械加工等特点,满足水下不同装备的浮力减重应用要求。

本系列产品具有低密度,高强度,在高静水压下吸水率低等性能优势。可采用车、刨、锯、钻、磨加工方式进行机加工,安装便捷,也可现场浇注一体成型,良好的耐油、耐酸碱、耐海水、耐候性、耐腐蚀性能。

### 项目成熟情况

1984年,哈尔滨工程大学受船舶总公司军工部位委托研制某深浅救生艇固体浮力材料,达到国际先进水平,填充国内固体浮力材料研制领域的空白。经过三十五年发展,哈尔滨工程大学研制的固体浮力材料已形成系列化、产业化,成功应用于各种舰艇、水下机器人和海洋装备,技术成熟度达到9级。

### 应用范围

固体浮力材料在海洋开发中广泛应用于各种水下机器人、深潜器、潜标系统、潜水钟、水下集矿机、海洋石油勘探开发隔水管、深水管道布放浮体、浮拦、浮球、脐带缆浮体、系泊浮筒等众多领域,满足了深海勘探考察、石油开采、深海采矿等需求,具有非常广阔的应用前景。

## 25. 纤维增强型中空纤维超滤膜研制

### 项目概述

在膜材料内部复合高强度纤维,膜强度极大提高,耐抖动,抗污染,通量高,同时膜表面过滤层进行亲水性抑菌性改性,膜耐污染能力大大提高。

在污水处理与回用领域,饮用水深度净化领域,海水淡化领域具有广阔的应用前景,目前国内掌握核心技术的生产厂家还很少,经济效益非常显著。

主要专利:

亲水性聚氯乙烯膜及其制备方法 200910071483.3

### 项目成熟情况

技术成熟,处于批量生产阶段。

## 应用范围

污水处理与回用、饮用水深度净化、海水淡化预处理等领域。

## 26. 超轻镁锂合金

### 项目概述

本项目是在国家“863项目”的研究基础上，进行了熔盐电解镁锂基多元合金的研究，把电解的镁锂中间合金作为原料，经熔铸、合金化、变形等过程研制了一系列力学性能较优的镁锂基合金。并系统研究了镁锂合金的电化学性能，利用化学镀、微弧氧化、纳米仿生组装等先进技术制备了防腐性能良好的表面膜。本单位研制的合金强度能达到300MPa左右，延伸率达10%以上，密度小于 $1.65\text{g/cm}^3$ ，并能获得各种尺寸的挤压件和轧制件（冷轧薄板能达到小于0.5mm）。

本单位对镁锂合金熔铸与变形加工进行了技术攻关，掌握了获得高性能镁锂合金的关键技术，目前所制备合金的力学性能达到国际水平且在某些指标上超过了国外水平。所涉及的合金的制备与加工路线为：熔铸、热处理、挤压变形、轧制变形、冲压加工、表面处理。

根据比强度、比价格相等原则，确定镁锂合金材料价格为45万元/吨。而且如果能开发一些高附加值镁锂合金零部件产品的生产，并使之得到推广，那么镁锂合金零部件的价格将远高于板材、棒材的价格，每年的利润空间将在此基础上进一步得到扩大。目前本项目处于中试阶段，能获得性能稳定的铸件、挤压件和轧制件，且这些材料尺寸稳定性好。

本项目获2009年黑龙江省科技奖（自然类）二等奖。产业化的目标是批量制备加工镁锂合金锭材、形变型材等原材料以及某些市场前景较好的零部件生产，所需投资500万左右。

### 项目成熟情况

技术成熟，中试阶段。

### 应用范围

航空、航天、船舶、汽车、电子产品、武器装备等领域。

## 27. 双相不锈钢叶轮

### 项目概述

该工件由 ZG0Cr25Ni5Mo2N 采用精密铸造方法制成，技术难点在于该材料属于新材料，其组织形成规律、材料的性能需要进行分析和研究，双相不锈钢精密铸造在国内应用较少，许多技术问题需要解决，如开模问题、可溶芯技术、涂料和制壳技术、缩孔缩松问题等。目前已经掌握了材料的组织控制、性能参数，并且解决了上述生产过程中的技术难题。产品实现稳产，成品率达到 97%以上。

#### 技术特点：

- (1) 研发了双相不锈钢铸件精密铸造技术；
- (2) 引入体视学定量金相技术，实现了组织控制技术；
- (3) 通过对双相不锈钢的力学性能、腐蚀性能的研究，揭示了其强化机制以及耐腐蚀机理；
- (4) 发明了双相不锈钢的无烧损无氧化熔铸方法和载波钝化法，解决了制造过程中的关键问题，提高双相不锈钢耐腐蚀性的方法。

#### 技术水平：

整体技术属于国内先进水平，其中双相不锈钢的无烧损无氧化熔铸方法和双相不锈钢的载波钝化处理属于创新性成果。

#### 主要技术指标：

- (1) 所制备双相不锈钢的化学成分符合设计要求；
- (2) 奥氏体和铁素体含量稳定，占 40%~60%；
- (3) 所制备双相不锈钢具有良好的耐盐雾腐蚀性能、耐酸性腐蚀性能和力学性能，并且达到相关标准的要求。

### 项目成熟情况

目前该项技术处于技术成熟阶段，已经批量生产。

### 应用范围

耐酸泵。

## 28. 碳陶瓷复合密封材料

### 项目概述

石墨材料具有良好的耐高温、低温、导电、导热及自润滑性能，具有较高机械强度及较小的热膨胀系数，抗热冲击性能优良，化学稳定性好，对大多数酸、碱、盐溶液不起化学反应或反应很弱，且石墨材料易于机械加工，所以广泛应用于航天航空、机械、电子、电工、半导体、冶金、化工、生物工程等领域，已成为一种不可缺少的特殊工程材料。普通碳—石墨材料，一方面强度低，开孔率大，用于流体密封承受压力低，密封性差；另一方面，石墨材料的抗氧化能力差，在一定程度上限制了石墨材料应用领域的扩大。因此，克服石墨材料的弱点，满足石墨材料在高新技术上的要求，是碳石墨制品制造业急需研究解决的重要课题。成果通过鉴定，获黑龙江省科技进步奖励 2 项。

