

课题编号：2022YFB4601802

密 级：公开

## 国家重点研发计划 课题任务书

课题名称：水下复杂结构原位三维测量与空间重构技术研究

所属项目：海洋装备水下原位高效增材修复技术与装备

所属专项：增材制造与激光制造

项目牵头承担单位：哈尔滨工业大学

课题承担单位：西安交通大学

课题负责人：刘宏

执行期限：2022 年 12 月 至 2026 年 11 月

中华人民共和国科学技术部制

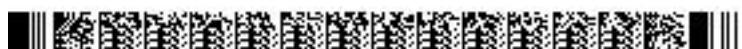
2022 年 11 月 28 日

0003YF 2022YFB4601802 2022-11-28 11:31:16



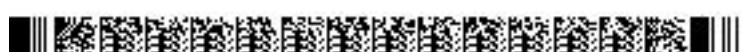
## 填 写 说 明

- 一、任务书甲方即项目牵头承担单位，乙方即课题承担单位。
- 二、任务书通过“国家科技计划管理信息系统公共服务平台”，按照系统提示在线填写。
- 三、任务书中的单位名称，请按规范全称填写，并与单位公章一致。
- 四、任务书要求提供乙方与所有参加单位的合作协议，需对原件进行扫描后在线提交。
- 五、任务书中文字须用宋体小四号字填写。
- 六、凡不填写内容的栏目，请用“无”表示。
- 七、乙方完成任务书的在线填写，提交甲方审核确认后，用 A4 纸在线打印、装订、签章。一式八份报项目牵头承担单位签章，其中课题承担单位一份，课题负责人一份，作为项目任务书附件六份。
- 八、如项目下仅设一个课题，课题任务书只需填报课题预算部分。
- 九、涉密课题请在“国家科技计划管理信息系统公共服务平台”下载任务书的电子版模板，按保密要求离线填写、报送。
- 十、《项目申报书》和《项目任务书》是本任务书填报的重要依据，任务书填报不得降低考核指标，不得自行对主要研究内容作大的调整。《项目申报书》、《项目任务书》和本任务书将共同作为课题过程管理、综合绩效评价（验收）和监督评估的重要依据。

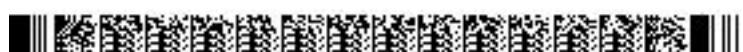


## 课题基本信息表

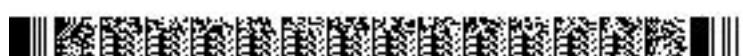
课题名称	水下复杂结构原位三维测量与空间重构技术研究			
课题编号	2022YFB4601802			
所属项目	海洋装备水下原位高效增材修复技术与装备			
所属专项	增材制造与激光制造			
密级	<input checked="" type="checkbox"/> 公开 <input type="checkbox"/> 秘密 <input type="checkbox"/> 机密	单位总数	2	
课题类型	<input type="checkbox"/> 基础前沿 <input checked="" type="checkbox"/> 重大共性关键技术 <input type="checkbox"/> 应用示范研究 <input type="checkbox"/> 其他			
课题活动类型	<input type="checkbox"/> 基础前沿 <input checked="" type="checkbox"/> 应用研究 <input type="checkbox"/> 试验发展			
课题研究 所属学科	机械工程 机械制造自动化			
课题成果应 用的主要国 民经济行业	制造业 金属制品、机械和设备修理业 专用设备修理			
课题的社 会 经 济 目 标	其他民用目标			
经费预算	总需求 156.00 万元，其中中央财政专项资金需求 156.00 万元			
课题周期节点	起始时间	2022 年 12 月	结束时间	2026 年 11 月
	实施周期	共 48 个月	预计中期时间点	2024 年 11 月
课题 承担 单位	单位名称	西安交通大学	单位法定 代表人姓名	王树国
	单位性质	大专院校	组织机构代码	12100000435230200R
	单位主管部门	教育部	隶属关系	中央
	单位所属地区	陕西省	地市（市、自 治州、盟）	西安市 碑林区
	通信地址	西安市咸宁西路 28 号	邮政编码	710049
	单位开户名称	西安交通大学		
	开户银行 (全称)	中国工商银行西安互助路支 行	汇入地点	陕西省 西安 市



	银行账号	3700023509088100314			银行机构代码	102791000162
课题负责人	姓名	刘宏	性 别	<input checked="" type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女	出生日期	1982-01-02
	证件类型	身份证	证件号码	61042219820102005X		
	所在单位	西安交通大学				
	最高学位	<input checked="" type="checkbox"/> 博士 <input type="checkbox"/> 硕士 <input type="checkbox"/> 学士 <input type="checkbox"/> 其他				
	职 称	<input checked="" type="checkbox"/> 正高级 <input type="checkbox"/> 副高级 <input type="checkbox"/> 中级 <input type="checkbox"/> 初级 <input type="checkbox"/> 其他			职 务	无
	电子邮箱	hongliu@mail.xjtu.edu.cn			移动电话	18991899192
课题联系人	姓 名	龚春园	电子邮箱	gongcy@xjtu.edu.cn		
	固定电话	029-82669103	移动电话	13474003431		
	证件类型	身份证	证件号码	610111198904173524		
课题财务负责人	姓 名	龚杰昌	电子邮箱	cwkyglzx@xjtu.edu.cn		
	固定电话	029-82664832	移动电话	18629595226		
	证件类型	身份证	证件号码	632801197601311017		
其他参与单位	序号	单位名称		单位性质	组织机构代码	
	1	哈尔滨工业大学		大专院校	12100000400000456B	
课题参加人数	17人。其中：	高级职称 5 人，中级职称 2 人，初级职称 0 人，其他 10 人； 博士学位 6 人，硕士学位 2 人，学士学位 9 人，其他 0 人。				
课题简介 (限 500 字以内)	面向海洋工程对水下原位高效增材修复技术与装备的迫切需求，针对水下作业存在的实时、高效、高精度环境感知难的问题，开展基于多传感器信息融合的水下结构损伤区域快速三维感知、重构与高精度测量方法研究，突破水下复杂环境成像光路校正与极端复杂水下环境的检测技术，开发水下环境感知与测量系统，有效提高水下作业环境感知的实时性与准确性。 基于多传感器信息融合的水下结构损伤区域快速三维感知、重构与高精度测量方法，开发水下环境感知与测量系统，开发一套海洋装备损伤区测量的专用软件与设备。该设备可实现远中近视场下的作业平台水下移动引导，远距离测量精度≤10 cm，中距离测量精度≤3 cm，近距离测量精度≤1 cm。在进行水下原位测量时支持两相机同时标定，重投影误差≤0.2 pixel，水下测量的空间重构尺寸为1平米，单幅点云扫描时间小于3秒，点云自动对齐精度小于0.2 mm，100万点云的三角化网格速度小于10 s，对水下曲面构件进行点云建模精度达到0.2 mm，对					



水下曲面构件损伤区进行重建精度达到 0.2 mm。

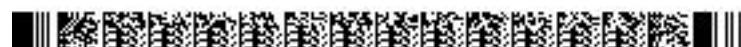


## 一、目标及考核指标、考核方式/方法

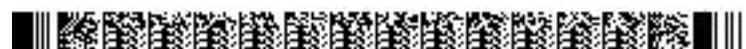
请填写下表。

课题目标、预期成果与考核指标表

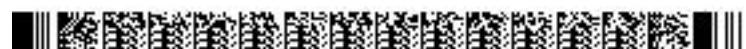
课题目标 <sup>1</sup>	预期成果			考核指标 <sup>2</sup>			考核方式（方法）及评价手段 <sup>4</sup>	
	预期成果名称	预期成果类型	指标名称	立项时已有指标值/状态	中期指标值/状态 <sup>3</sup>	完成时指标值/状态		
开发水下快速高精度测量软件与设备，通过开发复杂水下环境成像光路校正、退化图像恢复、空间重构及增材修复装置的位姿感知等技	主要成果 1	复杂水下环境空间重构和损伤区域快速三维测量技术与装备	<input type="checkbox"/> 新理论 <input type="checkbox"/> 新原理 <input type="checkbox"/> 新产品 <input checked="" type="checkbox"/> 新技术 <input type="checkbox"/> 新方法 <input type="checkbox"/> 关键部件 <input type="checkbox"/> 数据库 <input checked="" type="checkbox"/> 软件 <input checked="" type="checkbox"/> 应用解决方案 <input checked="" type="checkbox"/> 实验装置/系统 <input type="checkbox"/> 临床指南/规范 <input type="checkbox"/> 工程工艺 <input type="checkbox"/> 标准 <input type="checkbox"/> 论文 <input type="checkbox"/> 发明专利 <input type="checkbox"/> 其他_____	指标 1.1 相机重投影误差	2 pixel	相机光路校正，重投影误差 0.8 pixel	两相机同时标定，双相机重投影误差 0.2 pixel	出具第三方检测报告。在提出适宜测量的水下环境边界条件下，通过采集标定板上标志点的图像，进行编码标志点识别，通过光路校正对标志点坐标进行修正，再进行重投影误差计算，得出平均重投影误差，考察是否满足指标要求



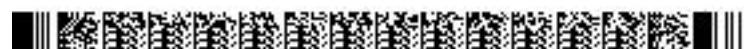
术，挖掘跨尺度多维信息融合的水下损伤区域快速三维感知、重构与高精度测量机制，实现水下作业目标曲面构件缺损区域快速识别、测量与建模。				指标 1.2 水下空间重构	通过投射正弦条纹进行空间扫描，实现空间三维重构	0.3 m×0.3 m 空间重构	1 m×1 m 空间重构	出具第三方检测报告。在提出适宜测量的水下环境边界条件下，通过投射图案，点云拼接的方式进行空间扫描，对模拟空间场景进行三维重构，判断得到的点云空间尺寸是否满足指标要求
				指标 1.3 单幅点云扫描时间	通过投射正弦条纹实现单幅点云的扫描，扫描时间小于 15 秒	小于 6 秒	小于 3 秒	出具第三方检测报告。在提出适宜测量的水下环境边界条件下，通过投射正弦条纹实现单幅点云的扫描，获取曲面构件表面点云，判断单幅点云的扫描时间（不含点云建模）是否满足指标要求
				指标 1.4 点云自动对齐精度	通过编码标志点可实现点云自动对齐	0.5 mm	0.2 mm	出具第三方检测报告。在提出适宜测量的水下环境边界条件下，通过扫描得到两幅不同角度的曲面构件表面点云，通过判定重合点云，进行点云自动对齐，根据两幅点云中同名标志点的距离，判断是否满足指标要求



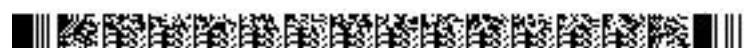
				指标 1.5 三角化网格速度	10 万点云, 三角化小于 10 s	50 万点云, 三角化小于 10 s	100 万点云, 三角化小于 10 s	出具第三方检测报告。在提出适宜测量的水下环境边界条件下, 对扫描获得点云进行三角化处理, 判断对应点云的三角化速度是否满足指标要求
				指标 1.6 水下曲面构件点云建模精度	通过点云扫描技术初步实现点云建模	0.5 mm	0.2 mm	出具第三方检测报告。在提出适宜测量的水下环境边界条件下, 对标准球模型进行三维重建, 通过拟合标准球中心位置, 判定点云重建的精度是否满足精度要求
				指标 1.7 损伤区建模精度	实现扫描得到的点云模型与标准模型的初步比对	0.5 mm	0.2 mm	出具第三方检测报告。在提出适宜测量的水下环境边界条件下, 在损伤模型表面布置编码标志点, 使得损伤区和非损伤区均含有编码标志点, 采用扫描的方法得到含损伤模型, 再采用三坐标测量仪测量编码标志点的位置, 通过计算两种方法得到的标志点相对距离, 判定损伤区建模的精度



				指标 2.1 远/中/近视 场下的作 业平台水 下移动引 导	远距离测量 精度≤30 cm, 中距离 测量精度 ≤20 cm, 近 距离测量精 度≤5cm	远距离测量 精度≤20 cm, 中距离 测量精度≤6 cm, 近距离 测量精度 ≤2cm	远距离测量 精度≤10 cm, 中距离 测量精度≤3 cm, 近距离 测量精度≤1 cm	出具第三方检测报 告。通过模拟不同水 下环境，对目标物进 行定位
	2	水下损伤区域 距离位置估计 与引导及作业 装置姿态感知 技术	<input type="checkbox"/> 新理论 <input type="checkbox"/> 新原理 <input type="checkbox"/> 新 产品 <input checked="" type="checkbox"/> 新技术 <input type="checkbox"/> 新方 法 <input type="checkbox"/> 关键部件 <input type="checkbox"/> 数据 库 <input type="checkbox"/> 软件 <input type="checkbox"/> 应用解决方案 <input checked="" type="checkbox"/> 实验装置/系统 <input type="checkbox"/> 临 床指南/规范 <input type="checkbox"/> 工程工艺 <input type="checkbox"/> 标准 <input type="checkbox"/> 论文 <input type="checkbox"/> 发明 专利 <input type="checkbox"/> 其他 _____	指标 2.2 机械臂空 间定位功 能	机械臂相对 自身原点的 定位精度≤5 mm	得到机械臂 与运载机构 的相对位姿 关系，定位 精度≤1 mm	得到机械臂 与运载机构 的相对位姿 关系，定位 精度≤0.5 mm	出具第三方检测报 告。在提出适宜测量 的水下环境边界条件 下，通过定位编码标 志点与参考位置进行 对比，判定是否满足 精度要求
				指标 2.3 机械臂位 姿感知功 能	定位精度≤5 mm	通过点云配 准与拼接技 术实现姿态 感知，定位 精度≤1 mm	通过点云配 准与拼接技 术实现姿态 感知，定位 精度≤0.5 mm	出具第三方检测报 告。在提出适宜测量 的水下环境边界条件 下，通过点云配准与 拼接实现机械臂位姿 感知，判定感知得到 的机械臂移动距离是 否满足精度要求

