船舶总体性能创新研究开放基金

申请指南

（第一批）

二〇二二年三月

目 录

[一、主要定位 1](#_Toc97659606)

[二、项目指南 3](#_Toc97659607)

[2.1 基于智能技术的船型几何特征认知与自主生成方法研究 3](#_Toc97659608)

[2.2 船体几何建模与逆向重构技术研究及程序模块开发 4](#_Toc97659609)

[2.3 面向船舶计算力学的3D几何表达和网格生成技术研究 4](#_Toc97659610)

[2.4 基于GPU的船舶CAE分析计算网格并行生成技术研究 5](#_Toc97659611)

[2.5 多学科仿真几何共模表达方法研究 6](#_Toc97659612)

[2.6 基于数据库的重载APP仿真结果转换映射接口模块开发 7](#_Toc97659613)

[2.7 面向云端的船舶总体性能三维数据可视化技术研究 7](#_Toc97659614)

[2.8 基于智能技术的船舶总体性能设计方法研究 8](#_Toc97659615)

[2.9 多源异构船舶总体性能试验数据的高性能分布式存储架构研究 9](#_Toc97659616)

[2.10 硬件资源安全虚拟化应用技术研究 9](#_Toc97659617)

[2.11 基于区块链的联邦学习技术研究 10](#_Toc97659618)

[2.12 船舶总体性能综合评价方法与指标体系构建研究 11](#_Toc97659619)

[2.13 基于人工智能的极端海况波浪全过程预测关键技术研究 12](#_Toc97659620)

[2.14 基于机器学习技术的实际风浪环境下的船舶操纵运动模拟方法 13](#_Toc97659621)

[2.15 三维强非线性波浪载荷分析方法及程序开发 13](#_Toc97659622)

[2.16 基于无网格方法的耐波性预报APP 14](#_Toc97659623)

[2.17 融合数理方程和人工智能的船舶操纵运动预报方法研究 15](#_Toc97659624)

[2.18 基于机器学习的流动控制计算软件 15](#_Toc97659625)

[2.19 基于格子Boltzmann方法的水下航行体湍流高保真求解器 16](#_Toc97659626)

[2.20 针对复杂工况船体航行的高精度多相流固耦合求解器 17](#_Toc97659627)

[2.21 基于大规模并行计算的水下爆炸冲击强耦合数值仿真平台 18](#_Toc97659628)

[2.22 复杂船体结构振动与声辐射的全频段谱单元建模理论及程序研制 19](#_Toc97659629)

[2.23 海洋冰盖和密度分层对水声传播特性影响的理论模型与计算方法 20](#_Toc97659630)

[2.24 基于势流理论的船型优化APP 20](#_Toc97659631)

[三、注意事项 21](#_Toc97659632)

[四、联系方式 22](#_Toc97659633)

# 一、主要定位

随着海洋平台工作环境日益多样化、复杂化，多学科耦合设计、性能最优驱动等发展趋势对船舶总体性能研发体系提出了越来越高的要求。另一方面，人工智能、大数据、VR/AR等新一代信息化技术的快速发展和应用，为船舶总体性能的研究提供了新的研究手段。本指南旨在充分利用新兴技术和信息化时代的馈赠，汇聚行业内外优势力量，通过深度融合船舶总体性能研究体系与计算工程应用技术，重塑船舶总体性能研发模式，打造行业发展新范式。

本次指南面向新一代船舶总体性能虚拟研究的发展需求，针对“复杂几何表达、跨应用共模与CAE的视觉增强”、“船舶总体性能研究中的新一代信息化技术融合与应用”、“船舶总体性能预报/评价/优化的新方法与新模型”三个重点研究方向，以开放基金的方式分批次面向社会公开发布研究需求。