碳陶瓷复合材料材料性能

抗压强度 (MPa)	抗折强度 (MPa)	肖氏硬度 (HS)	体积密度 (g/cm <sup>3</sup> )	电 阻 率 ( μ Ω . m)	气孔率 (%)
220~300	45~65	70~80	1.80~2.0 0	40~50	1~3

### 项目成熟情况

技术成熟，可以推广。

### 应用范围

碳石墨材料改性、密封材料制备等领域。

## 29. 轻质高强浮力材料

### 项目概述

深水浮材具有抗压强度高、密度低、浮重比大、吸水率低、耐腐蚀、抗冲击、绝缘、隔热、阻燃、隔音等诸多优良品质和良好的机加工性能，受到人们广泛关注和重视。在海洋科考、海洋石油开发、渔业、航空等方面的应用非常广泛。尤其伴随深水油气田开采，促使了对深水浮材的研究与应用发展。

1500m 深海浮力材料的主要技术指标：

体积密度：0.40~0.52 (g/cm<sup>3</sup>)；  
抗压强度：≥15 (MPa)；  
破坏强度：≥23 (MPa)；  
可潜深度：1500~2000 (m)；  
吸水率：≤3 % (1500m 水深 24h)；  
使用温度：-20~80(°C)。

主要专利：

深水耐压浮力材料 CN200710144488.5

空心陶瓷球及其制备方法 CN200710144489.X

深水耐压浮力装置 CN200710144490.2

### 项目成熟情况

技术成熟，中试化阶段。

### 应用范围

海洋开发、海底勘测等领域。

## 30. 应用在船舶中的聚酰亚胺材料

### 项目概述

本项目旨在开发一种新型低密度、保温性好、使用安全可靠、施工便捷的船用高性能绝缘保温材料——聚酰亚胺泡沫保温材料，克服现有玻璃棉、岩棉等无机材料和以软木、聚氨酯泡沫为主的天然或合成的有机材料在使用中的缺点，以达到降低空船重量、减少船舶能耗、提高船舶速度和运输能力的目的；研发出具有自主核心技术和知识产权的高性能聚酰亚胺保温材料，打破美、德、日对核心技术的高度封锁和产品垄断，对于我国船用保温材料行业的发展具有重要的引领作用。同时该材料的广泛应用对于我国船舶行业运营成本降低和环境保护具有巨大的潜在经济价值和社会价值。

技术特点：

聚酰亚胺泡沫保温材料首先通过高分子缩合聚合技术合成出前驱体材料，然后前驱体材料通过微波发泡技术和高温处理而制备出了一种泡沫轻质保温材料。

主要技术指标：

表观密度 6~30kg/m<sup>3</sup>；导热系数≤0.04W/m·K；极限氧指数≥32%；烟气密度及毒性符合 IMO《国际耐火试验应用程序规则》；低播焰性 IMO《国际耐火试验应用程序规则》；耐温性 200℃/12h 不发粘；-35℃/12h 不龟裂；降噪系数 25mm≥0.5。

经过几十年和多个国家的验证，聚酰亚胺泡沫已成为船舶隔热隔声材料的首选材料。在民用船舶，如高速船、豪华游船、快艇和液化天然气船上也得到广泛应用。中国在此领域发展较晚，但应用前景非常之大。仅海监船市场预计保温材料需求量约为 5-10 万立方米，预计规模为 20 亿元人民币。船舶在内装保温材料方面用量亦非常巨大，如果用高性能聚合物轻质泡沫材料替代传统的无机纤维类保温材料，纤维保温材料密度一般在 100kg/m<sup>3</sup>，一条船舶可以减重约 500-850 吨。而此项减重所带来的运载能力增加，再加上材料的可靠性保证将大幅度提升船舶性能并降低运行维持成本。

### 项目成熟情况

试生产阶段，技术成熟，国际先进。突破了关键技术难点，掌握了关键发泡技术及中试放大原理，突破了发泡成型中的尺寸限制和泡孔结构控制难题，在技术水平上走到了国内前列，已经完成关键性能指标第三方检测。

### 应用范围

船舶、航空、航天、高铁、电子仪器等领域中作为隔热、吸声、绝缘保温材料有着广泛的应用，例如船舶的隔热层合板、降噪层合板、吸声天花板、管道的外包覆材料；航空航天领域中机身、机腹、空调管道的隔热吸声系统；轨道交通车辆侧板和顶板，加热、通风、空调系统中的隔热吸声系统；太空和石化设备中超低温环境。

## 31. 纳米相强化高强度、高韧性船用钢

### 项目概述

尽管我国已成为世界造船第一大国，粗钢产量也位居世界前列，但是，我国在高性能钢铁材料开发方面仍然面临很大的技术瓶颈，严重阻碍了我国造船业发展。本项目是在美国大型船开发的高强度低合金钢的基础上，通过技术消化吸收和集成创新，开发出新型纳米相强化高强度、高韧性、耐冲击船用钢。该产品可

以通过产品性能调整满足不同民用船舶建造的需要。

纳米相强化高强度、高韧性、耐冲击船用钢同其他钢种相比具有几个明显优势。首先本项目是在美国船用钢基础上通过集成创新发展而来，因此技术成熟，研制和产业化周期短；同时，这种新型纳米相强化钢在具有高强度、高韧性的同时具有优秀的焊接性能，这是其他钢种所不具备的，因此更适合应用于大型船舶的建造上。这种新型纳米相强化钢可通过传统钢材的制造工序与新技术的结合获得，在原有钢材生产的基础上不需要大量的设备改造和更新，因此可以大大降低生产成本。