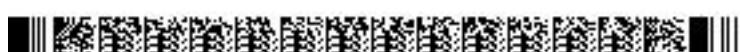


其他成果	3	发表论文	<input type="checkbox"/> 新理论 <input type="checkbox"/> 新原理 <input type="checkbox"/> 新产品 <input type="checkbox"/> 新技术 <input type="checkbox"/> 新方法 <input type="checkbox"/> 关键部件 <input type="checkbox"/> 数据库 <input type="checkbox"/> 软件 <input type="checkbox"/> 应用解决方案 <input type="checkbox"/> 实验装置/系统 <input type="checkbox"/> 临床指南/规范 <input type="checkbox"/> 工程工艺 <input type="checkbox"/> 标准 <input checked="" type="checkbox"/> 论文 <input type="checkbox"/> 发明专利 <input type="checkbox"/> 其他	指标 3.1 SCI 期刊论文	无	高水平论文 1 篇	高水平论文 2 篇	论文符合科技部高质量论文规定（国科发监〔2020〕37号）要求，提供录用证明或检索证明
	4	发明专利	<input type="checkbox"/> 新理论 <input type="checkbox"/> 新原理 <input type="checkbox"/> 新产品 <input type="checkbox"/> 新技术 <input type="checkbox"/> 新方法 <input type="checkbox"/> 关键部件 <input type="checkbox"/> 数据库 <input type="checkbox"/> 软件 <input type="checkbox"/> 应用解决方案 <input type="checkbox"/> 实验装置/系统 <input type="checkbox"/> 临床指南/规范 <input type="checkbox"/> 工程工艺 <input type="checkbox"/> 标准 <input type="checkbox"/> 论文 <input checked="" type="checkbox"/> 发明专利 <input type="checkbox"/> 其他	指标 4.1 发明专利	无	1 项	3 项	授权/受理通知书
	5	软件著作权	<input type="checkbox"/> 新理论 <input type="checkbox"/> 新原理 <input type="checkbox"/> 新产品 <input type="checkbox"/> 新技术 <input type="checkbox"/> 新方法 <input type="checkbox"/> 关键部件 <input type="checkbox"/> 数据库 <input checked="" type="checkbox"/> 软件 <input type="checkbox"/> 应用解决方案 <input type="checkbox"/> 实验装置/系统 <input type="checkbox"/> 临床指南/规范 <input type="checkbox"/> 工程工艺 <input type="checkbox"/> 标准 <input type="checkbox"/> 论文 <input type="checkbox"/> 发明专利 <input type="checkbox"/> 其他	指标 5.1 软件著作权	无	2 项	4 项	授权/受理通知书
科技报告考核指标	序号		报告类型 <sup>5</sup>	数量	提交时间			公开类别及时限 <sup>6</sup>
	6		课题年度执行情况报告	4	每年 11 月提交			延期公开 1 年
	7		课题中期执行情况报告	1	2024 年 11 月			延期公开 1 年
	8		课题综合绩效自评价报告	1	2026 年 11 月			延期公开 1 年
	9		水下复杂结构原位三维测量与空间重构技术研究专题科技报告	1	2026 年 11 月			延期公开 1 年
其他目标与考核指标: 无								



备注：

1. “**课题目标**”，应从以下方面明确描述：（1）研发主要针对什么问题和需求；（2）将要解决哪些科学问题、突破哪些核心/共性/关键技术；（3）预期成果；（4）成果将以何种方式应用在哪些领域/行业/重大工程等，并拟在科技、经济、社会、环境或国防安全等方面发挥何种的作用和影响。（5）所列主要成果原则上不超过 5 项，如有其他重要成果放在“其他”成果中表述。
2. “**考核指标**”，指相应成果的数量指标、技术指标、质量指标、应用指标和产业化指标等，其中，数量指标可以为专利、产品等的数量，论文代表作应注重质量，不以数量作为评价标准；技术指标可以为关键技术、产品的性能参数等；质量指标可以为产品的耐震动、高低温、无故障运行时间等；应用指标可以为成果应用的对象、范围和效果等；产业化指标可以为成果产业化的数量、经济效益等。同时，对各项考核指标需填写立项时已有的指标值/状态以及课题完成时要到达的指标值/状态。同时，考核指标也应包括支撑和服务其他重大科研、经济、社会发展、生态环境、科学普及需求等方面的直接和间接效益。如对国家重大工程、社会民生发展等提供了关键技术支撑，成果转让并带动了环境改善、实现了销售收入等。若某项成果属于开创性的成果，立项时已有指标值/状态可填写“无”，若某项成果在立项时已有指标值/状态难以界定，则可填写“/”。
3. “**中期指标**”，各专项根据管理特点，确定是否填写，鼓励阶段目标明确的项目课题填写中期指标。
4. “**考核方式方法**”，应提出符合相关研究成果与指标的具体考核技术方法、测算方法等。
5. “**科技报告类型**”，包括项目综合绩效评价（验收）前撰写的全面描述研究过程和技术内容的最终科技报告、项目年度或中期检查时撰写的描述本年度研究过程和进展的年度技术进展报告以及在项目实施过程中撰写的包含科研活动细节及基础数据的专题科技报告（如实验报告、试验报告、调研报告、技术考察报告、设计报告、测试报告等）。其中，每个项目在综合绩效评价（验收）前应撰写一份最终科技报告；研究期限超过 2 年（含 2 年）的项目，应根据管理要求，每年撰写一份年度技术进展报告；每个项目可根据研究内容、期限和经费强度，撰写数量不等的专题科技报告。科技报告应按国家标准规定的格式撰写。
6. “**公开类别及时限**”，公开项目科技报告分为公开或延期公开，内容需要发表论文、申请专利、出版专著或涉及技术诀窍的，可标注为“延期公开”。需要发表论文的，延期公开时限原则上在 2 年（含 2 年）以内；需要申请专利、出版专著的，延期公开时限原则上在 3 年（含 3 年）以内；涉及技术诀窍的，延期公开时限原则上在 5 年（含 5 年）以内。涉密项目科技报告按照有关规定管理。



## 二、课题研究内容、研究方法及技术路线

### （一）课题的主要研究内容

拟解决的关键科学问题、关键技术问题，针对这些问题拟开展的主要研究内容，限1000字以内。

#### 关键科学问题：

水下复杂环境的图像退化诱因辨识与退化程度估计方法。

#### 关键技术问题：

- (1) 基于退化诱因辨识的水下复杂环境退化图像恢复技术；
- (2) 复杂水下环境中损伤区域原位高精度三维测量与空间重构技术。

#### 课题主要研究内容：

- (1) 基于水下光路校正与退化诱因辨识的图像恢复技术

开展基于相机柔性自标定的水下复杂环境成像光路校正技术、基于多任务搜索的图像退化诱因辨识与退化程度估计方法、基于退化诱因先验的图像恢复方法、基于生成对抗网络的真实环境与仿真环境间域适应方法等研究。

- (2) 水下损伤区域远/中/近距离位姿估计与引导技术

开展基于退化诱因和置信度评价的多模态模组选择方法、基于松耦合方式的单一传感器位置估计技术、基于紧耦合优化的多模态传感器融合位置估计技术、水下损伤区域远/中/近距离引导技术的研究。

- (3) 融合跨尺度多传感器信息的水下空间重构与姿态感知技术

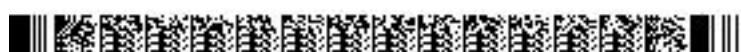
开展跨尺度多传感器融合的水下测量装置研究，建立激光一双目立体空间重构模型，进行大尺度大角度水下空间重构。研究修复装置近场小尺度空间局部点云，通过配准实现修复区域的姿态感知。

- (4) 融合空间重构的损伤区原位检测及水下专用三维测量设备研制

搭建大尺度激光线扫描与小尺度正弦条纹投射技术融合的水下双目立体视觉的损伤区高精度测量设备，开发一套专用水下测量软件，实现损伤区域快速三维测量。

### （二）课题采取的研究方法

针对课题研究拟解决的问题，拟采用的方法、原理、机理、算法、模型等限1000字以内。



### (1) 基于水下光路校正与退化诱因辨识的图像恢复技术

针对水下复杂环境（如水下光路偏折、水下图像雾化、成像光路复杂等）造成图像退化而引起的感知能力受限（包括自身定位失败、目标跟踪不稳定、稠密建图畸变等问题），探讨水下泥沙、水下流速与图像退化的关系，提出适宜测量的水下环境，开展基于相机柔性自标定的水下复杂环境成像光路校正技术、基于多任务搜索的图像退化诱因辨识与退化程度估计方法、基于退化诱因先验的图像恢复方法、基于生成对抗网络的真实环境与仿真环境间域适应方法等研究，并进行面向水下复杂环境的图像退化恢复实验，以验证在水下复杂环境下的退化图像恢复能力。

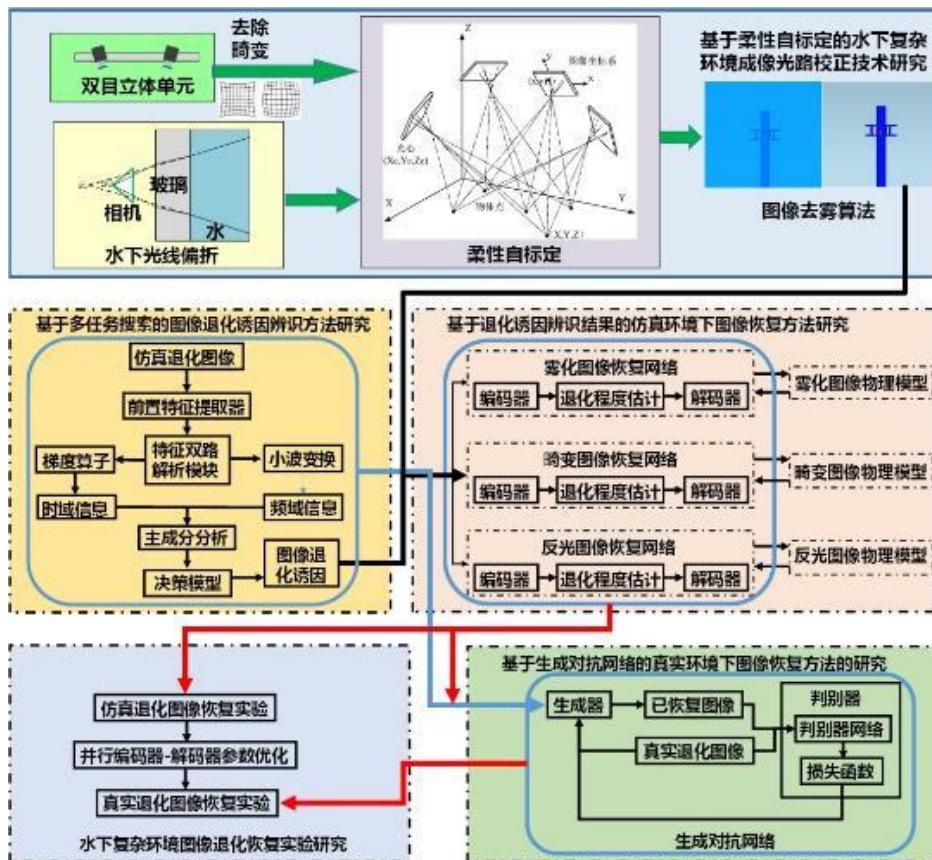
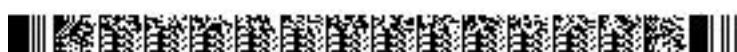


图 1 水下光路校正与退化诱因辨识技术

### (2) 水下损伤区域远/中/近距离位置估计与引导技术

结合水下原位增材作业平台由较远距离向损伤区域逐渐移动的过程，针对不同非接触式传感器对不同水下环境的适应性存在差异的问题，开展基于退化诱因和置信度评价的多模态模组选择方法、基于松耦合方式的（声呐/激光雷达/双目视觉等）单一传感器位置估计技术、基于紧耦合优化的多模态传感器融合位置估计技术，并在上述技术的基础上，进行水下损伤区域远/中/近距离引导技术研究。