开放基金的三个重点研究方向技术内涵如下：

一是**复杂几何表达、跨应用共模与CAE的视觉增强**。针对船舶总体性能研究手段的智能化发展需求，通过开展几何模型参数化表达、多学科跨应用共模、多源异构数据交互、CAE效果展示及视觉增强等关键技术研究，实现专家知识和经验在船舶总体性能虚拟试验中的深度融合，解决数据→几何→力学响应→视觉展示过程及其逆过程自动化流程中的技术障碍，强化虚拟研究过程中的轻交互和视觉驱动效果，大幅提高船舶总体性能虚拟研究手段的工程应用能力和智能化水平。

二是**船舶总体性能研究中的新一代信息化技术融合与应用**。瞄准解决新一代船舶总体性能研发模式中应用程序及数据的知识产权保护难、CAE精细模拟远程交互繁、深度学习训练样本少、异构/异质软件集成复杂等问题，借助快速发展的新一代信息化技术（区块链、数字孪生、人工智能等），重点突破跨区域/多用户的船舶总体性能协同研发模式中的敏感数据知识化应用、虚拟应用知识产权保护、CAE精细模拟轻量化交互、多元异构软件集成、仿真流程柔性定制等创新应用关键技术，强化应用智能化和软件自主化，保障信息流在数据、应用软件和用户之间的畅通交互，推动“众创共享”生态环境的形成。

三是**船舶总体性能预报/评价/优化的新方法与新模型**。针对船舶作业环境日益复杂化和应用场景日益多样化对船舶总体性能研究手段提出的更高要求，借助人工智能、MBSE、高精度谱元法、高阶有限元法、浸入边界法等前沿技术手段，重点开展流固声耦合、三维强非线性、总体性能综合评价、性能驱动的智能优化等问题中的关键技术攻关，形成一批支撑船舶总体性能预报/评价/优化的新方法、新模型、新工具，为突破船舶总体性能瓶颈提供新的研究手段。

本次指南以竞争择优的方式向社会公开发布，第一批指南共24项，每项拟资助1~2个研究项目，每个项目资助经费40~150万，研究周期不超过12个月。本次指南研究内容和相应技术指标为方向牵引性需求，**允许申报单位根据指南条目中的部分内容开展技术攻关研究，鼓励创新**。项目研究成果包括但不限于研究报告、自主软件程序、标准草案，鼓励发表高质量论文、软著和专利等。

表1 第一批开放基金指南

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 指南编号 | 指南名称 | 所属方向 |
| A44221001 | 基于智能技术的船型几何特征认知与自主生成方法研究 | 方向一 |
| A40221002 | 船体几何建模与逆向重构技术研究及程序模块开发 | 方向一 |
| A40221003 | 面向船舶计算力学的3D几何表达和网格生成技术研究 | 方向一 |
| A40221004 | 基于GPU的船舶CAE分析计算网格并行生成技术研究 | 方向一 |
| A40221005 | 多学科仿真几何共模表达方法研究 | 方向一 |
| B66221006 | 基于数据库的重载APP仿真结果转换映射接口模块开发 | 方向二 |
| B55221007 | 面向云端的船舶总体性能三维数据可视化技术研究 | 方向二 |
| B04221008 | 基于智能技术的船舶总体性能设计方法研究 | 方向二 |
| B66221009 | 多源异构船舶总体性能试验数据的高性能分布式存储架构研究 | 方向二 |
| B56221010 | 硬件资源安全虚拟化应用技术研究 | 方向二 |
| B56221011 | 基于区块链的联邦学习技术研究 | 方向二 |
| C02221012 | 船舶总体性能综合评价方法与指标体系构建研究 | 方向三 |
| C14221013 | 基于人工智能的极端海况波浪全过程预测关键技术研究 | 方向三 |
| C14221014 | 基于机器学习技术的实际风浪环境下的船舶操纵运动模拟方法 | 方向三 |
| C11221015 | 三维强非线性波浪载荷分析方法及程序开发 | 方向三 |
| C11221016 | 基于无网格方法的耐波性预报APP | 方向三 |
| C14221017 | 融合数理方程和人工智能的船舶操纵运动预报方法研究 | 方向三 |
| C14221018 | 基于机器学习的流动控制计算软件 | 方向三 |
| C11221019 | 基于格子Boltzmann方法的水下航行体湍流高保真求解器 | 方向三 |
| C01221020 | 针对复杂工况船体航行的高精度多相流固耦合求解器 | 方向三 |
| C01221021 | 基于大规模并行计算的水下爆炸冲击强耦合数值仿真平台 | 方向三 |
| C31221022 | 复杂船体结构振动与声辐射的全频段谱单元建模理论及程序研制 | 方向三 |
| C31221023 | 海洋冰盖和密度分层对水声传播特性影响的理论模型与计算方法 | 方向三 |
| C13221024 | 基于势流理论的船型优化APP | 方向三 |