纳米相强化高强度、高韧性、耐冲击船用钢的关键技术特点是利用纳米相强化替代碳强化。纳米相强化机制可以在低合金含量的条件下保证材料具有高强度、高韧性。同时因为大大降低碳含量从而使材料具有优异的焊接性能。纳米相强化钢可以通过合金成分、生产工艺控制实现对纳米相的形成和形态、数量进行控制而实现对产品性能的控制。

本课题组已经完全掌握了本项目所需的所有理论基础和技术基础，已经研制出屈服强度达 1400MPa，延伸率达 15%，并具有优异焊接性能的高强度、高韧性低合金纳米相强化钢，目前处于世界领先水平。所能达到的主要技术指标如下：

钢号	屈服强度 (MPa)	延 伸 率 (%)	断面收缩 率 (%)	冲击功		
				-20°C	-40 °C	-80 °C
600MPa 级	600-750	30-40	55	115	100	-
900MPa 级	900-1050	25-30	50	95	80	-
1200MPa 级	1200-1400	15-25	40	80	60	-
1400MPa 级	1400-1600	10-15	20	65	20	-

钢铁材料目前乃至以后的很长一段时间仍然是世界范围内使用量最大的结构材料，纳米沉淀相强化铁素体钢由于其高性能、低成本具有广阔的市场前景。该项目实施后有望对我国国防工业、能源工业以及基础设施建设等方面产生重要影响，同时为成果转化企业带来巨大的经济和社会效益。本项目起点高，处于世界领先水平。纳米沉淀相强化铁素体钢由于其低成本、优异的力学性能和焊接性

能使同普通刚强度低合金钢相比，具有明显优势，因此具有极强的竞争力。因此，本项目开发的产品具有广泛的应用领域为低风险提供了保障。

### 项目成熟情况

本项目技术成熟，现已进入试成产阶段。

### 应用范围

造船、汽车及重型卡车、输油管道、钻井平台等。

## 32. 生物医学材料

### 项目概述

#### (1) 新型生物医用金属材料及其骨科植入物

金属材料具有其他材料不能比拟的高机械强度和优良的疲劳性能，仍是临床上应用最广泛的承力植入材料。新型医用合金在设计时应该考虑的问题包括：

- 1) 首先要求合金中的组成元素无毒性和无致敏性；
- 2) 要求合金具有高强度、高韧性、低模量和优良的冷热成形性。我们开发了 TiNb、TiNbSn、TiNbZr、TiMoSn、TiMoZrSn 等多种生物医用金属材料，它们可以广泛用于制造新型骨科植入器械、口腔器械、手术器械等。

#### (2) 新型生物医用高分子材料

我们研制出可生物降解 PLLA 及其与 PCL 共聚物，系统分析了该材料的形状记忆特性及其影响因素，探讨了形状记忆特性与微观结构之间的内在关系和本质，同时对其降解行为进行了评价，为开发在力学性能、降解性能及形状记忆特性等方面综合性能更适宜于生物医学应用的可生物降解形状记忆聚合物奠定理论基础。

我们通过乳液凝胶法制备了壳聚糖 / 海藻酸钠微胶囊，微胶囊的表面呈多孔褶皱结构。壳聚糖 / 海藻酸钠微胶囊在碱性条件下有很好的膨胀性，好的膨胀性使囊壁的孔变大，因此微胶囊在 pH 为 7.4 的缓冲液中有更好的释放性能，在 12 小时内释放量达到 83% 以上。此外，壳聚糖 / 海藻酸钠微胶囊有很好的顺磁性，在磁铁的作用下能够沿着磁场的方向做定向运动。

#### (3) 纳米生物医学材料

我们采用共沉淀法、部分还原沉淀法和水浴共沉淀法三种工艺制备了 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

磁性纳米颗粒，最终控制颗粒尺寸小于 10nm，其磁学特性呈现超顺磁性，符合生物医用需要。随后通过直接掺杂和利用乙醇作分散剂两种工艺合成 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 纳米颗粒/聚氨酯复合薄膜，同时对其各项性能进行表征，证明了此种薄膜适用于血管支架的涂层。

#### (4) 新型生物医用降解性镁合金及其血管支架制品

本项目受国家“863 计划”项目支持，在此研究基础上设计制备了具有自主知识产权的无毒、可控降解、高强韧的新型生物医用镁合金，掌握了该镁合金薄壁微细管材及完全可降解载药涂层镁合金血管支架的制造技术，镁合金材料及支架技术水平达到国际领先水平；镁合金材料室温抗拉强度为 240–250 MPa，延伸率不低于 25%；动物实验结果表明具有优异的生物相容性；镁合金溶血率均低于 5%，适于加工制造与血液直接接触的镁合金血管支架等制品；已完成了初步动物实验，制备出血管支架动物实验及临床前样品。项目初期投资规模 9000 万元。冠脉介入手术已从 1998 年的 5000 余例上升到 2010 年的 30 万例，市场规模约为 80 亿元，而且近年来都在以大于 50% 的比例增长，预计 2012 年国内市场规模达 100 亿元左右。考虑到新产品初期价格比现有产品高，以初期占有国内 10–20% 的市场分析，每年产值达 10–20 亿元。可降解镁合金血管支架具有非常高的市场应用价值，将成为介入治疗支架器械领域的重要高端基础产品。

授权 2 项（ZL 200810064508.2、ZL 201010148945.x），申请 2 项（201110435613.4、201110435644.x）

已掌握可降解镁合金材料、镁合金薄壁微细管材、药物洗脱镁合金血管支架的制造技术，已研制出样品，完成体外生物相容性评价，进行了初步动物实验。应用于介入医学工程、临床医学（心脏内科、血管外科）等领域。