### (3) 融合跨尺度多传感器信息的水下空间重构与姿态感知技术



针对水下增材修复装置的空间结构定位问题以及机械臂相对于缺陷区域的姿态感知问题，开展跨尺度多传感器融合的水下测量装置研究。针对轻度浑浊水体下的激光散射衰减问题进行图像处理，建立激光—双目立体空间重构模型，并考虑测量角度受限的问题，结合机械臂进行大尺度大角度水下空间重构。

针对水下空间损伤区与增材修复装置存在相对运动难以高精度定位问题，研究修复装置作业头附近的近场点云测量技术得到小尺度空间局部点云，通过配准实现作业头相对于待修复区域的姿态感知。

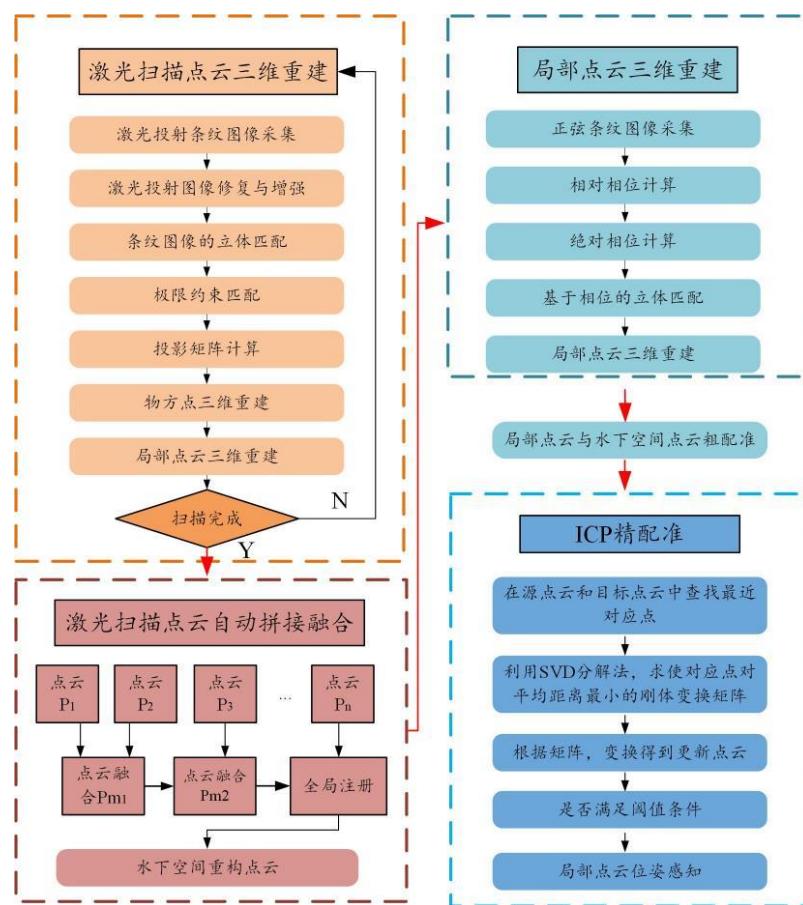
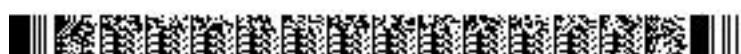


图 2 水下空间重构与姿态感知技术

#### (4) 融合空间重构的损伤区原位检测及水下专用三维测量设备研制

在水下原位进行损伤区检测时，损伤区原位立面仰面的测量中增材作业头运动导致定位困难，研究水下原位测量中模型定位特征的测量方法，并研究水下坐标自动转化方法、模型布尔求差方法，实现曲面构件损伤区建模，对修复前、后进行动态检测，以实现损伤区修复效果的评价。

在上述研究基础上，研究水下设备密封与集成方法，搭建大尺度激光线扫描与小尺度正弦条纹投射技术融合的水下双目立体视觉的损伤区高精度测量设备，开发一套专用



水下测量软件，实现损伤区域快速三维测量。

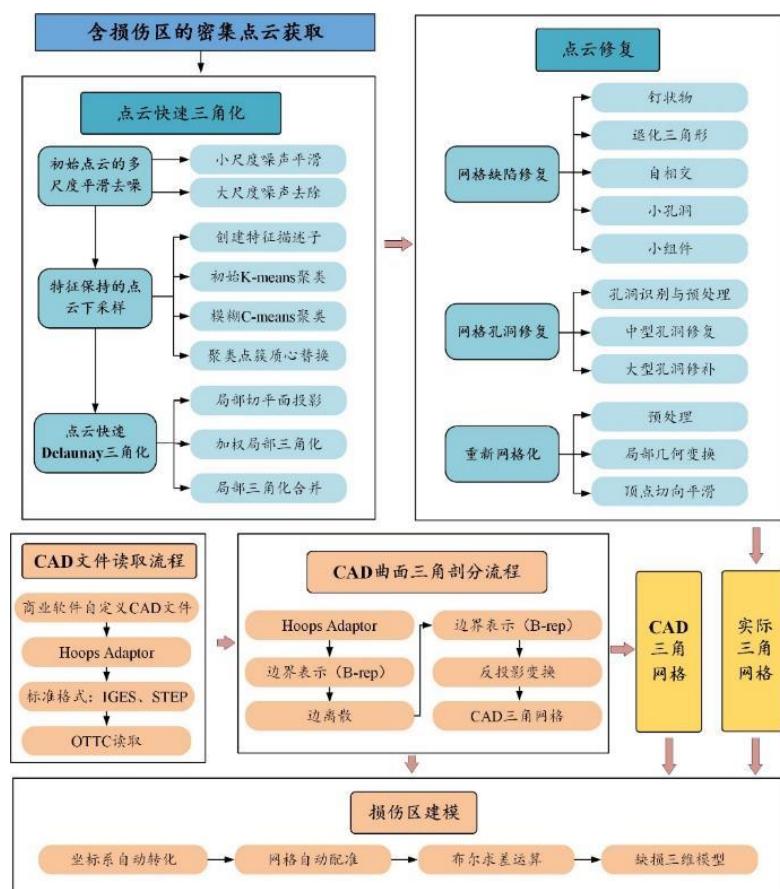
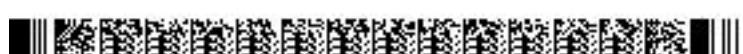


图 3 损伤区域的三维测量技术

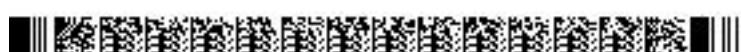


### **三、主要创新点**

围绕基础前沿、共性关键技术或应用示范等层面，简述课题的主要创新点。具体内容应包括该项创新的基本形态及其前沿性、时效性等，并说明是否具备方法、理论和知识产权特征。每项创新点的描述限 500 字以内。

#### **创新点：水下复杂环境损伤区域原位高精度三维测量技术**

提出利用多任务搜索方法对图像退化诱因进行辨识，建立完整的以生成对抗网络为架构的面向水下复杂环境的退化图像恢复方法；采用非接触式三维数字图像处理和工业摄影测量方法，解决水下复杂工况下曲面构件原位测量的检测难题，通过多传感器融合的非接触式测量，将激光线扫面与投影图案扫描技术相结合，从而实现同时测量出立面和仰面的全场形貌；该方法能满足水下原位的测量需求，使用方便快捷，具有很高的灵活性。



## **四、预期经济社会效益**

课题的科学、技术、产业预期指标及科学价值、社会、经济、生态效益。限 500 字以内。

### **1. 预期指标**

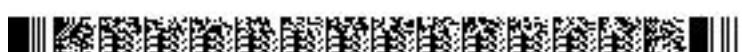
海洋工程水下受损区域位置估计与引导、水下复杂结构的三维测量与空间重构长期以来一直是工业界和学术界关注的焦点。本课题开展基于水下光路校正与退化诱因辨识的图像恢复技术研究、研究水下损伤区域远/中/近距离位置估计与引导等技术、开发水下快速高精度测量软件与设备，实现水下作业目标损伤区域快速识别、测量与建模。

### **2. 科学价值**

本课题面向海洋工程重大核心装备水下运维需求，挖掘跨尺度多维信息融合的水下损伤区域快速三维感知、重构与高精度测量机制，突破水下复杂结构原位三维测量与空间重构技术，为我国水下原位增材修复专用材料的发展与应用提供有力的理论与技术支撑。

### **3. 社会、经济、生态效益**

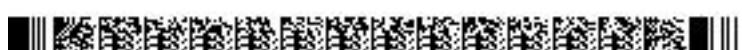
本课题开发的水下快速高精度测量软件与设备，实现了水动力学多变强扰工况下受损部位的位置估计与引导、高精度三维测量及三维重构，具有较高的社会效益，打破发达国家的技术封锁和专利壁垒，为中国制造业的创新发展奠定理论基础并提供核心技术支撑。本课题力图解决一批与海洋装备水下原位修复相关的企业真实需求，实现海洋关键零部件的精密、高效、优质修复，延长其服役时间、节约修复周期、降低生产成本，避免人力、物力、财力资源的浪费。



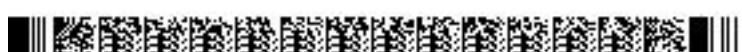
## 五、课题年度计划

按每6个月制定形成课题的计划进度，应将课题的考核指标分解落实到年度计划中。

年度	任务	考核指标	成果形式
2022年12月-2023年5月	1、进行项目的调研，对水下相机标定方法进行研究，建立水下图像偏折修正模型与误差修正、水下图像偏色或浑浊等图像增强算法，实现海洋装备水下复杂工况测量时图像畸变校正； 2、研究远距离水下测量方法，实现水下远距离测量与定位。	1、实现水下光路校正，单相机标定重投影误差小于0.8 pixel； 2、远距离测量精度小于20 cm； 3、申报发明专利1项。	申报发明专利1项。
2023年6月-2023年11月	1、研究中距离水下测量方法，实现水下中距离测量与定位； 2、开展水下高抗干扰性水下激光扫描测量技术； 3、研究水下三维空间重构技术； 4、全局点云与局部点云的粗配准与精配准技术。	1、中距离测量精度小于6 cm； 2、实现0.3 m×0.3 m空间重构； 3、单幅点云扫描时间小于6秒； 4、点云自动对齐精度达到0.5mm。	水下空间重构测量技术方案；课题年度进展报告。
2023年12月-2024年5月	1、研究近距离水下测量方法，实现水下近距离测量与定位； 2、计算机械臂与运载机构的相对位置、研究点云三角化网格技术。	1、近距离测量精度小于2 cm； 2、得到机械臂与运载机构的相对位姿关系，定位精度≤1mm； 3、50万点云，三角化小于10 s； 4、发表高水平论文1篇。	水下空间位姿感知技术方案；高水平论文1篇。
2024年6月-2024年11月	1、研究水下曲面构件点云建模，水下装备模型与CAD标准模型的空间点云布尔求差损伤区建模方法。 2、初步搭建海洋装备损伤区测量设备。	1、点云建模精度0.5 mm； 2、损伤区建模精度0.5mm； 3、申请软件著作权2项。	第三方检测报告及海洋装备损伤区测量初步设备；申请软件著作权2项；课题年度进展报告；课题中期检查报告。



2024 年 12 月-2025 年 5 月	1、进一步研究水下相机组标定方法，优化水下图像校正算法和图像偏折修正模型。 2、进一步优化水下远距离引导方法。	1、实现水下双相机标定，重投影误差小于 0.2 pixel; 2、远距离测量精度小于 10 cm。 3、发表高水平论文 1 篇。	高水平论文 1 篇。
2025 年 6 月 -2025 年 11 月	1、进一步研究研究中距离水下测量方法，实现水下中距离测量与定位； 2、完善水下高抗干扰性水下激光扫描测量技术； 3、优化全局点云与局部点云的粗配准与精配准技术。	1、中距离测量精度小于 3 cm; 2、实现 1m×1 m 空间重构； 3、单幅点云扫描时间小于 3 s; 4、点云自动对齐精度达到 0.2 mm。 5、申请软件著作权 2 项。	申请软件著作权 2 项；课题年度进展报告。
2025 年 12 月-2026 年 5 月	1、进一步研究近距离水下测量方法，实现水下近距离测量与定位； 2、研究全局坐标定位机械臂动态姿态感知技术、优化点云三角化网格技术。	1、近距离测量精度小于 1 cm; 2、得到机械臂与运载机构的相对位姿关系，定位精度≤0.5 mm; 3、通过点云配准与拼接技术实现姿态感知，定位精度≤0.5 mm; 4、100 万点云，三角化小于 10 s; 5、申请发明专利 2 项。	申报专利 2 项。
2026 年 6 月 -2026 年 11 月	1、优化研究水下曲面构件点云建模，水下装备模型与 CAD 标准模型的空间点云布尔求差损伤区建模方法； 2、开发一套海洋装备损伤区测量的专用软件，搭建相应设备。	1、点云建模精度 0.2 mm; 2、损伤区建模精度 0.2 mm。	第三方检测报告；海洋装备损伤区测量专用软件及相应设备；课题年度进展报告；课题综合绩效自评价报告；课题最终科技报告。