# 二、项目指南

## 2.1 基于智能技术的船型几何特征认知与自主生成方法研究

**需求背景：**

当前船舶线型设计主要依托母型船和设计师经验，缺乏创新性、重用性、通用性。随着新兴技术的快速发展，广泛用于图片/视频数据处理的计算机视觉和特征学习方法，为船型生成提供了一种全新的方式。基于智能技术，开展船型几何特征认知与自主生成方法研究，有望大幅提高船型设计的效率和质量。

**研究目标：**

瞄准人工智能、深度学习等新兴技术在船舶领域的应用需求，聚焦船型表达与生成，依托大子样船型几何数据，基于计算机视觉与深度学习技术，建立船型几何特征认知与生成模型，具备给定特征后快速自主生成船型的功能。形成全新的有别于当前依托母型船和设计师经验的船型生成方法。

**牵引性指标**：

1、建立船体曲面特征认知机制模型，船型数据子样不少于100条，曲面认知准确度95%以上；

2、建立基于智能技术的船型几何特征生成模型，具备给定特征（主尺度参数、排水量、球艏等不少于3种特征）快速自主生成船型的功能；

3、生成模型应具有基本的曲面有义性（反曲和畸变部分在中线面投影面积比不大于5%）；

4、提供具有自主知识产权的模型程序源代码。

## 2.2 船体几何建模与逆向重构技术研究及程序模块开发

**需求背景：**

船舶总体性能研究设计中，船型几何既是性能评估的输入量，也是基于评估后优化调整的输出量，是一项基础的关键共性技术。船体几何建模及逆向重构技术，涉及船体几何的数据表达、快捷建模、逆向重构、文件格式高效转换等，对于促进船舶总体性能多学科共模研究至关重要。

**研究目标：**

聚焦船型设计与几何建模技术，开展船体几何建模与逆向重构方法研究，突破几何表达、自由变形等技术，自主研发船体几何建模与变形重构软件模块，具备点/线/面快速建模、拖拉拽变形、面/线/点型线自动生成、船型特征参数计算等功能，且兼具云化拓展接口，为船舶总体性能研究几何共模提供技术支持。

**牵引性指标**：

1、基于型值文件格式，方便地生成船体几何面文件；可读取通用三维曲面格式文件；

2、可方便高效（拖拽式）的对船体几何进行调整重构，且响应时间为秒级。同时快速得到重构后的型值文件；

3、基于船体型值生成几何，支持自动生成、自动光顺、特征参数自动输出等功能；支持云化拓展；

4、提供具有自主知识产权的软件程序源代码。

## 2.3 面向船舶计算力学的3D几何表达和网格生成技术研究

**需求背景：**

数值技术作为现代主要的科技手段之一，已融入到工程实践的各个环节，如工程设计中的预报、评价和优化过程使用到的主要手段就是数值计算技术。但当前较为普遍的一个问题是各行业、各学科、各专业、各单位，甚至各环节中对事件、对象、数据的描述和表达各自为政，缺乏统一的标准、方法和模型，无法做到跨行业、跨学科、跨专业、跨单位、跨流程的共模，严重阻碍了数值技术普适化，造成许多不必要的错误、冲突、矛盾和浪费，急需开展数值技术中的共模技术研究。