#### 项目成熟情况

技术成熟，可推广应用。

#### 应用范围

医疗卫生领域。

## 33. 鳞片阻挡型环氧重防腐涂料

### 项目概述

鳞片阻挡型涂料在所形成的保护层中，由于鳞片形成的有效迷宫效应，可以阻止外部水、气对涂料所要保护对象的侵蚀，降低腐蚀速度。国内应用鳞片阻挡型涂料的研究主要集中在玻璃鳞片涂料方向，目前国内玻璃鳞片的价格达到8000多元/吨，超薄的玻璃鳞片价格更高，甚至达到60000元/吨，而本项目所采用鳞片的价格仅仅是普通玻璃鳞片的1/3，因而可以大幅降低涂料成本。同时在鳞片制备过程中，预先在鳞片表面形成具有化学活性的活性中心，使得活性鳞片填料与环氧树脂之间形成化学键合，并使活性鳞片填料在涂层中形成几十~一百多层的层状排列结构，增加迷宫效应，进一步提高涂层的抗渗透性以及涂层的阻挡性能。

#### 项目成熟情况

涂料配方的完善过程中。

#### 应用范围

可作桥梁、船舶、海上平台、港湾设施的防腐涂层等；也可以用于保护水泥制品等。

## 34. 二硅化钼基高温结构复合材料

#### 项目概述

哈尔滨工程大学结构功能一体化材料研究所在高性能结构及热防护材料的研制方面，具有多年的开发经验和雄厚的研发实力。难熔金属间化合物二硅化钼( $\text{MoSi}_2$ )由于具有很高的熔点( $2030^\circ\text{C}$ )、极好的抗氧化性和适中的比重，特别是它具有可贵的R特性，即在温度升高时其强度并不下降，并以其诱人的高温物理化学性能，引起了国际材料界极大的兴趣。开展了大量的研究工作，目前在低温增韧和高温补强方面取得了一些创新性成果，但是在高温环境下( $1200^\circ\text{C}\sim 1600^\circ\text{C}$ )所表现出来的综合性能往往不能兼顾，顾此失彼。如果发挥出 $\text{MoSi}_2$ 材料的潜在优势，它将在 $1200^\circ\text{C}\sim 1600^\circ\text{C}$ 的高温环境下表现出优异的综合性能，是一类极有希望代替镍基超合金的新型结构材料。

#### 项目成熟情况

技术成熟，中试阶段。

#### 应用范围

研制的二硅化钼基高温结构材料可用于航空航天、民用气轮机、汽车、船舶、发电机等领域高温环境中。

### 35. 玄武岩纤维复合筋增强混凝土复合材料

#### 项目概述

本项目采用具有低密度、高强度、良好抗腐蚀性能等综合性能优异的玄武岩纤维复合筋替代传统的钢筋，并将其应用于混凝土结构中，制备出性能优异的玄武岩纤维复合筋混凝土，解决混凝土结构的耐腐蚀问题，提高其使用寿命，并且可以有效减轻结构自重，简化施工工艺，从而解决潮湿地区和酸碱环境恶劣的地区桥梁、路面钢筋混凝土结构存在的使用寿命、耐腐蚀问题，经济效益显著。

玄武岩复合筋材的力学性能

规格	公称直径		公称横截面积	极限抗拉强度	保证抗拉强度	弹性模量	断裂伸长率（最小值）
	外径	内径					
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	Mpa	Mpa	Gpa	%
#8	8	7.7	50.27	1200	1100	50	2.5
#10	10	9.6	78.54	1100	1050	50	2.5
#12	12	11.5	113.1	1000	960	50	2.5
#16	16	15.4	201.1	960	900	50	2.5
#19	19	18.5	295.50	900	860	50	2.5
#22	22	21.6	382.73	850	800	50	2.5
#25	25	24.5	537.90	800	760	50	2.5
#29	29	28.4	645.90	740	700	50	2.5
#32	32	31.6	807.34	700	660	50	2.5

#### 项目成熟情况

技术成熟，可以推广。

#### 应用范围

混凝土桥梁结构、道路建设、海港、码头、沿海、停车场等结构混凝土领域中的应用，也可应用于防腐建筑和地下工程中。

## 36. 大塑性变形制备钛基纳米晶材料

### 项目概述

现有的植入医用器械主要采用纯钛及钛合金制成，存在很多不足。本项目受国际科技合作项目支持，在此基础上研发了具有自主知识产权的新型高端医用纳米晶钛基材料及相关器械，目前已成功研制出了兼具良好生物相容性、力学性能与良好加工性的纳米晶钛基材料，在此基础上，开发了骨科及口腔相关的高端医疗器械；该材料技术水平居国际领先水平；长度大于 1000mm 的纳米晶钛合金棒材直径 6-10mm、具有纳米晶结构、强度高达 1000MPa、产品设计实现多样化。目前完成了口腔种植体等器械动物实验及临床前样品的研制，研究成果有助于提升我国在纳米晶材料及高端医疗器械领域的核心竞争力。本项目初期投资规模大于 3000 万元人民币。

本项目的产品主要用于患有口腔疾病的患者，主要用于治疗各类牙列缺损、与缺失的修复和龋洞成型、假牙修磨及硬脆齿科材料加工。

2010 年中国口腔医疗产品的市场年销售规模超过 160 亿元人民币，口腔医疗器械市场不但增长快速且行业利润率较高，是目前发展势头最好的板块，预计 2013 年国内种植体市场总量约 100 亿元，目标份额 10%。

钛基纳米晶合金高端医疗器械（骨科及口腔器械产品）具有非常高的市场应用价值，将成为提升我国在钛基生物医疗器械发展速度方面的重要高端基础产品。

拥有自主知识产权，授权发明专利 2 项（CN101423968 B、CN101260552 B）；申请发明专利 2 项（CN102743233 A、CN102824220 A）。