## 六、课题组织实施机制及保障措施

1、课题的内部组织管理方式、协调机制等，限 500 字以内。

本课题以西安交通大学为承担单位，哈尔滨工业大学为参与单位，结合各单位的学科优势和研究基础，建立由课题负责人组成的课题领导委员会，下设技术合作攻关小组、经费监督小组和项目推进协调小组，负责组织实施整个研究项目，切实保障项目实施进度、经费落实以及任务指标完成。

本课题将实行课题负责人总体负责制，并依托课题推进协调小组进行组织协调，同时监管整个课题的研究进展与财务审核工作，为整个课题的运行提供总体管理和服务支撑。

课题领导委员会负责召集各参与单位相关专家学者成立技术合作攻关小组，定期召开会议，在课题实施前以及实施过程中对整体技术方案进行审核并对课题中遇到的技术问题进行联合攻关。

为了保障项目研究经费的规范化及合理化使用，在经费的分配和使用方面，依托成立的经费监督小组，严格按照按国家有关科研经费的使用规定，对科研经费的使用进行监督，确保研究经费专款专用，并按规定报告经费的使用、明细及审计结果。

2、课题实施的相关政策，已有的组织、技术基础，支撑保障条件，限 500 字以内。

### 政策支持:

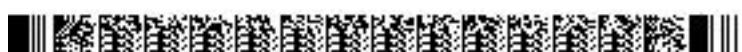
课题承担单位和参与单位的管理部门、科技处和财务处等承诺对课题给予全力的政策支持，保证本项目顺利完成，将竭尽所能人员引进和配置、研究设备的购买、试验场地等相关方面对本课题进行大力支持。

### 组织支持:

项目实行课题负责人总体负责制，课题负责人对课题进行总体规划、过程管理、组织协调等工作，成立了由课题负责人组成的课题领导委员会，下设技术合作攻关小组、经费监督小组和项目推进协调小组，负责项目实施过程中的评价、监控与管理工作，协同推进，保障项目保质、保量、按时完成。

### 技术基础:

课题组拥有丰富的三维扫描重构、三维全场变形和运动检测的图像处理研究经验，研制了系列化的三维外形、三维全场变形、应变场检测的系统，广泛应用于航空、航天、汽车和机械行业。



## 保障条件:

课题组各参与单位都是国内重点科研机构，所依托的机械制造系统国家重点实验室、机器人技术与系统国家重点实验室等研究平台拥有先进的三维扫描重构技术与设备、丰富的水下光路校正与退化诱因辨识的图像恢复技术研究经验。各参与单位的人员都是来自科研第一线的中青年研究骨干，团结合作、锐意进取，具有很强的创新能力，为本课题的顺利进行提供了有力的人力保障。

3、对实现项目总目标的支撑作用，及与项目内其他课题的协同机制，限 500 字以内。

## 支撑作用:

本课题对于项目整体实施可起到引导定位及检测的作用，具有重要支撑作用。本课题在远场测量中，实现水下运载机构的定位功能，输出作业区域的水下信息（深度信息、水下损伤区距离）指导运载机构整体由远及近至损伤区附近；在中场测量中，协助作业机构运动至水下原位损伤区附近，实现损伤区粗定位；在近场测量中，一方面根据空间重构点云和动态测量点云进行位姿感知，得到损伤区精定位坐标信息，另一方面可以输出损伤区模型，可用于支撑后续研究，如选择合适焊接方式，焊接材料，智能决策，规划损伤修复路径等。

## 协同机制

课题五可为本课题提供交互数据，用于实现远中近距离的运动机构/作业机构定位和引导。在远视场中通过课题五提供的机械臂的定位坐标，利用本课题算法可提供课题五深度信息以及损伤区的距离信息；在中视场通过课题五对相机、机械臂的同步控制，实现损伤区的粗定位以及空间重构，在近视场通过本课题算法可提供课题五损伤区精确定位信息并实现位姿感知。

为课题一提供损伤区修复模型，供其进行选型参考；为课题三提供损伤区修复模型及损伤区坐标值，焊枪尖端定位信息，供其选择修复方式和规划路径；为课题四提供损伤区修复模型，供其进行智能决策，优化修复方式。

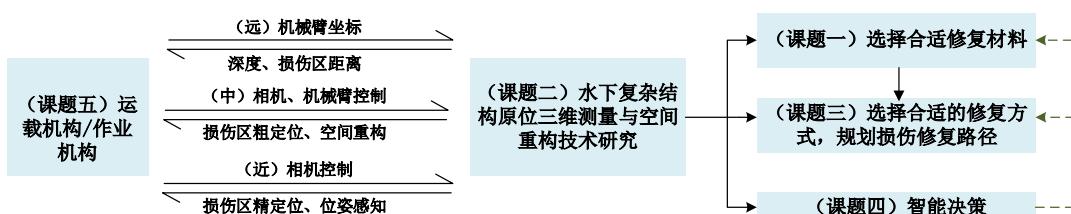
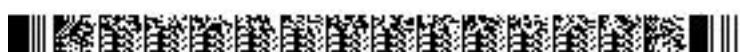
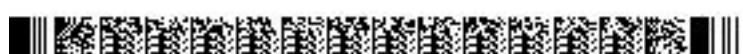


图 4 项目内其他课题的协同关系图

在项目负责单位指导下，相关课题组建立了协同研发机制。各课题之间定期召开学



术研讨交流会、年度工作总结汇报会，及时通报和解决课题中遇到的问题，在项目实施前以及过程中对整体技术方案进行审核并对项目中遇到的技术问题提供意见。



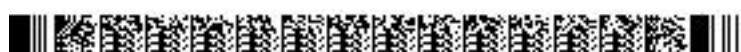
## 七、知识产权对策、成果管理及合作权益分配

限 500 字以内。

根据国家有关政策规定，经课题各参研单位的讨论与协商，制定出各参加方在课题执行过程中产生的科技成果、知识产权及合作成果权益归属及分配方法如下：

各参加单位独立研究获得的科技成果和知识产权归该完成单位独自所有。在成果转让时，本课题的其它参加单位享有同等条件下的优先受让权利。本课题的研究成果如由两个参与单位合作获得时，研究成果的知识产权归参研单位共同拥有，合作单位中的一方转让共有研究成果和知识产权时，其他参与单位享有同等条件优先受让的权利。合作研发单位中某一方声明放弃其共有研究成果和知识产权时，可以由其它合作单位单独申请继承。合作研究成果已经获得专利保护权的，放弃专利所有权的一方可以免费使用该专利。

本课题实施过程中所研发的技术秘密，未经其它合作单位同意，任何一方不得向第三方转让。对合作单位共有的研究成果进行知识产权转让时，所获得的收益由参与合作单位共同享有，收益的分配额度参照对研究成果的实际贡献大小进行。



## 八、需要约定的其他内容

限 500 字以内。

第一条 甲乙双方要本着高度负责的态度和严谨的工作作风，严格按照《国家重点研发计划管理暂行办法》和《国家重点研发计划资金管理办法》的要求及相关管理规定，认真履行各自职责，保证任务目标按时完成。

第二条 甲方依据相关管理规定和管理工作的实施需求，对项目进行检查、抽查等工作。检查、抽查等工作结束后，甲方将结果及时反馈乙方，并以适当的形式、在适当范围公布。

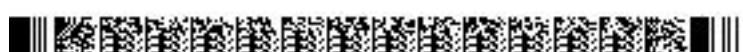
第三条 在项目实施过程中，对于所需的保障条件，涉及的配套政策、配套工程和配套经费等未能如期落实以及超出乙方职权范围的事宜，必要时，甲方应当应乙方要求与相关行业主管部门、地方政府进行协调。

第四条 在项目实施过程中，项目人员队伍应保持整体稳定，原则上不作调整。确需调整的，乙方应当在遵守科研人员限项规定及符合诚信要求的前提下，按相关规定根据具体情况进行分类审批和相应调整。

第五条 在项目实施周期内，乙方应围绕所承担的国家科技计划项目，履行宣传与科普的义务。

第六条 项目综合绩效评价后，本任务书终止。乙方在项目结束 3 年内根据需要或按照甲方要求，有报送项目成果应用、转让等情况的义务。

第七条 当国家重点研发计划的相关管理办法发生变化与调整时，甲乙双方按照新的要求执行。

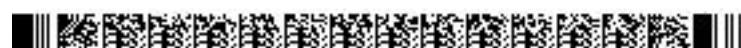


## 九、课题参加人员基本情况表

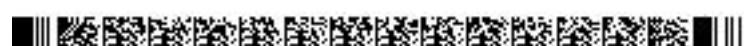
**填表说明:**

1. 专业技术职称: A、正高级 B、副高级 C、中级 D、初级 E、其他;
2. 投入本课题的全时工作时间(人月)是指在课题实施期间该人总共为课题工作的满月度工作量; 累计是指课题组所有人员投入人月之和;
3. 课题固定研究人员需填写人员明细;
4. 是否有工资性收入: Y、是 N、否;
5. 人员分类代码: B、课题负责人 C、项目/课题骨干 D、其他研究人员;
6. 工作单位: 填写单位全称, 其中高校要具体填写到所在院系。

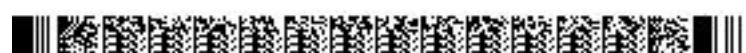
序号	姓名	性别	出生日期	证件类型	证件号码	专业技术职称	职务	最高学位	专业	投入本课题的全时工作时间(人月)	人员分类代码	在课题中分担的任务	是否有工资性收入	工作单位
1	刘宏	男	1982-01-02	身份证件	61042219820102005X	正高级	无	博士	材料加工工程	24	课题负责人	课题负责人	是	西安交通大学材料科学与工程学院
2	梁晋	男	1968-12-03	身份证件	610103196812032434	正高级	无	博士	自动控制	24	课题骨干	水下复杂环境成像光路校正技术	是	西安交通大学机械工程学院
3	龚春园	女	1989-04-17	身份证件	610111198904173524	中级	无	博士	仪器科学与技术	20	课题骨干	点云三维重建方法研究	是	西安交通大学机械工程学院
4	查富生	男	1974-09-19	身份证件	340203197409191210	副高级	无	博士	机械电子工程	20	课题骨干	退化图像恢复研究	是	哈尔滨工业大学机电学院
5	王立忠	男	1968-11-07	身份证件	210102196811075714	正高级	无	博士	材料科学与工程	20	课题骨干	点云粗配准与精配准算法研究	是	西安交通大学机械工程学院
6	王欢	女	1985-02-24	身份证件	610523198502240082	中级	无	硕士	机械工程	20	课题骨干	CAD模型处理方法研究	是	西安交通大学机械工程学院
7	郭伟	女	1965-05-25	身份证件	230103196505250326	正高级	无	博士	机械电子工程	24	课题骨干	目标引导技术研究	是	哈尔滨工业大学机电学院



8	庞鑫	男	1996-12-10	身份证	140222199612106019	其他	硕士生	学士	机械工程	12	其他研究人员	损伤区模型 布尔运算方 法研究	否	西安交通大学机械工程学 院
9	吕品	男	1999-11-22	身份证	230223199911223010	其他	博士生	学士	机器人	20	其他研究人员	点云精配准 与精配准算 法研究	否	哈尔滨工业大学机电工程 学院
10	毕秀雯	女	1995-01-31	身份证	370284199501311521	其他	博士生	硕士	机械工程	20	其他研究人员	点云精配准 与精配准算 法研	否	哈尔滨工业大学机电工程 学院
11	周皓骏	男	1998-03-17	身份证	310107199803175319	其他	硕士生	学士	机械工程	12	其他研究人员	水下激光投 射方法与点 云获取研究	否	西安交通大学机械工程学 院
12	税佳	女	1994-05-08	身份证	610124199405080020	其他	博士生	学士	材料科学 与工程	12	其他研究人员	点云粗配准 算法研究	否	西安交通大学材料科学与 工程学院材料加工工程系
13	卢冰	男	1997-09-22	身份证	230321199709224610	其他	硕士生	学士	材料科学 与工程	12	其他研究人员	ICP 算法研 究	否	西安交通大学材料科学与 工程学院材料加工工程系
14	王凯	男	1997-12-19	身份证	37078519971219367X	其他	硕士生	学士	材料科学 与工程	12	其他研究人员	点云多尺度 平滑去噪算 法研究	否	西安交通大学材料科学与 工程学院材料加工工程系
15	肖雪	女	1997-12-26	身份证	610427199712263922	其他	硕士生	学士	材料与化 工	12	其他研究人员	特征保持点 云下采样技 术研究	否	西安交通大学材料科学与 工程学院材料加工工程系
16	姜逸尧	男	1999-03-25	身份证	460103199903251515	其他	硕士生	学士	材料与化 工	12	其他研究人员	模型布尔求 差算法研究	否	西安交通大学材料科学与 工程学院材料加工工程系
17	王毅龙	男	1999-12-15	身份证	610424199912153577	其他	硕士生	学士	材料与化 工	12	其他研究人员	CAD 模型剖 分研究	否	西安交通大学材料科学与 工程学院材料加工工程系
固定研究人员合计										288	/	/	/	/