**研究目标：**

面向服务于计算流体力学（CFD）、计算结构力学（CSM）和计算声学（CAA），以有限体积法（FVM）、有限元法（FEM）和边界元法（BEM）等为应用对象，通过“属性细分、知识封装”，建立船舶主船体及其典型附体、典型结构/部件的3D几何表达，实现流体域和固体域的自动化网格生成，支持过程和结果的轻交互和可视化，打通从数据→几何→网格→计算过程及其逆过程的自动化共模的技术障碍，为船舶总体性能预报、评估与设计提供自主的技术手段和工具。

**牵引性指标**：

1、建立几何、网格、性能数据表达标准，涵盖流体、结构、声学三个学科；

2、建立主流船型的分类属性和细分库，开发出型值与CAD互译软件，互译几何偏差1µm；

3、开发智能几何建模、网格生成软件，自动程度达到90%，船舶阻力和螺旋桨推力计算精度达3%。

## 2.4 基于GPU的船舶CAE分析计算网格并行生成技术研究

**需求背景：**

船舶设计制造过程中广泛应用CAE分析技术对船型的设计进行评估和优化，例如船体结构的强度分析、水体对船体的冲击分析、船体的碰撞搁浅分析等。以有限元为代表的计算方法需要对几何模型做网格化处理，网格生成的耗时通常占仿真计算耗时的1/3～1/2，网格生成的性能提升能大大缩短仿真计算的时间，加速研发设计过程。

**研究目标：**

以提升船舶CAE分析效能为目标，发展面向结构CAE有限元分析的新型计算网格生成方法，突破适用于异构计算环境的网格数据表示、具有边界约束的网格生成、复杂边界的网格缝合等关键技术；提出并行任务拆分与调度方法，实现基于GPU的CAE分析计算网格生成过程并行化，提高船舶CAE分析效率。

**牵引性指标**：

1、提出1种适合并行实现的结构CAE有限元网格生成算法，算法生成的网格质量不差于现有工程化产品中主流应用的算法（以领域专家评估或标准评测指标结果为依据）；

2、形成基于GPU的新算法并行化实现，支持1000万单元规模网格的准实时生成（～1min）；

3、完成1个典型应用案例验证；

4、提供具有自主知识产权的程序源代码。

## 2.5 多学科仿真几何共模表达方法研究

**需求背景：**

基于多学科仿真开展性能评估是开展船舶总体性能优化设计的重要环节，模型几何是优化实施的承载对象，不同学科仿真需要依据模型几何构建各自领域的仿真网格实现仿真，再依据性能评估结果开展模型几何调整优化。通过共性的几何表达描述方法，实现不同学科仿真网格与几何之间的相互映射，实现仿真网格与几何之间的联动，并保持设计空间中几何的唯一性，将有助于基于数值的模型优化设计演化的开展。

**研究目标：**

面向流体、结构等多学科CAE联合仿真优化的几何共模需求，建立高保真共模几何描述与管理方法，突破共模几何与各学科仿真网格的自动映射，实现几何与网格的联动，实现几何模型当时刻唯一化和历史版本的自动化管理。为基于模型的系统工程开展提供支撑。

**牵引性指标**：

1、建立不少于1种共性几何描述方法，实现2个以上学科的几何与仿真网格的映射联动；

2、给出几何版本管理方法；

3、共模几何精度与CAD几何精度相当，满足多学科仿真精度要求；

4、提供具有自主知识产权的程序源代码。

## 2.6 基于数据库的重载APP仿真结果转换映射接口模块开发

**需求背景：**

当前重载仿真软件应用依赖的商业软件、开源软件或自研软件输出结果主要是基于各软件自定义的非结构化结果，一般各自都有一套后处理及分析系统，大部分情况相互之间不兼容。转化为数据库系统统一管理的结构化数据格式，可以有助于开展不同结果之间的融合应用，进一步开展数据挖掘分析。

**研究目标：**

面向仿真数据的融合应用需求，设计基于数据库系统的融合结构化数据格式，突破不同仿真软件APP的非结构化数据向结构化数据的转换技术，开发仿真结果映射接口模块，实现不同仿真软件APP的结果的结构化统一管理，支持数据融合应用开发。