### 项目成熟情况

本项目技术成熟，已具备样品。

### 应用范围

骨科植入、外科修复及口腔器械等产品。

## 37. 低温前驱体裂解法合成碳化硼粉体

### 项目概述

碳化硼具有超常硬度，高熔点、高弹性模量、低膨胀系数，恒定的高温强度，密度小，中子吸收能力强，化学性能良好等优点，已经引起了人们的极大兴趣。欧洲人在碳化硼方面处于技术领先地位，在应用上，其潜在的经济价值已引起世界同行们的关注。近年来，美国、日本、韩国等先进国家在这方面做了大量研究工作，进展迅速。而目前，我国在这方面的的工作做得很少，所以发展前景广阔。在工业上碳化硼的制备方法主要是硼酐碳热还原法和镁热还原法，这些方法都需要较高的温度(一般高于 2000℃)，能耗大、生产能力较低。为了降低能耗，节约能源，目前人们正在探寻低成本并且能在低温条件下合成碳化硼的工艺。本项目研究了一种能在低温下合成碳化硼的方法，采用聚合物前驱体裂解法制备碳化硼。

#### 项目成熟情况

技术成熟，具有样品。

#### 应用范围

用于低温碳化硼制备；核反应中子屏蔽材料制备、防辐射涂料制备。

## 38. 纳米氧化锆系列产品

#### 项目概述

氧化锆超细微粉是制造高性能精细陶瓷的原料。由于氧化锆基精细陶瓷具有许多独特、优良的性能，因而广泛用于航天、机械、化工、电子、汽车、能源等领域，并成为许多领域技术革新新材料。氧化锆生产技术因产品用途不同而有较大差异。本项目可采用三种生产路线来实现。可根据市场需求进行调整。采用直接烧结法生产工艺获得的氧化锆产品成本较低，主要用于颜料等行业，产品附加值低。采用均匀沉淀法、加水分解法，工艺先进，产品质量好（在日本用加水分解法制得的氧化锆产品售价可达到 400-500 元 RMB/Kg）。可生产纳米级、亚微米级氧化锆系列产品，添加不同的稳定剂（钇、铈等），可制成全稳定、半稳定型产品。

氧化锆基精细陶瓷具有许多独特、优良的性能，如利用高强度、高硬度的性能可制成车削工具如车刀、铣刀、粉碎用球及拉丝、拉管、挤压等模具；利用耐高温、抗高温热冲击、防腐蚀、绝缘性良好等特征，制成热喷涂涂料后广泛应用

于绝热发动机、汽轮机、气冷反应堆等在高温环境下工作的零部件，以提高效率，延长使用寿命；利用其对气体的选择性，可制成氧气传感器，用于汽车工业、金属熔炼、锅炉等行业；利用其高温下具有优良的导电性能，用于固化燃料电池。此外，氧化锆还用于制造锆宝石、催化剂载体、釉彩等。具有自主知识产权，专利“加水分解法制备氧化锆超细粉体”（ZL200410044140.5，2008）。

按 100 吨/年规模装置进行计算，设备投资约需 800 万元。按沉淀法工艺生产单斜晶氧化锆微粉进行计算，原料成本约 6 万元/吨，生产成本约为 8-9 万元/吨，产品售价 12-13 万元，如建 100 吨规模装置可实现销售收入 1200-1300 万元，利税 300-500 万元；按加水分解法进行计算，原料成本约 8 万元/吨，生产成本约为 11 万元/吨，产品售价约 20 万元/吨，如建 100 吨规模装置可实现销售收入 2000 万元，利税 900 万元。由于该产品的品种多，生产工艺不同利润差别较大，无法列出详细清单，而加入稳定剂后，产品的附加值会更高。

#### **项目成熟情况**

已建成中间试验装置，技术成熟。

#### **应用范围**

广泛用于航天、机械、化工、电子、汽车、能源等领域，并成为许多领域技术革新的新材料。

## **39. 硫酸盐废水“生物-物化”处理及制备高纯度单质硫技术**

#### **项目概述**

为解决硫酸盐废水处理中硫的资源化问题，开发出一种硫酸盐废水“生物-物化”处理与制备高纯度单质硫技术，包括硫酸盐的生物还原、硫化氢的气/液分离和硫磺制备三部分，在处理硫酸盐废水的同时，连续、自动地进行单质硫的制备生产。单质硫的纯度高，酸性氧化剂可循环再生利用。可用于石油、化工、制革、印染及矿山等行业或企业含硫酸盐生产污水的处理，同时实现硫资源回收，实现企业清洁生产，可产生良好的经济效益和社会效益。

#### **项目成熟情况**

已取得知识产权，可针对不同污水进行专门设计。

#### **应用范围**

含硫酸盐污水及烟气脱硫。

## 40. 突发性土壤/水有毒有机物污染快速处理技术与设备

### 项目概述

有机化学品在生产、贮存、运输和使用过程中有时会发生泄漏事故，导致对土壤和水环境的污染。有些有机化学品，如农药、苯酚等属于有毒有机物，对环境及人体健康具有极大危害，对这类污染物必须进行快速处理，否则可能造成二次污染事故，扩大危害范围和危害程度。本项目提供一种处理有毒有机物点源污染土壤/水的处理技术，该技术具有效率高、速度快，自动化程度高等特点。突发性有毒有机物泄露造成的环境污染问题备受社会关注，快速处理这类污染土壤和水的技术与设备成为最终彻底消除污染的关键，也是城市污染消防必备设备，该设备可以设计成车载模式，能够像消防车一样及时抵达污染现场进行现场“灭”污染，方便快捷。

### 项目成熟情况

进行了实验室规模试验，效果良好。

### 应用范围

有毒有机物环境污染应急快速处理。

## 41. 新型阻尼复合材料结构技术

### 项目概述

结构轻量化设计和吸能减振技术是航空航天、海洋船舶、汽车交通等领域的重要研究方向之一，具有重要的理论和工程应用价值。轻质多孔材料（结构）因具有高比模量（强度）、吸能缓冲、减振降噪等优异的力学性能和物理特性，已成为各行业广泛使用的新型轻质多功能结构。本团队针对典型工程结构的工程需求，基于结构阻尼一体化技术和超材料思想，设计并制备出一系列兼具结构承载功能和阻尼减振功能的新型轻质混杂复合材料周期多孔板壳结构，揭示其阻尼耗能机理，为开发兼具高刚度（强度）和优异抗冲减振性能的新型轻质多功能结构提供技术储备和理论支撑。