流动人员或临时聘用人员合计	0	/	/	/	/
累计	288	/	/	/	/

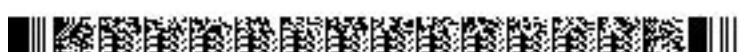


## 课题预算表

表B1 课题编号：2022YFB4601802 课题名称：水下复杂结构原位三维测量与空间重构技术研究 金额单位：万元

序号	预算科目名称	金额
	(1)	(2)
1	一、中央财政专项资金	156.00
2	(一) 直接费用	122.06
3	1. 设备费	
4	其中：购置设备费	
5	2. 业务费	77.90
6	3. 劳务费	44.16
7	(二) 间接费用	33.94
8	二、其他来源资金	
9	三、合计	156.00

注：1. 间接费用无需编制预算说明；2. 绩效支出在间接费用中无比例限制。承担单位在统筹安排间接费用时，要处理好合理分摊间接成本和对科研人员激励的关系，绩效支出安排与科研人员在课题工作中的实际贡献挂钩。



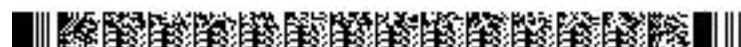
## 设备费——购置/试制设备预算明细表

表B2 谈题编号： 2022YFB4601802

课题名称： 水下复杂结构原位三维测量与空间重构技术研究

金额单位：万元

填表说明： 1.设备分类：购置、试制； 2.购置设备类型：通用、专用； 3.试制设备不需填列本表（9）列、（10）列、（11）列、（12）列； 4.设备单价的单位为万元/台套，设备数量的单位为台套； 5.单价50万元以下的设备不用填写； 6.本表只填写中央财政资金购置（试制）的设备。												
序号	设备名称	设备分类	功能和技术指标	单价	数量	金额	购置或试制单位	安置单位	购置设备类型	主要生产厂家及国别	规格型号	拟开放共享范围
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
无记录												
单价50万元以上购置设备合计						/	/	/	/	/	/	/
单价50万元以上试制设备合计						/	/	/	/	/	/	/
累计						/	/	/	/	/	/	/



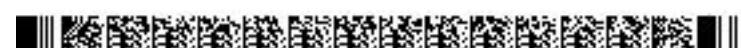
## 课题单位经费预算明细表

表B3 课题编号： 2022YFB4601802

课题名称： 水下复杂结构原位三维测量与空间重构技术研究

金额单位：万元

填表说明： 1.单位类型分课题承担单位、课题参与单位； 2.组织机构代码指企事业单位国家标准代码，单位若已三证合一请填写单位统一社会信用代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”。										
序号	单位名称	组织机构代码-统一社会信用代码		单位类型	任务分工	研究任务负责人	合计	中央财政专项资金		其他来源资金
		(1)	(2)		(3)			(4)	(5)	
1	西安交通大学	统一社会信用代码	1210000043523 0200R	课题承担单位	水下测量、姿态感知、三维重构系统研制	刘 宏	100.00	100.00	21.74	
2	哈尔滨工业大学	统一社会信用代码	1210000040000 0456B	课题参与单位	图像退化恢复算法及水下引导研究	查富生	56.00	56.00	12.20	
累计							156.00	156.00	33.94	



## 预算说明

### 一、中央财政资金

预算的编制要坚持任务相关性、政策相符性和经济合理性，实事求是编制提出课题预算。填报时，直接费用应按设备费、业务费、劳务费三个类别填报，每个类别结合科研任务按支出用途进行说明。除 50 万元以上的设备外，其他费用只提供基本测算说明，不需要提供明细。

1. **设备费**（是指项目实施过程中购置或试制专用仪器设备，对现有仪器设备进行升级改造，以及租赁外单位仪器设备而发生的费用等。计算类仪器设备和软件工具可在设备费科目编列。填报时，50 万元以上的设备详细说明，50 万元以下的设备费用分类说明）

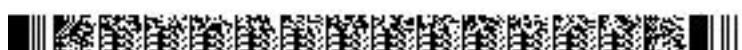
2. **业务费**（是指在项目实施过程中消耗的各种材料、低值易耗品等、发生的测试化验加工、燃料动力、出版文献、信息传播、知识产权事务、会议、差旅、国际合作与交流以及其他与项目实施直接相关的各项费用。编报时，对单笔大额支出、对外委托支出重点说明）

业务费预算 77.9 万元，均来自本专项经费。主要包括材料费预算 27.20 万元，加工费预算 16.90 万元，差旅费预算 27.30 万元，出版/文献/信息传播/知识产权事务费预算 6.50 万元。

#### （1）材料费

材料费预算 27.20 万元：

1) 用于水下测量设备的密封装置及材料，预算 5.20 万：相机、激光投射装置、结构光投射装置、机械臂等在水下通过电缆与控制器和电脑进行连接，因此在水下测量环境中，需分别对上述设备进行密封。光学测量设备的水下密封采用光学玻璃、亚克力框架及密封胶对测量单元分别进行密封，每个密封仓价格为 0.40 万元，共计： $0.40 \times 4 = 1.60$  万元。机械臂需在水下进行移动和位姿变化，需要柔性密封防水设备一套，每个关节的柔性密封连接价格为 0.40 万元，共计  $0.40 \times 4 = 1.60$  万元。为满足水下防水密封及抗压要求，水下光路及控制线进行强化处理，每米 0.20 万，共计  $0.20 \times 10 = 2.00$  万元。合计  $1.60 + 1.60 + 2.00 = 5.20$  万元；



2) 用于制造水下标定装置的材料费, 预算 3.00 万: 水下标定装置需采用高强度、无膨胀合金材料专门定制型材, 每米价格 0.20 万元, 本课题需制作 3 种幅面的标定十字架, 考虑预留的加工余量, 平均每种幅面标定十字架需要 5 米的型材, 合计:  $0.20 \text{ 万元} \times 3 \times 5 = 3.00 \text{ 万元}$ ;

3) 丝印膜费 4.0 万元: 为保证水下标定架表面标记点的高成像对比度和, 需不发生反光, 专门为标定架定制丝印贴膜, 5 种幅面的标定十字架所需丝印贴膜的总面积是: 1 平方米 + 2.56 平方米 + 4.84 平方米 + 9 平方米 + 16 平方米 = 33.4 平方米。每平方米高精度丝印哑光膜的价格为 0.10 万元, 考虑到可能的废料, 预留 6.6 平米丝印膜, 共计:  $(33.4 + 6.6) \text{ 平方米} \times 0.10 \text{ 万元}/\text{平方米} = 4.00 \text{ 万元}$ ;

4) 哑光型标志点材料费 2.20 万元, 用于制备哑光型编码标志点 2 套, 哑光型非编码标志点 2 套。哑光型标志点一面采用超薄 (厚度亚毫米) 哑光材料, 另一面采用高强度粘性, 需专门定制, 预算哑光材料费 1.20 万, 高性能粘性材料 1.00 万元。合计  $1.20 \text{ 万元} + 1.00 \text{ 万元} = 2.20 \text{ 万元}$ 。

5) 远中近引导的配套材料费 12.80 万元: 用于远距离引导声呐仪 11.20 万元, 用于防水、视觉算法测试的简易水池 1.20 万元, 用于中近距离引导的双目相机 0.40 万元。合计  $11.20 + 1.20 + 0.40 = 12.80 \text{ 万元}$ 。

## (2) 加工费

加工费预算 16.90 万元:

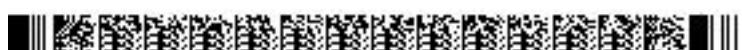
1) 水下扫描时相机安装控制装置的加工费用: 水下扫描时需要专用相机横梁进行安装, 相机夹角和距离需要调节控制, 为保证水下密封要求, 需要加工制造相机角度和位置的专用机械和电控装置, 价格为  $1.25 \times 2 = 2.50 \text{ 万元}$ ;

2) 水下专用测量设备中机械结构加工费用: 为保证水下移动过程中光学测量装置与机械臂的固结与稳定性需求, 需加工专用机械结构对相机结构、激光投射装置、结构光投射装置与机械臂进行固结, 价格为  $0.60 \times 4 = 2.40 \text{ 万元}$ ;

3) 水下测量系统实验测试费 12.00 万元, 价格为 0.50 万元/月, 合计为  $0.5 \times 24 = 12.00 \text{ 万元}$ 。

## (3) 差旅费

差旅费预算 27.30 万元: 本课题四年开展期间预计共进行差旅 65 人次,



累计 325 人天。由中央专项资金支出的差旅费测算依据如下：（0.14 万元/人次 ×65 人次）+（0.038 万元/人天+0.018 万元/人天）×325 人天=27.30 万元。

#### （4）出版/文献/信息传播/知识产权事务费

预算共计 6.50 万元，用于在项目研究过程中，需要支付的出版费、资料费、专用软件购买费、文献检索费、专业通信费、专利申请及其他知识产权事务等费用。发表高水平论文 5 篇，国际期刊按照 1.00 万元/篇计算，小计 5.00 万元；申报国家专利 3 项，每项平均费用 0.50 万元，总计  $0.50 \text{ 万元} \times 3 = 1.50$  万元。合计：5.00 万元+1.50 万元= 6.50 万元。

**3. 劳务费**（是指在项目实施过程中支付给参与项目的研究生、博士后、访问学者以及项目聘用的研究人员、科研辅助人员、科研（财务）助理等的劳务性费用；支付给临时聘请的咨询专家的费用等。项目聘用人员由单位缴纳的社会保险补助、住房公积金等可纳入劳务费列支。）

劳务费共计 44.16 万元：

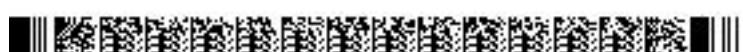
(1) 4 名博士研究生，共 4 年，每年工作 6 个月，按照 0.30 万元/人月  $\times 4 \text{ 人} \times 24 \text{ 月} = 28.80$  万计算，劳务费预计 28.80 万元；

(2) 4 名硕士研究生，共 4 年，每年工作 6 个月，按照 0.15 万元/人月  $\times 4 \text{ 人} \times 24 \text{ 月} = 14.40$  万计算，劳务费预计 14.40 万元；

(3) 聘请科研辅助人员负责课题相关的学术、财务等方面辅助工作，约需 0.96 万元。

## 二、其他来源资金

对其他来源资金主要用途、支出预算做简要说明。



## 十一、相关附件

1. 乙方与参加单位有关协议（须加盖乙方与参加单位公章、法人签字签章；协议文件须扫描上传。如无参加单位，则不填）；

# 国家重点研发计划“增材制造与激光制造”重点专项“海洋装备水下原位高效增材修复技术与装备”项目联合实施协议

依据《中华人民共和国科技进步法》、《中华人民共和国民法典》、《中华人民共和国著作权法》、《中华人民共和国专利法》、《中华人民共和国促进科技成果转化法》、《关于改进加强中央财政科研项目和资金管理的若干意见》等法律和管理办法，经协商一致，各方同意就联合承担国家重点研发计划“增材制造与激光制造”重点专项“海洋装备水下原位高效增材修复技术与装备”项目(编号：2022YFB4601800)达成如下协议。

### 第1条联合体组成

各方同意由哈尔滨工业大学作为该项目的牵头承担单位，西安交通大学、鞍钢股份有限公司、长三角先进材料研究院、中国船舶集团有限公司第七一九研究所、哈尔滨焊接研究院有限公司、矿冶科技集团有限公司、北京石油化工学院、深圳海油工程水下技术有限公司、山东海富光子科技股份有限公司作为项目合作单位（以下简称“合作方”）。

### 第2条联合体分工

项目设5个课题，联合体各方的任务分工如下：

课题1：水下增材典型材料冶金体系建立与专用材料研制

牵头单位：鞍钢股份有限公司

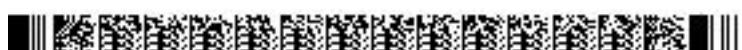
参与单位：矿冶科技集团有限公司

负责人：付魁军

课题研究内容：通过材料集成计算和数值模拟，实现沉积层多机制强化和复相组织控制的合金丝材和粉末成分体系设计；基于高通量计算的材料制备和表征，构建成分-结构-性能之间的映射关系，形成数据库；建立多相射流雾化破碎模型及颗粒热力学和动力学模型；形成水下增材修复专用材料以及一体化制备控制技术；开发舰船超强钢10CrNi3MoV丝材、高强度海工钢EH36丝材、镍铝青铜ZCuAl8Mn13Fe3Ni2粉材水下增材材料，并研究水下增材修复材料工艺适应性。