**牵引性指标**：

1、建立不少于5种重载APP仿真软件映射接口模块（包括不限于FLUENT、StarCCM+、ABAQUS、ANSYS、OpenFOAM等）；

2、实现至少1种以上数据库系统中开展2种以上APP结果的统一融合比较。

## 2.7 面向云端的船舶总体性能三维数据可视化技术研究

**需求背景：**

云化是软件发展的重要趋势。三维模型的展示及交互是CAE软件云化过程中的难点之一，面临模型规模大（数百MB甚至GB的量级）、模型格式多样（CAD模型、ABAQUS、STARCCM结果等）等问题。开展面向云端的船舶总体性能三维数据可视化技术研究，解决CAE结果数据的轻量化、可视化、模型格式转换及压缩、流式传输、三维可视化问题，将为模型的云端共享和流转提供新的途径。

**研究目标：**

瞄准三维模型的云端可视化，聚焦模型的轻量化处理、转换和传输算法，在保留模型结构树、属性等核心内容的同时，突破模型之间的格式鸿沟，建立基于云端的三维模型可视化框架，形成基于轻量化数据的可视化渲染，提升交互体验。

**牵引性指标**：

1、提出新的模型格式转换、压缩、传输方法各1种，形成1套新的模型轻量化系统；处理后数据存储规模减小不低于50%，传输速度提升不低于2倍；

2、支持轻量化转化NX、ProE、CATIA等主流三维模型，云端支持bdf、iges、dat等格式CAE模型；支持GB级原始数据的流畅可视化，帧率不低于15fps；

3、支持Windows桌面版的可视化，兼容谷歌、火狐等主流浏览器；

4、提供具有自主知识产权的程序源代码。

## 2.8 基于智能技术的船舶总体性能设计方法研究

**需求背景：**

当前船舶总体性能设计主要是依靠船模物理试验以及设计师的经验，缺乏创新性和通用性。随着新兴信息技术的发展，基于人工智能和机器学习的数据处理与分析技术，为船舶总体性能设计、评估和优化提供了一种全新的途径。

**研究目标：**

瞄准人工智能、机器学习等新兴技术在船舶总体性能设计领域的应用需求，依托已有的大子样试验数据，聚焦物理模型试验数据的获取、融合与挖掘，基于机器学习技术，建立总体性能设计的算法模型，具备通过模型算法开展总体性能设计的功能，形成全新的、基于数据有别于传统的船舶总体性能预报、评价和优化的方法。

**牵引性指标**：

1、建立数据知识化的设计方法模型，得到模型的船型数据子样不少于1000条；

2、建立数据知识化引擎，具备利用数据知识化引擎（支持至少五种机器学习算法，包括决策树、支持向量机等）进行总体性能设计的能力；

3、具有较高的精度和工程实用性，与物理试验数据比较，相对误差在10%以内的占90%以上；

4、提供具有自主知识产权的模型程序源代码。

## 2.9 多源异构船舶总体性能试验数据的高性能分布式存储架构研究

**需求背景：**

船舶总体性能物理试验数据涉及到多个学科和专业，虽然数据量不是非常大，但是随着研究的不断扩展，物理试验数据的种类越来越繁多，格式越来越多样。船舶总体性能虚拟试验数据不但有着同样的问题，同时随着应用的不断深入，虚拟试验数据量会越来越大，产生的小文件数量也越来越多。传统关系型数据库固定表结构和数据类型的特点已经无法满足当前船舶总体性能物理试验数据存储和快速存储查询的需求，使用稀松的数据结构和更多元化数据存储架构才能应对复杂的业务需求。

随着数据价值得到越来越多的重视，基于数据的知识化方法得到广泛的深入研究，数据访问规模大及应用场景多样等特点对数据存储的高可扩展性、数据访问的高并发和高性能提出了更高的要求，同时数据的安全性和存储系统的健壮性也是重中之重。