### 项目成熟情况

技术成熟度等级 4，以原理样品或部件为载体完成实验室环境验证。

### 应用范围

在航空航天、武器装备、海洋船舶、汽车交通等领域具有广泛的应用，如：卫星、火箭等先进航天器结构，舰船、邮轮、深海潜航器等海洋装备，汽车、高铁等先进轨道交通设备等缓冲减振结构部件。

## 42. 材料的定向再结晶研究

### 项目概述

通过定向再结晶法对材料进行定向再结晶处理，以获得具有较好性能的柱状晶材料。实验测得的 CuAlMn 合金材料的拉伸强度达到了 670MPa，镍基合金硬度经过定向再结晶后有 65HV。研究了不同材料、抽拉速率、抽拉温度、不同轧制工艺等因素对定向再结晶材料的微观组织结构与材料力学性能的影响。研究了材料微观结构—力学性能的相互关系，分析在整个定向再结晶过程中各因素对材料微观结构和性能的影响机制，从而获得具有优异性能的柱状晶材料。

为了提高材料的高温力学性能，需要材料具有较大的晶粒尺寸。同时，在拉伸应力方向具有晶界平行排列的定向显微结构的晶体具有优良的抗蠕变性能，高的疲劳抗力，同时这种显微结构有利于抑制裂纹扩展，有利于提高合金的强度及韧性。因此具有定向显微结构的合金的制备及性能表征得到了广泛的研究。早期的研究主要集中于利用定向凝固技术制备以镍基为代表的高温合金，并成功应用于航空发动机涡轮叶片；利用不同的轧制工艺和热处理手段制备具有 Goss 或立方织构取向的硅钢。然而，对于利用机械合金化等粉末冶金技术制备的合金如钨、钼等难熔金属和合金以及由包析或包晶转变生成的化合物如 TiAl 等金属间化合物和大尺寸汽轮机叶片用钢等都难以应用定向凝固技术获取定向的显微组织，在这种情况下，定向再结晶技术得到了广泛的发展。

### 项目成熟情况

基础研究阶段。

### 应用范围

航空发动机涡轮叶片等金属材料。

## 43. 乏燃料贮运用铝基碳化硼中子吸收复合材料

### 项目概述

通过粉末合金法合成 B4C/Al 中子吸收复合材料，以真空热压烧结的方法合成性能稳定，结构均匀的 B4C/Al 复合材料，实验测得的复合材料（30%B4C）的拉伸强度达到了 440MPa。研究了颗粒形态、B4C 含量、材料成形工艺方法、具有强中子吸收能力元素的添加等因素对 B4C/Al 复合材料的微观组织结构与材料力学性能的影响。研究了 B4C/Al 复合材料微观结构—力学性能—中子吸收能力的相互关系，分析在整个粉末冶金过程中各因素对材料微观结构和性能的影响机制，从而获得具有优异性能的 B4C/Al 中子吸收复合材料。

### 项目成熟情况

基础研究阶段。

### 应用范围

十三五提到要“安全高效发展核电”，乏燃料的安全妥善处理是发展核电的重要一环。《能源发展战略行动计划》（2014-2020 年）中提到要完善核燃料循环体系，包括天然铀的采矿和处理、燃料元件制造和使用、乏燃料后处理以及废物处理和处置等。其中乏燃料后处理技术较为落后，各国都在钻研如何提高乏燃料处置的效率。乏燃料又称辐照核燃料，是经受过辐射照射、使用过的核燃料，通常是由核电站的核反应堆产生。核燃料在堆内经中子轰击发生核反应，经一定时间从堆内卸出。它含有大量未用完的可增殖材料  $^{238}\text{U}$  或  $^{232}\text{Th}$ 。这种燃料的铀含量降低，无法继续维持核反应，所以叫乏燃料。乏燃料中包含大量的放射性元素，因此具有放射性，如果不加以妥善处理，会严重影响环境与接触它们的人的健康。

中子吸收材料是指具有优良中子吸收性能的材料，而中子吸收能力是指可以高效的吸收热中子与高能辐射，防止  $\gamma$  射线和 X 射线辐照。中子吸收材料具有良好的中子吸收能力的重要指标是中子吸收截面大，吸收热中子的效率高。除了这个特殊的功能，该材料还应具有良好的抗震性能以防止在运送途中因震动而泄漏乏燃料。同时，其力学性能也不能低于平均水平，这样具有优良综合性能的材料才能满足乏燃料运送设备的需求。硼是自然界资源丰富的元素，其热中子吸收截面很高，因此，核反应堆乏燃料贮运用中子吸收材料常添加硼作为中子吸收元素。

碳化硼是研究得知的最坚硬的三种材料之一，有密度低、强度大、高温稳定性以及化学稳定性好的特点。但是由于碳化硼具有较差的韧性，不能单独满足乏燃料运输设备的性能要求。铝具有可以弥补这一缺点的良好韧性，并且还有材质轻、成本低廉等特点。因此，将两者优点相结合的 B4C/Al 复合材料的研究备受关注。