课题考核指标：

➤ BS结构数据库管理系统



- 包含 3 种材料 30 种成分下的组织、性能等数据的水下增材专用材料数据库;
- 具有添加、删除、修改、查询、批量导入、批量导出功能，数据量大于 300 条;
- 完成 1 项软件著作权申报。
  - 10CrNi3MoV 舰船超高强钢专用丝材
- 丝材特性符合舰船修复工艺要求，最小直径≤0.8 mm;
- 丝材关键残量元素控制水平：Ca 含量≤0.001%，H≤0.0002%，全氧含量≤0.0015%;
- 增材构件的熔覆金属、热影响区及基体结合界面力学性能达到： $R_{el} \geq 590 \text{ MPa}$ ,  $R_m \geq 655 \text{ MPa}$ ,

Akv(-50°C)≥27 J; 耐腐蚀性（NaCl 溶液全浸试验）≥原件性能的 90%。

- EH36 高强度海工钢专用丝材
- 丝材特性符合导管架平台修复工艺要求，最小直径≤0.8 mm;
- 丝材关键残量元素控制水平：Ca 含量≤0.001%，H≤0.0002%，全氧含量≤0.0015%;
- 增材构件的熔覆金属、热影响区及基体结合界面力学性能达到： $R_{el} \geq 355 \text{ MPa}$ ,  $R_m \geq 490 \text{ MPa}$ ,

Akv(-40°C)≥47 J; 耐腐蚀性（NaCl 溶液全浸试验）≥原件性能的 90%。

- ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 镍铝青铜专用粉材
- 粉材特性符合舰船螺旋桨结构修复工艺要求;
- 粉材尺寸、球形度：25~53 μm，粉末球形度≥90%;
- 关键残量元素：Pb 含量≤0.02%，C 含量≤0.1%;
- 粉材安息角：≤35°;
- 增材构件的熔覆金属、热影响区及基体结合界面力学性能达到： $R_{el} \geq 245 \text{ MPa}$ ,  $R_m \geq 590 \text{ MPa}$ ;

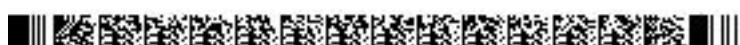
耐腐蚀性（NaCl 溶液全浸试验）≥原件性能的 90%。

- 水下增材修复丝材专用材料一体化制备控制技术
- 10CrNi3MoV 丝材、EH36 丝材、ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 粉材水下增材材料一体化制备控制技术;
- 10CrNi3MoV 丝材、EH36 丝材、ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 粉材水下增材材料生产制备企业技术标准。

其他指标：

- 申报发明专利：3 项;
- 软件著作权：1 项;
- 颁布实施企业技术标准：3 项。

课题各承担单位任务分工如下：



任务一：水下原位增材修复专用高强钢专用丝材研制

承担单位：鞍钢股份有限公司

负责人：付魁军

主要研究内容：进行 10CrNi3MoV 舰船超高强钢、EH36 高强度海工钢丝材的冶金体系设计及研制；提出高强钢丝材超低碳设计及固溶强化、相变强化等多机制复合强化的理念，建立材料成分-结构-性能关系，形成数据库，完成水下增材合金丝材成分体系设计；针对开发材料力学性能、成分均匀性、几何精度、送丝稳定性要求高的特点，开展丝材工业制备关键控制技术研究；进行水下增材修复材料丝材工艺适应性研究。

主要研究成果及考核指标：

➢ BS 结构数据库管理系统

- 包含 3 种材料 30 种成分下的组织、性能等数据的水下增材专用材料数据库；
  - 具有添加、删除、修改、查询、批量导入、批量导出功能，数据量大于 300 条；
  - 完成 1 项软件著作权申报。
- 10CrNi3MoV 舰船超高强钢专用丝材
- 丝材特性符合舰船修复工艺要求，最小直径≤0.8 mm；
  - 丝材关键残量元素控制水平：Ca 含量≤0.001%，H≤0.0002%，全氧含量≤0.0015%；
  - 增材构件的熔覆金属、热影响区及基体结合界面力学性能达到： $R_{el} \geq 590 \text{ MPa}$ ,  $R_m \geq 655 \text{ MPa}$ ,  $Akv(-50^\circ\text{C}) \geq 27 \text{ J}$ ；耐腐蚀性（NaCl 溶液全浸试验）≥原件性能的 90%。

➢ EH36 高强度海工钢专用丝材

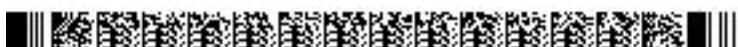
- 丝材特性符合导管架平台修复工艺要求，最小直径≤0.8 mm；
- 丝材关键残量元素控制水平：Ca 含量≤0.001%，H≤0.0002%，全氧含量≤0.0015%；
- 增材构件的熔覆金属、热影响区及基体结合界面力学性能达到： $R_{el} \geq 355 \text{ MPa}$ ,  $R_m \geq 490 \text{ MPa}$ ,  $Akv(-40^\circ\text{C}) \geq 47 \text{ J}$ ；耐腐蚀性（NaCl 溶液全浸试验）≥原件性能的 90%。

➢ 水下增材修复丝材专用材料一体化制备控制技术

- 10CrNi3MoV 丝材、EH36 丝材水下增材材料一体化制备控制技术；
- 10CrNi3MoV 丝材、EH36 丝材水下增材材料生产制备企业技术标准。

其他指标：

- 申报发明专利：2 项；
- 软件著作权：1 项；
- 颁布实施企业技术标准：2 项。



任务二：水下原位增材修复专用镍铝青铜粉末研制

承担单位：矿冶科技集团有限公司

负责人：杜开平

主要研究内容：镍铝青铜 ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 粉材的冶金体系设计及研制：通过粉材元素含量和比值的调控，控制 K 相弥散析出，实现强化相形态和分布调控，建立材料成分-结构-性能关系，形成数据库，完成水下增材合金丝材成分体系设计；针对粉材高纯净度、成分均匀、流动性好、送粉稳定要求高的特点，开展水下专用粉材关键制备技术研究；进行水下增材修复材料粉材工艺适应性研究。

主要研究成果及技术指标：

➢ ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 镍铝青铜专用粉材

- 粉材特性符合舰船螺旋桨结构修复工艺要求；
- 粉材尺寸、球形度： $25\sim53 \mu\text{m}$ ，粉末球形度 $\geq 90\%$ ；
- 关键残量元素：Pb 含量 $\leq 0.02\%$ ，C 含量 $\leq 0.1\%$ ；
- 粉材安息角： $\leq 35^\circ$ ；
- 增材构件的熔覆金属、热影响区及基体结合界面力学性能达到： $R_{\text{el}} \geq 245 \text{ MPa}$ ,  $R_{\text{m}} \geq 590 \text{ MPa}$ ；耐腐蚀性（NaCl 溶液全浸试验） $\geq$ 原件性能的 90%。

➢ 水下增材修复粉材专用材料一体化制备控制技术

- ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 粉材水下增材材料生产制备标准。

其他指标：

- 申报发明专利：1 项；
- 颁布实施企业技术标准：1 项。

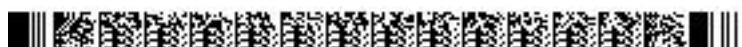
课题 2：水下复杂结构原位三维测量与空间重构技术研究

牵头单位：西安交通大学

参与单位：哈尔滨工业大学

负责人：刘宏

课题研究内容：开展基于多传感器信息融合的水下结构损伤区域快速三维感知、重构与高精度测量方法研究，主要包括基于水下光路校正与退化诱因辨识的图像恢复技术，水下损伤区域远/中/近距离位置估计与引导技术，融合跨尺度多传感器信息的水下空间重构与姿态感知技术，融合空间重构的损伤区原位检测及水下专用三维测量设备研制。



课题考核指标:

- 复杂水下环境空间重构和损伤区域快速三维测量技术与装备
  - 支持两相机同时标定, 重投影误差: 0.2 pixel;
  - 复杂水下光路的空间重构功能: 得到水下空间的整体点云;
  - 空间重构尺寸: 1 m×1 m;
  - 单幅点云扫描时间: 小于 3 s;
  - 点云自动对齐精度: 小于 0.2 mm;
  - 三角化网格速度: 100 万点云, 三角化小于 10 s;
  - 水下曲面构件点云建模精度达到 0.2 mm;
  - 水下曲面构件损伤区进行重建, 重建精度达到 0.2 mm。
- 水下损伤区域距离位置估计与引导及作业装置姿态感知技术
  - 远/中/近距离位置估计精度分别 $\pm$ 10 cm/3 cm/1 cm。
  - 机械空间定位功能: 得到机械臂与运载机构的相对姿态关系, 定位精度 $\leq$ 0.5 mm;
  - 机械臂姿态感知功能: 通过点云配准与拼接技术实现姿态感知, 定位精度 $\leq$ 0.5 mm。

其他指标:

- 高水平论文 2 篇;
- 申请软件著作权 4 项;
- 申请发明专利 3 项;
- 人才培养: 培养博士生 3 人, 硕士生 8 人;

课题各承担单位任务分工如下:

任务一: 水下测量与姿态感知及三维重构系统研制

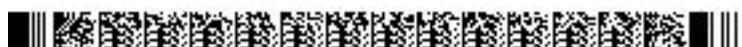
承担单位: 西安交通大学

负责人: 刘宏

主要研究内容: 融合跨尺度多传感器信息的水下空间重构与姿态感知技术、融合空间重构的损伤区原位检测技术研究并且开发一套海洋装备损伤区测量的专用软件与设备。

主要研究成果及技术指标:

- 复杂水下环境空间重构和损伤区域快速三维测量技术与装备
  - 支持两相机同时标定, 重投影误差: 0.2 pixel;
  - 复杂水下光路的空间重构功能: 得到水下空间的整体点云;
  - 空间重构尺寸: 1 m×1 m;



- 单幅点云扫描时间：小于 3 s;
- 点云自动对齐精度：小于 0.2 mm;
- 三角化网格速度：100 万点云，三角化小于 10 s;
- 水下曲面构件点云建模精度达到 0.2 mm;
- 水下曲面构件损伤区进行重建，重建精度达到 0.2 mm.

➢ 水下作业装置姿态感知技术

- 机械空间定位功能：得到机械臂与运载机构的相对姿态关系，定位精度≤0.5 mm;
- 机械臂姿态感知功能：通过点云配准与拼接技术实现姿态感知，定位精度≤0.5 mm;

其他指标：

- 高水平论文 1 篇;
- 申请软件著作权 2 项;
- 申请发明专利 2 项。

任务二：水下图像退化恢复算法及损伤区域远/中/近距离位置估计与引导技术研究

承担单位：哈尔滨工业大学

负责人：查富生

主要研究内容：进行水下图像偏色或浑浊等图像增强算法及水下损伤区域远/中/近距离位置估计与引导技术的研究。

主要研究成果及技术指标：

- 水下损伤区域距离位置估计与引导技术
- 远/中/近距离位置估计精度分别±10 cm/3 cm/1 cm;
  - 水下图像偏色或浑浊等图像增强算法。

其他指标：

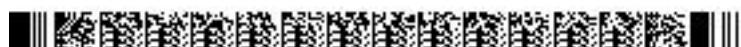
- 高水平论文 1 篇;
- 申请软件著作权 2 项;
- 申请发明专利 1 项。

课题 3：水下原位增材修复精密成形及组织性能调控技术研究

牵头单位：哈尔滨工业大学

参与单位：西安交通大学、北京石油化工学院、鞍钢股份有限公司、矿冶科技集团有限公司

负责 人：郭宁



课题研究内容：揭示深水极端环境对水下增材过程影响的本质特征及其消除机理，面向水下结构的多对象修复需求，研究基于水下局部干法的超声复合激光熔丝增材、超高速线光斑激光熔粉增材、电弧熔丝增材以及基于水下湿法的药芯焊丝电弧增材修复技术，实现水下原位增材修复的精密成形及组织性能调控。

课题考核指标：

➢ 水下局部干法超声复合激光熔丝增材修复技术

- 最大修复效率： $300 \text{ cm}^3/\text{h}$ ；
- 增材修复精度： $\leq \pm 0.5 \text{ mm}$ ；
- 修复部位熔覆金属、热影响区及基体结合界面的抗拉强度、冲击韧性及耐腐蚀性 $\geq$ 基体母材性能 90%；

● 具备空间曲面构件仰面、立面修复能力。

➢ 水下局部干法超高速线光斑激光熔粉增材修复技术

- 最大修复效率： $200 \text{ cm}^3/\text{h}$ ；
- 增材修复精度： $\leq \pm 0.5 \text{ mm}$ ；
- 修复部位熔覆金属、热影响区及基体结合界面的抗拉强度、冲击韧性及耐腐蚀性 $\geq$ 基体母材性能 90%；