**研究目标：**

面向多源异构试验数据统一存储和访问的需求，开展数据存储方法研究，设计高性能、高可靠和高扩展的数据多级存储框架，实现快速响应用户不同应用场景下对数据的访问；解决多源异构数据在统一存储框架下的兼容性问题，基于元数据实现不同数据源数据交换格式和传输方式的定义；解决数据访问负载倾斜问题，通过机器学习主动预测数据冷热性，优化热点数据存储查询性能。

**牵引性指标**：

1、实现对所有船舶总体性能试验数据的统一存储，在数据量不小于100万条，大小不低于400T情况下，I/O速度在10ms之内；

2、数据量不小于100万条情况下，并发访问量1000时，查询访问速度在10ms之内。

## 2.10 硬件资源安全虚拟化应用技术研究

**需求背景：**

传统的计算系统部署方式导致应用与硬件资源绑定，每个应用都需要按照其峰值业务量进行硬件资源的配置，在大部分时间许多硬件资源都处于闲置状态，不仅造成服务器的资源利用率较低，而且对硬件资源的共享造成了天然的障碍。

为了解决不同应用程序在多个硬件资源上并发运行的问题，需要在每个硬件资源上安装所有应用程序的支撑环境，不仅造成支撑环境对硬件资源的大量占用，而且容易导致支撑环境之间的冲突。应用程序并发运行时由于未采取安全隔离手段，也导致容易发生数据混乱、敏感数据泄露等问题。

硬件资源虚拟化技术作为云计算服务的基础技术手段，可以大大提高服务器的资源利用率，已经得到了广泛的应用。容器技术将应用及其依赖项打包，允许将一个应用从一个计算环境便捷、可靠地移动到另一个计算环境，大大降低了应用程序安全并行的复杂性。但是在特定安全场景下还需要根据相关标准的要求从用户行为管理、业务管理、数据安全管理和实现内核等几个层面提供更加完备的安全保证。

**研究目标：**

针对大量异构船舶总体性能预报应用程序提供并发计算服务的需求，在满足数据安全保密需求的应用场景下，通过采用合规的软硬件方案，实现硬件资源的虚拟化，形成统一的资源池，使硬件资源充分共享和最优利用。同时，利用应用容器等技术，针对每个船舶总体性能预报程序，实现资源的按需分配和数据的安全隔离，防止资源沉睡和数据污染。

**牵引性指标**：

1、根据特定安全场景的要求，编制完整的建设方案，并通过相关权威机构的审核；

2、使用多个异构船舶总体性能预报应用程序，实现对建设方案的技术验证。

## 2.11 基于区块链的联邦学习技术研究

**需求背景：**

随着大数据技术在船舶行业的应用深入，针对同一研究领域，不同研究单位、院校研究数据的联合分析是数据挖掘的发展趋势。如何将不同机构之间拥有的独立数据、独立模型，通过技术手段联合起来，同时又保持机构之间的数据独立和数据隐私，是突破当前数据壁垒、深度释放行业数据价值的重要途径。

**研究目标：**

以实现隐私安全的多方数据联合应用为目标，基于区块链构建多参与方或多参与节点的数据可信联合计算环境。提出支持多方共识的联邦训练模型，实现由区块链对多方数据分别加密后导入联邦模型。解决多方共同监管的问题，可以将执行结果通过多方密钥加密后平等分发到各参与节点。

**牵引性指标**：

1、提出一套适用于Fabric框架的联邦学习改进算法，具有联邦学习的技术规范要素与数据处理能力，同时可与Fabric共识体系兼容。联邦学习算法可移植到区块链底座中，实现与区块链底座的一体化编译。联邦学习算法支持大于10个参与方的训练模型；

2、基于区块链联邦学习，开发一套服务组件，功能包括：样本数据导入、联邦学习执行、训练过程监管、执行过程加密等。组件以RESTFUL API方式对外提供服务，服务请求响应时间小于500ms；