## 44. 高熵合金涂层的高温摩擦学性能及机理

### 项目概述

航空、航天、能源等工业的高速发展对涂层材料在苛刻环境下的综合性能提出了更高的要求。高熵合金的提出丰富了涂层的设计理念，并在耐磨性、高温稳定性等方面展现出独特的优异性质，因此，这类涂层在提高燃机叶片苛刻工况下的表面防护性能方面具有广阔的应用前景。然而，缺乏对高熵涂层高温服役条件下结构的演化及控制机制方面的深入研究是制约其实际应用的重要瓶颈问题。本课题拟采用熔覆法制备典型/新型高熵合金涂层，重点探究工艺参数、应力状态等对涂层相变机制、界面结构演化、摩擦磨损性能及失效机制的影响；并通过分子动力学、有限元及热力学分析，研究复杂界面的结合能与界面结合强度的理论关系，构建相应热力模型，揭示高温摩擦过程中的涂层相变、应力分布及界面演化规律明确涂层的成分-结构-性能在温变效应下的优化调控机制。项目研究内容的开展，将为该类涂层在燃机叶片等高温摩擦应用领域中的成分优化设计和结构调控提供理论指导。

本项目具有良好的经济效益，高熵合金涂层的应用领域几乎覆盖所有金属材料，能够为金属材料领域带来革新式的发展与巨大得到经济效益。本项目研究有力地推动了高熵合金涂层的应用进程，具有显著的潜在经济效益。

### 项目成熟情况

项目技术成熟度 3 级。

### 应用范围

金属材料表面改性相关领域，寻求技术合作。

## 45. 舰船动力传动系统关键重载部件高可靠性表面复合强化技术

### 项目概述

鉴于现代运输业对齿轮、轴承等动力传动部件高承载、高可靠、长寿命，轻量化等使用性能的急切需求，本项目拟采用真空渗碳、离子注入等表面强化技术对船用传动系统中的关键零部件进行高质量表面复合强化处理，提高传动零件承载能力，延长其使用寿命，提高零件可靠性。项目从现有重载齿轮的失效机制着手，探究齿轮零件失效机制通过多技术复合强化及工艺优化，建立真空渗碳前后复合强化对可靠性提升的新工艺。揭示表面复合强化工艺对重载齿轮可靠性提升的机理。进一步探究模拟工况下复合强化后重载齿轮的服役可靠性以及失效机制。

本课题形成的理论成果，如真空渗碳与高压气淬、离子注入技术复合强化工艺方法、真空条件下元素扩散传质规律以及复合强化齿轮疲劳失效机制等，可直接用于机械传动系统中的重载零部件材料强化方面，为我国重载零部件在强化工艺和可靠性评估方面提供理论和数据支撑。探索出重载部件复合强化技术可应用到机动车辆以及航空航天传动装备上，可显著提高重载零件的表面硬度及摩擦磨损、接触疲劳等性能，延长其使用寿命。

### 项目成熟情况

技术成熟度 3 级，针对应用设想，通过对实体零件针对性的分析、实验室工艺优化，理论探究，验证该技术概念的关键功能、特性，具有转化为实际应用的可行性。主要成果为研究报告、工艺规范和零件等。

### 应用范围

重载传统系统金属零部件的表面强化，寻求技术合作。

## 46. 聚酰亚胺绝热吸声泡沫材料

### 项目概述

聚酰亚胺绝热吸声材料是以聚酰亚胺树脂为基体发泡而成的泡沫材料，由于分子链中刚性且稳定的芳杂环和酰亚胺结构，使其成为聚合物中热稳定性最好的

泡沫材料之一，长期可耐 250~300℃ 的高温，短时间可耐 400~500℃ 的高温，并且可耐极低温。区别于普通有机泡沫材料易燃、发烟、有毒的缺点，聚酰亚胺基体树脂具有不燃、无烟、无毒、耐高低温等优点。

聚酰亚胺泡沫材料在保持基体树脂基本性能的基础上，兼具泡沫多孔材料绝热防护、吸声降噪、阻尼减震等功能。是目前商业化高性能聚合物泡沫材料中综合性能最为优异的泡沫材料。

主链型聚酰亚胺 (PI) 泡沫是主链中含有酰亚胺结构的芳杂环聚合物，作为泡沫产品，由于其轻质、吸音、易使用和良好的介电性能，同时具有优秀的阻燃性能、低烟和几乎不释放有毒气体等特点，因此在航空航天、舰船、轨道交通、电子电器、建筑、化工等领域作为绝热吸声材料具有广泛的应用。

### 项目成熟情况

工业化实验阶段。

### 应用范围

航空航天、舰船、轨道交通、电子电器、建筑、化工等领域。由于其低密度特性，在航空器和舰船轻量化方面具有显著的效果，可提高航空器和舰船速度、降低燃油消耗、大幅度提高其续航能力。

## 47. 抗辐照高性能树脂基体及其辐射屏蔽材料

### 项目概述

聚合物基复合材料具有密度小、易加工等优点，但现有基体树脂的抗辐射性能不能满足需求。如聚烯烃在辐照过程中产生自由基，引起高分子链的断链，耐久性差；环氧树脂耐疲劳性和耐湿热性差，射线辐照后的力学性能下降较大；聚氨酯抗辐射性较好，但燃烧后产生氢氰酸等有害气体；聚酰亚胺在原子氧环境中易发生严重降解。

项目开发的自催化邻苯二甲腈树脂、苯并噁嗪树脂、高性能环氧树脂、氰酸酯树脂等具有优良的抗辐射性能，辐照前后基体树脂的力学性能、热性能未见明显变化，能满足航空航天、原子能工业、放射医学和国防工业等领域的要求。

### 项目成熟情况

基础研究。

## 应用范围

辐射屏蔽材料、先进树脂基复合材料、绝缘材料、耐烧蚀材料、电子封装材料、耐高温胶粘剂、耐高温涂料、层压材料等。

## 48. 耐高温苯并噁嗪树脂

### 项目概述

苯并噁嗪树脂具有固化时无小分子释放、制品孔隙率低、其体积近似零收缩、高的  $T_g$  和热稳定性以及良好的机械性能、电气性能、阻燃性能和高的残碳率，因而在先进复合材料基体树脂、耐烧蚀树脂、电子产品密封材料等方面应用较广。本项研究基于聚苯并噁嗪所具有的优异耐热性、耐湿热性、介电性能和力学性能，开发了一系列含苯并噁嗪结构的单体、主链型和远整型低聚体，可根据应用环境进行基体树脂结构与性能的设计与调控。