● 具备空间曲面构件仰面、立面修复能力。

➢ 水下局部干法电弧熔丝增材修复技术

- 最大修复效率： $400 \text{ cm}^3/\text{h}$ ；
- 增材修复精度： $\leq \pm 1.5 \text{ mm}$ ；
- 修复部位熔覆金属、热影响区及基体结合界面的抗拉强度、冲击韧性及耐腐蚀性 $\geq$ 基体母材性能 90%；

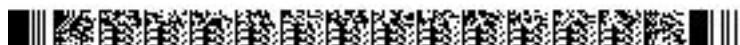
● 具备空间曲面构件仰面、立面修复能力。

➢ 水下湿法药芯焊丝电弧增材修复技术

- 最大修复效率： $400 \text{ cm}^3/\text{h}$ ；
- 增材修复精度： $\leq \pm 2.0 \text{ mm}$ ；
- 修复部位熔覆金属、热影响区及基体结合界面的抗拉强度、冲击韧性及耐腐蚀性 $\geq$ 基体母材性能 90%；

● 具备空间曲面构件仰面、立面修复能力。

其他指标



- 申报发明专利：6项；
- 中科院一区、TOP期刊8篇；
- 人才培养：培养博士生6人，硕士生15人。

课题各承担单位任务分工如下：

任务一：水下激光熔丝增材以及湿法电弧增材工艺研究

承担单位：哈尔滨工业大学

负责人：付云龙

主要研究内容：构建水下增材物理过程原位观测系统，阐明水下原位增材形性极端环境效应及其消除机理；研究水下局部干法超声复合激光熔丝增材、水下湿法药芯焊丝电弧增材修复技术及相应水下装置的研究，实现水下局部干法超声复合激光熔丝增材、水下湿法药芯焊丝电弧增材修复技术的精密成形及组织性能调控。

主要研究成果及技术指标：

- 水下局部干法超声复合激光熔丝增材修复技术
  - 最大修复效率： $300 \text{ cm}^3/\text{h}$ ；
  - 增材修复精度： $\leq \pm 0.5 \text{ mm}$ ；
  - 修复部位熔覆金属、热影响区及基体结合界面的抗拉强度、冲击韧性和耐腐蚀性 $\geq$ 基体母材性能90%；

- 具备空间曲面构件仰面、立面修复能力。

➢ 水下湿法药芯焊丝电弧增材修复技术

- 最大修复效率： $400 \text{ cm}^3/\text{h}$ ；
- 增材修复精度： $\leq \pm 2.0 \text{ mm}$ ；
- 修复部位熔覆金属、热影响区及基体结合界面的抗拉强度、冲击韧性和耐腐蚀性 $\geq$ 基体母材性能90%；

- 具备空间曲面构件仰面、立面修复能力。

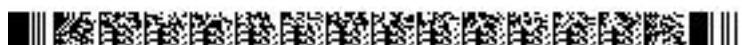
其他指标

- 申报发明专利：2项；
- 中科院一区、TOP期刊4篇。

任务二：水下激光熔粉增材工艺研究

承担单位：西安交通大学

负责人：殷咸青



**主要研究内容：**研究水下局部干法超高速线光斑激光熔粉增材修复技术及相应水下装置的研究，实现水下局部干法超高速线光斑激光熔粉增材修复技术的精密成形及组织性能调控。

**主要研究成果及技术指标：**

- 水下局部干法超高速线光斑激光熔粉增材修复技术
- 最大修复效率： $200 \text{ cm}^3/\text{h}$ ；
- 增材修复精度： $\leq \pm 0.5 \text{ mm}$ ；
- 修复部位熔覆金属、热影响区及基体结合界面的抗拉强度、冲击韧性及耐腐蚀性 $\geq$ 基体母材性能 90%；
- 具备空间曲面构件仰面、立面修复能力。

**其他指标**

- 申报发明专利：2 项；
- 中科院一区、TOP 期刊 2 篇。

### **任务三：水下局部干法电弧熔丝增材工艺研究**

**承担单位：**北京石油化工学院

**负责人：**黄维强

**主要研究内容：**研究水下局部干法电弧熔丝增材修复技术及相应水下装置的研究，实现水下局部干法电弧熔丝增材修复技术的精密成形及组织性能调控。

**主要研究成果及技术指标：**

- 水下局部干法电弧熔丝增材修复技术
- 最大修复效率： $400 \text{ cm}^3/\text{h}$ ；
- 增材修复精度： $\leq \pm 1.5 \text{ mm}$ ；
- 修复部位熔覆金属、热影响区及基体结合界面的抗拉强度、冲击韧性及耐腐蚀性 $\geq$ 基体母材性能 90%；
- 具备空间曲面构件仰面、立面修复能力。

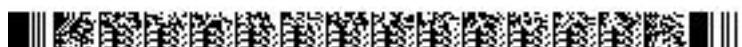
**其他指标**

- 申报发明专利：2 项；
- 中科院一区、TOP 期刊 2 篇。

### **任务四：水下增材丝材工艺验证**

**承担单位：**鞍钢股份有限公司

**负责人：**廖相巍



**主要研究内容：**研究水下增材修复专用丝材增材工艺性验证以及冶金机理。

**主要研究成果及技术指标：**

- 10CrNi3MoV 丝材、EH36 丝材水下增材修复工艺性以及冶金机理
- 水下增材修复部位熔覆金属、热影响区及基体结合界面的抗拉强度、冲击韧性及耐腐蚀性

≥基体母材性能 90%。

**任务五：水下粉材增材工艺验证**

**承担单位：**矿冶科技集团有限公司

**负责人：**皮自强

**主要研究内容：**研究水下增材修复专用粉材增材工艺性验证以及冶金机理。

**主要研究成果及技术指标：**

- ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 粉材水下增材修复工艺性以及冶金机理
- 水下增材修复部位熔覆金属、热影响区及基体结合界面的抗拉强度、冲击韧性及耐腐蚀性

≥基体母材性能 90%。

**课题 4：水下结构增材可修复性评价和修复方案智能决策方法研究**

**牵头单位：**长三角先进材料研究院

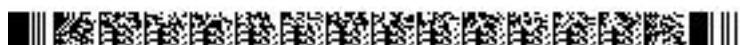
**参与单位：**西安交通大学、哈尔滨焊接研究院有限公司

**负责 人：**黄理

**课题研究内容：**建立实验和仿真数据融合的修复材料-工艺-性能一体化联动的多源异构数据库；研究基于数据库和层次分析法的水下结构可修复性快速评估方法；构造基于条件生成式对抗网络的水下结构修复方案预测模型；提出具有水下结构损伤“感知”能力和修复“决策”能力的智能决策方法。

**课题考核指标：**

- 数据驱动的水下结构修复智能决策技术
- 建立典型水下结构可修复性方案智能决策技术，水下修复方案决策最快响应速度：≤2 分钟。
- 水下结构增材修复材料数据库
- 水下结构增材修复材料数据库 1 个：数据量超过 3000 条；涵盖 3 种修复材料和工艺组合。
- 水下结构增材修复工艺及评定标准
- 申请国家标准 2 项：水下增材修复工艺规范标准，水下增材修复工艺及质量评价标准。



其他指标:

- 申报专利: 6 项;
- 中科院一区、TOP 期刊 2 篇。

课题各承担单位任务分工如下:

任务一: 水下结构修复综合评价技术和增材修复方案智能决策技术

承担单位: 长三角先进材料研究院

负责人: 黄理

主要研究内容: 水下结构增材修复材料数据库建设, 水下结构增材可修复性评价方法, 水下结构增材修复性能智能预测方法及水下结构增材修复方案智能决策方法。

主要研究成果及技术指标:

- 数据驱动的水下结构修复智能决策技术
- 建立典型水下结构可修复性方案智能决策技术, 水下修复方案决策最快响应速度:  $\leq 2$  分钟。
- 水下结构增材修复材料数据库
- 水下结构增材修复材料数据库 1 个: 数据量超过 3000 条; 涵盖 3 种修复材料和工艺组合。

其他指标:

- 申报专利: 4 项;
- 中科院一区、TOP 期刊 1 篇;

任务二: 水下结构修复技术可行性方法研究及水下结构可修复性标准制定

承担单位: 哈尔滨焊接研究院有限公司

负责人: 吕晓春

主要研究内容: 开展水下结构修复技术可行性方法研究, 制定水下结构增材修复工艺评定标准。

主要研究成果及技术指标:

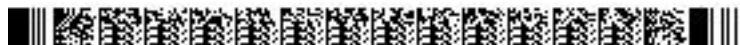
- 水下结构增材修复工艺及评定标准
- 申请国家标准 2 项: 水下增材修复工艺规范标准, 水下增材修复工艺及质量评价标准。

任务三: 水下激光增材修复工艺的跨尺度成形仿真建模方法

承担单位: 西安交通大学

负责人: 韩宾

主要研究内容: 建立水下激光熔覆增材制造工艺的跨尺度成形仿真建模方法, 为建立水下结构修复的材料-工艺-性能一体化数据库提供结构化的仿真数据和仿真模型。



主要研究成果及技术指标:

- 水下结构增材修复材料-工艺-性能仿真模型 1 个，覆盖典型修复材料和工艺组合
- 申报专利: 2 项;
- 中科院一区、TOP 期刊 1 篇。

课题 5：水下原位增材现场修复装备和技术研究及应用验证

牵头单位: 中国船舶集团有限公司第七一九研究所

参与单位: 哈尔滨工业大学、山东海富光子科技股份有限公司、深圳海油工程水下技术有限公司

负责人: 王心亮

课题研究内容: 开展多工艺、多模式增材作业一体化装置的综合集成研究, 构建水下原位增材修复作业平台; 结合水下增材修复作业、运载环境与应用条件, 分析多工艺水下增材修复作业装备各系统、设备总体集成技术要求, 进行总体布局优化设计, 开展水下增材修复人机共融机制研究, 完成装备总体信息集成; 针对三类特殊水下结构, 开展水下增材修复应用验证。

课题考核指标:

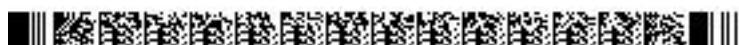
主要研究成果及技术指标:

- 水下原位增材现场修复装备
- 最大作业水深:  $\geq 200$  m;
- 最大作业区域:  $\geq 1$   $m^2$ ;
- 作业方式: 干式舱及机械臂两种作业模式, 可搭载四种增材作业工具、三维测量检测、前/后处理工具, 具有三维曲面作业功能, 具备推进器及履带复合运动模式, 磁吸以及反推锚固形式;
- 具备空间曲面构件仰面、立面修复能力;
- 水下下潜作业光纤激光器: 激光中心波长:  $1080\pm2$  nm, 输出功率:  $\pm 3.2$  kW, 调制频率: 0-5 kHz, 占空比 20%-80%可调, 输出光纤芯径: 300  $\mu m$ 、400  $\mu m$ 、600  $\mu m$  可选。
- 水下增材应用验证试验: 水深 $\geq 10$  m 条件下, 完成水下船体、螺旋桨、海洋导管架结构增材修复应用验证。

其他指标:

- 申报发明专利: 2 项;
- 人才培养: 培养博士生 1 人, 硕士生 2 人。

课题各承担单位任务分工如下:



任务一：水下增材修复运载平台及舰船应用验证

承担单位：中国船舶集团有限公司第七一九研究所

负责人：王心亮

主要研究内容：水下增材作业装备总体集成技术研究、水下增材修复人机共融机制研究和水下多工艺一体化协同增材修复作业及其应用验证，承担水下增材修复运载平台样机设计和制造，以及水下多工艺一体化大型船体、螺旋桨的增材修复作业应用验证。

主要研究成果及技术指标：

➤ 水下原位增材现场修复装备

- 最大作业水深： $\geq 200$  m；
- 作业区域： $\geq 1$  m<sup>2</sup>；
- 作业方式：干式舱及机械臂两种作业模式，可搭载四种增材作业工具、三维测量检测、前/后处理工具，具有三维曲面作业功能，具备推进器及履带复合运动模式，磁吸以及反推锚固形式；
- 具备空间曲面构件仰面、立面修复能力。

➤ 应用验证：

- 水深 $\geq 10$  m条件下，水下多工艺一体化大型船体、螺旋桨的增材修复作业应用验证。

其他指标：

- 申报发明专利：1项。

任务二：多工艺一体化协同水下增材作业平台研制

承担单位：哈尔滨工业大学

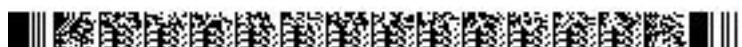
负责人：佟志忠

主要研究内容：多工艺一体化水下增材作业协同中心综合集成，承担水下增材修复装备样机设计与制造。

主要研究成果及技术指标：

➤ 多工艺一体化水下增材作业协同中心

- 最大作业水深： $\geq 200$  m；
- 作业区域： $\geq 1$  m<sup>2</sup>；
- 两种作业模式：干式舱、机械臂；
- 具备空间曲面构件仰面、立面修复能力；
- 可搭载增材前/后机械处理工具；
- 锚固方式：磁吸及推进器反推。



其他指标：

- 申报发明专利：1项。

### 任务三：水下光纤激光器研制

承担单位：山东海富光子科技股份有限公司

负责人：许海鑫

主要研究内容：水下光纤激光器的设计与制造。

主要研究成果及技术指标：

- 水下下潜作业光纤激光器：

- 激光中心波长： $1080\pm2\text{ nm}$ ；输出功率： $\pm3.2\text{ kW}$ ；调制频率： $0\text{-}5\text{ kHz}$ ，占空比 $20\%\text{-}80\%$ 可调；输出光纤芯径： $300\text{ }\mu\text{m}$ 、 $400\text{ }\mu\text{m}$ 、 $600\text{ }\mu\text{m}$ 可选；最大作业水深： $\geq200\text{ m}$ 。

### 任务四：水下增材原位修复技术海洋平台导管架应用验证

承担单位：深圳海油工程水下技术有限公司

负责人：杜颖

主要研究内容：水下多工艺一体化协同增材修复作业其应用验证，承担海洋平台导管架应用验证。

主要研究成果及技术指标：

- 应用验证：

- 水深 $\geq10\text{ m}$ 条件下，水下多工艺一体化海洋平台导管架的增材修复作业应用验证。

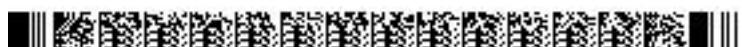
## 第3条项目经费分配及承担

各参与单位就该项目的中央财政专项资金分配及自筹配套资金承诺如下（根据实际情况确定合作单位的定额或比例）：

申请中央财政专项资金 1295 万元，项目提供配套自筹经费 2100 万元，其中鞍钢股份有限公司提供 1000 万元，矿冶科技集团有限公司提供 200 万元，长三角先进材料研究院提供 400 万元，深圳海油工程水下技术有限公司提供 200 万元，山东海富光子科技股份有限公司提供 300 万元。

具体按课题明细如下：

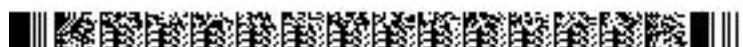
序号	课题名称	课题承担单位	课题负责人	中央财政专项资金（万元）	自筹经费（万元）	总经费（万元）
1	水下增材典型材料冶金体系建立与专	鞍钢股 份有限	付魁军	169.00	920.00	1089.00



	用材料研制	公司				
2	水下复杂结构原位三维测量与空间重构技术研究	西安交通大学	刘宏	156.00		156.00
3	水下原位增材修复精密成形及组织性能调控技术研究	哈尔滨工业大学	郭宁	377.00	280.00	657.00
4	水下结构增材可修复性评价和修复方案智能决策方法研究	长三角先进材料研究院	黄理	156.00	400.00	556.00
5	水下原位增材现场修复装备和技术研究及应用验证	中国船舶集团有限公司第七一九研究所	王心亮	437.00	500.00	937.00

按各单位分配明细如下：

课题名称	单位名称	中央财政专项资金（万元）	自筹经费（万元）	总经费（万元）
课题 1：水下增材典型材料冶金体系建立与专用材料研制	鞍钢股份有限公司	104.00	780.00	884.00
	矿冶科技集团有限公司	65.00	140.00	205.00
课题 2：水下复杂结构原位三维测量与空间重构技术研究	西安交通大学	100.00		100.00
	哈尔滨工业大学	56.00		56.00
课题 3：水下原位增材修复精密成形及组织	哈尔滨工业大学	169.00		169.00
	西安交通大学	91.00		91.00



性能调控技术研究	北京石油化工学院	65.00		65.00
	鞍钢股份有限公司	26.00	220.00	246.00
	矿冶科技集团有限公司	26.00	60.00	86.00
课题 4：水下结构增材可修复性评价和修复方案智能决策方法研究	长三角先进材料研究院	91.00	400.00	491.00
	西安交通大学	39.00		39.00
	哈尔滨焊接研究院有限公司	26.00		26.00
课题 5：水下原位增材现场修复装备和技术研究及应用验证	中国船舶集团有限公司第七一九研究所	141.00		141.00
	哈尔滨工业大学	142.00		142.00
	深圳海油工程水下技术有限公司	64.00	200.00	264.00
	山东海富光子科技股份有限公司	90.00	300.00	390.00

#### 第 4 条知识产权管理

4.1 按国家重点研发计划相关知识产权管理规定划分产权归属。

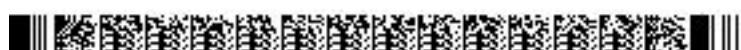
4.2 项目合作研发过程中，联合体各方均不得将合作研发资料或其他方未公开的材料和资料进行转移和泄露。

4.3 项目合作研发过程中，联合体各方对科技成果进行知识产权登记保护、发布或申报奖项前应充分考虑相关合作方的贡献，涉及相关合作方贡献的部分应充分协商沟通。

4.4 联合体各方在承担本项目之前各自获得、拥有的知识产权及相应权益均归各自所有，不因共同承担本项目而改变。因承担本项目的需要，各自向对方提供的相关信息，不构成向任何合作方授予任何关于专利、著作权、商标权等知识产权的许可行为或其他权利。

#### 第 5 条课题实施管理

5.1 联合体各方应按照项目牵头单位的统一管理要求，明确本单位所承担责任的任务负责人、财



务负责人以及专职联络人员，如无特殊情况，不得更换相应的人员。

5.2 联合体各方应建立国家重点研发计划相关内控管理制度，并按时保质完成各自负责的研究任务及考核指标。

5.3 联合体各方应按国家重点研发计划相关经费管理办法合理支出研专项经费，承诺的自筹经费应及时足额到位并单独建账合理支出。

5.4 联合体各方应全力配合项目牵头单位的监督和管理工作，及时提供撰写项目年度执行情况报告和科技报告等相关材料，并配合项目牵头单位完成各项与项目有关的资料汇总、汇报工作。

## **第 6 条相关责任**

6.1 联合体各方应按项目实施计划开展研究工作，当研发进度严重滞后并影响项目正常实施进度时，项目牵头单位有权缓拨、停拨、甚至追缴部分或全部课题经费。

6.2 联合体各方在项目实施过程中如有任务考核指标、经费、参加单位、任务负责人等调整和变更时均应及时以书面形式向项目牵头单位汇报，在专业机构批准后，参加单位签署补充协议，否则仍按照原规定执行。

6.3 联合体各方因不可抗力不能继续履行项目实施义务时，应及时通知课题承担单位，课题承担单位报项目牵头单位，并出具因不可抗力导致协议不能履行的证明，由项目牵头单位报批专业机构批复后另作处理。如因责任方未及时通知项目牵头单位造成的额外损失，由相关责任方自行承担。

6.4 联合体各方因自身原因导致整个项目验收不通过则应全权负责承担相关责任。

## **第 7 条其他说明**

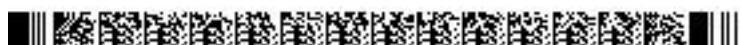
7.1 联合体各方应在本协议基础上另行签订研究内容任务书，对研究任务、考核指标、考核方式及评价手段、进度安排、专项经费分配、自筹经费落实等进行更全面的约定。

7.2 本协议不在各方之间建立任何商业上的代理、合作关系，如双方希望建立任何商业上的代理、合作关系的，应另行签订协议。

7.3 在项目执行过程中发生争议，双方应当协商解决，也可以请求主管部门进行调解。各方不愿协商、调解解决或者协商、调解不成的，商定申请由北京仲裁委员会仲裁。

7.4 本协议一式 5 份，有效期自签订之日起，项目验收日止。

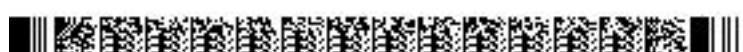
以下无正文，转签章页。



（本页无正文，为签章页）



2012年11月17日



# 国家高技术研究发展计划（863计划）项目合作协议

（本页无正文，为签章页）

项目牵头承担单位：哈尔滨工业大学

项目负责人（签字）：

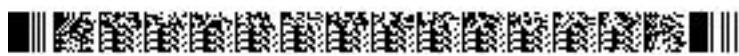
高海宁

项目承担单位：西安交通大学

课题负责人（签字）：

王宏

2012年11月9日



(本页无正文，为签章页)

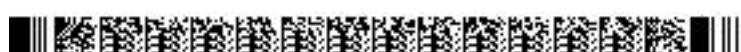


项目负责人（签字）：



课题负责人（签字）：

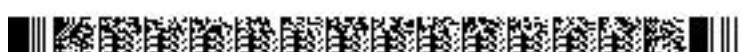
2022 年 11 月 17 日



(本页无正文，为签章页)



2022 年 11 月 17 日



(本页无正文，为签章页)



项目牵头承担单位：哈尔滨工业大学

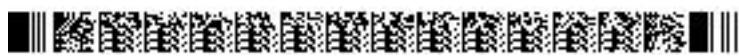
项目负责人（签字）：



课题承担单位：中国船舶集团有限公司第七一九研究所

课题负责人（签字）：

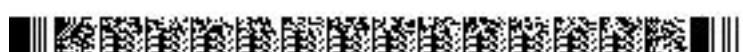
2022 年 11 月 17 日



(本页无正文，为签章页)



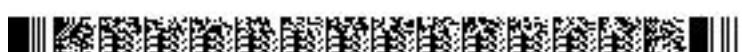
2022年11月17日



(本页无正文，为签章页)



2022 年 11 月 17 日



(本页无正文，为签章页)

项目牵头承担单位：哈尔滨工业大学

项目负责人（签字）：

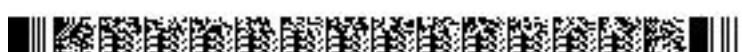


项目参与单位：哈尔滨焊接研究院有限公司

任务负责人（签字）：



2022年 11 月 17 日



(本页无正文，为签章页)

项目牵头承攢单位：哈尔滨工业大学

项目负责人（签字）：

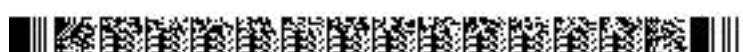


项目参与单位：山东海富光子科技股份有限公司

任务负责人（签字）：



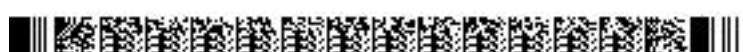
2022年11月17日



(本页无正文，为签章页)

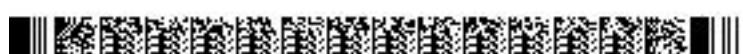


2022年 11月 15日



2. 申报指南规定的其他附件。

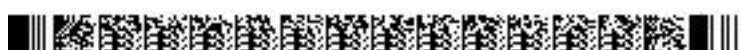
无



## 任务书签署

甲乙双方根据《国务院印发关于深化中央财政科技计划（专项、基金）管理改革方案的通知》（国发〔2014〕64号）、《国务院关于优化科研管理提升科研绩效若干措施的通知》（国发〔2018〕25号）、《国务院办公厅关于改革完善中央财政科研经费管理的若干意见》（国办发〔2021〕32号）、《科技部 财政部关于印发<国家重点研发计划管理暂行办法>的通知》（国科发资〔2017〕152号）、《财政部 科技部关于印发<国家重点研发计划资金管理办法>的通知》（财教〔2021〕178号）、《科学技术活动违规行为处理暂行规定》（科学技术部令第19号）、《科技部财政部关于印发<中央财政科技计划（专项、基金等）监督工作暂行规定>的通知》（国科发政〔2015〕471号）、《科技部 自然科学基金委关于进一步压实国家科技计划（专项、基金等）任务承担单位科研作风学风和科研诚信主体责任的通知》（国科发监〔2020〕203号）等有关文件规定，以及有关法律、政策和管理要求，依据项目立项通知，签署本任务书。

同时，本单位和项目负责人**郑重承诺**：对本项目所有成果产出（包括但不限于新产品、新技术、标准、论文、专利等）的真实性、与项目的关联性等负责，将按要求落实科研作风学风和科研诚信主体责任；项目经费全部用于与本项目研究工作相关的支出，不截留、挪用、侵占，不用于与科学研究无关的支出；严格按照政府采购和保密法律法规规定开展政府采购活动，规范信息公开工作；接受并积极配合相关部门的监督检查。如有违反，本单位和项目负责人以及相关成果产出者愿接受项目管理专业机构和相关部门做出的各项处理决定，包括但不限于终止项目执行、追回项目（课题）经费，取消一定期限国家科技计划项目申报资格，记入科研诚信严重失信行为数据库以及主要负责人接受相应党纪政纪处理等。



项目牵头承担单位（甲方）：

法定代表人签字（签章）：

（公章）

年 月 日

项目负责人签字（签章）：

年 月 日

课题承担单位（乙方）：

法定代表人签字（签章）：

（公章）

年 月 日

课题负责人签字（签章）：

年 月 日