技术指标：

芴基苯并噁嗪树脂纯度： $\geq 98\%$ ；

聚苯并噁嗪树脂的玻璃化转变温度： $\geq 300^\circ\text{C}$ ；

初始热分解温度： $\geq 380^\circ\text{C}$ ；

800 $^\circ\text{C}$ 时残碳率： $\geq 50\%$ 。

### 项目成熟情况

基础研究阶段。

## 应用范围

树脂基复合材料、耐烧蚀树脂、特种胶黏剂、电子封装材料、绝缘材料等。

## 49. 石墨烯的制备及其应用研究

### 项目概述

电弧法制备石墨烯：电弧法制备石墨烯是基于电弧放电原理实现石墨烯的制备，即在负压下利用大电流等离子体电弧放电使石墨电极气化之后再冷凝沉积，从而生成石墨烯粉体材料。

该技术实现了从高纯石墨到石墨烯粉体的一步法绿色制备，工艺简单、无污染；产品缺陷少、碳含量高、层数稳定、导电性优异。

固态电容器用石墨烯气凝胶电极：利用水热合成一步法制备出石墨烯复合普鲁士蓝气凝胶电极，通过引入普鲁士蓝提高了石墨烯气凝胶的比电容以及在水系电解液中的电压范围，从而提高了固态电容器的能量密度。

石墨烯复合气凝胶电极在 1A/g 的电流密度下，比电容达 220F/g，5 A/g 电流密度充放电循环 10000 圈，容量保持率达到 83%。组装的全固态电容器电压达到了 2.0V，能量密度达到 58Wh kg<sup>-1</sup>，10000 圈循环后容量保持在 93%。

锂离子电池石墨烯导电浆料：石墨烯作为锂离子电池导电剂，可显著的提高锂离子电池的倍率和循环性能。以电弧法制备的高导电石墨烯为原料，利用“超声+乳化”循环分散工艺，制备出了锂离子电池用油系和水系石墨烯导电浆料，完成了工艺和装备的研发。

#### 项目成熟情况

基础研究阶段。

#### 应用范围

储能领域，绿色能源领域。

## 50. 水系储能电池的研究

#### 项目概述

电池是重要的储能装置之一，太阳能和风能具有间歇性和波动性的特点，需要储能和调频方可并入电网，或供给用户，已保证电网的安全和用户的可持续使用。同时，智能电网的运行依赖于储能装置。

水系碱金属离子电池与锂离子电池相比，水系可充金属离子电池 (ARMBs) 很有希望应用于大规模储能电池。系碱金属离子电池的正负极基于 Mg<sup>2+</sup>等在电极材料中的可逆嵌脱；水性电解液安全，廉价。

水系储能电池具有成本低、安全性高，功率密度高，循环寿命长，较高能量密度等特点。

依托项目获得国家自然科学基金支持，在 Journal of Power Sources 等国际期刊上发表高水平 SCI 收录论文 10 余篇，授权国家发明专利 4 项。

#### 项目成熟情况

基础研究阶段。

## 应用范围

风光电储能领域、智能电网储能、家用储能。

## 51. 先进材料成形与制造

### 项目概述

在国内率先开展了金属超声波固结成形制造技术研究，研发了国内第一台超声波快速固结与增材制造装备，功率达 9kW，处于国内领先，达到国际水平，使我国成为了继美国之后国际上第二个掌握超声波成形技术和装备的国家。在国际上首次提出了有效改善金属沉积层微结构和提高力学性能的超声滚压复合微锻造原理和技术，并应用于大型金属构件的控形控性增材制造。在金属超声波快速固结成形制造技术与装备、超声能场辅助高能束增材制造技术与装备等方面居于国内领先水平。相关的发明专利 6 项。

通过协同创新，打破了国外的技术封锁，在国内率先突破了金属空心球制备技术，制备出了高性能不锈钢空心球，为制备出轻量化的空心球复合材料奠定了基础。目前，正在研发难度更高的钛合金、NiTi 合金的空心球制备技术。相关的发明专利 3 项。

### 项目成熟情况

试生产阶段。

### 应用范围

超声固结成形制造技术主要制备金属层状复合材料板材、叠层智能复合材料与结构、连续纤维均布带材、层状复合电极材料等，用于地面武器装备、舰船、航空航天等领域的减隔振、装甲防护等方面。

而金属空心球及其复合材料则在船舶减振降噪、隔热、隔声、核辐射屏蔽等方面具有广阔的应用前景。如：动力机械基座、机舱室减隔振材料、核反应堆屏蔽材料。这一工作已引起国内航空航天、舰船等领域相关部门的极大重视。

## 52. 深水导管架安装夹桩器用钢

### 项目概述

哈尔滨工程大学生物医学材料与工程研究中心在深水导管架安装夹桩器用

钢的研制方面做了许多工作。目前国内的钢种难以满足深水导管架安装夹桩器的要求，德国生产的 X45NiCrMo<sub>4</sub> 钢可以满足夹桩器的使用要求，但此钢种处于技术保密，国内没有相应的牌号，所以研究具有自主知识产权的夹桩器用钢具有重大的实际意义。

本研究综合设计夹桩器用钢的化学成分范围，并熔炼制备合金钢，研究了其铸态组织及性能、退火软化工艺、淬火工艺和回火工艺等对其组织和性能的影响规律与机理，并最终确定了适于夹桩器用钢的化学成分及热处理工艺规范，所得性能指标为： $\sigma_b \geq 1400\text{MPa}$ ， $\delta$  达到 6.5%，HRC  $\geq 62$ ，符合深水导管架安装用夹桩器的性能要求。

### 项目成熟情况

技术成熟，可根据用户需求定制。

### 应用范围

适于各类夹桩器及各种要求高强高硬的合金钢件。