3、区块链联邦学习能够保证模型质量无损，不会出现负迁移，保证联邦模型比割裂的独立模型效果好（以领域专家评估或标准评测指标结果为依据）；

4、提供具有自主知识产权的程序源代码。

## 2.12 船舶总体性能综合评价方法与指标体系构建研究

**需求背景：**

船舶总体性能涉及多个学科众多指标，其评价大多依赖设计师经验对各指标进行反复权衡，但无法量化总体性能的优劣。因此有必要针对各学科特点进行全面系统性分析，结合适用的多指标综合性能评价等方法，建立一套科学合理的船舶总体性能综合评价体系。为船舶总体性能综合评价提供支撑。

**研究目标：**

面向船舶总体性能多学科评价需求，提出船舶总体性能综合评价方法，建立船舶水动力、结构安全、综合隐身三大总体性能量化综合评价指标体系，开发应用模块，具备快速评价船舶总体性能优劣的功能。

**牵引性指标**：

1、提出船舶总体性能综合评价方法，可对各类船舶总体性能的优劣进行量化评价；

2、建立船舶水动力、结构安全、综合隐身三大总体性能综合评价指标体系；研发相应程序模块，运行响应时间不大于60s。

## 2.13 基于人工智能的极端海况波浪全过程预测关键技术研究

**需求背景：**

台风、寒潮等极端灾害性天气引起的大风浪是影响海上船舶正常航行的常见因素，具有常发性和恶劣性。这种恶劣的极端海况会引起船舶甲板上水，运动自由度过大（摇摆、倾斜），仪器设备无法正常工作等，严重的还会造成船体结构损坏，影响船舶的正常航行和执行任务。

基于传统方法开展极端海洋环境的快速预报难度较大，有必要借助人工智能等先进技术，建立一种能够快速预报台风等极端天气路径、快速预测极端海况参数的极端海况波浪全过程预测技术，为海上船舶提供预警以及实时的作业、作战环境预报，为船舶航行策略规划、总体性能设计等方面的快速决策提供依据。

**研究目标：**

针对极端海洋环境下船舶总体性能设计需求，基于长期海洋环境实测数据，开展极端天气过程实时路径及风场分布、外海水深相对较大处的波浪参数、近岸浅水海域极端海况等极端海洋环境要素的快速智能预报技术研究，突破极端海洋环境要素参数化表达、在线交互学习模型构建、智能预测系统高效训练等关键技术，形成极端海况波浪全过程预测系统，为船舶总体性能设计快速决策提供依据。

**牵引性指标**：

1、采用南海或台湾海峡等实际海域不少于5年的实测风浪资料对预测系统进行验证；

2、极端海况波浪全过程预测系统形成可视化界面展示，数据参数包括但不限于波高、周期和风速等，系统可稳定运行；

3、针对不少于3个典型海域，开展极端海况精细化预报，波高、波周期、风速等参数的预报平均误差在15%以内。

## 2.14 基于机器学习技术的实际风浪环境下的船舶操纵运动模拟方法

**需求背景：**

船舶领域基于机器学习开展了大量的船舶快速性能预报方面的研究，可基于环境条件和操作工况预报实船的航速和功率，满足大部分天气状态下的船舶功率预报要求，取得了较为丰富的成果。在船舶操纵性预报方面，多数研究仍停留在对模型试验数据的挖掘与预报上，对于实船航行时的操纵性能预报方法相对欠缺。因此，急需形成基于数据挖掘技术的考虑实际风浪环境的操纵性预报方法，用于支持船舶操纵性评估与船型设计决策。

**研究目标：**

针对船舶在真实海洋环境中的操纵性能预报需求，基于机器学习方法，开展船舶操纵性物理/虚拟试验数据与海洋风浪环境数据的融合，建立船舶在实际海洋风浪环境影响下的操纵运动预报方法，为船舶操纵性智能预报提供技术支撑。

**牵引性指标**：

1、建立融合实际海洋风浪环境作用的船舶操纵性预报方法；

2、形成基于机器学习技术的风浪中实船操纵性预报模块；

3、完成多类船舶的风浪中操纵性预报应用验证。

## 2.15 三维强非线性波浪载荷分析方法及程序开发

**需求背景：**

大型集装箱船、LNG、矿砂船、散货船和油船等由波激振动引起的非线性疲劳现象越来越明显，同时高航速下船体上时常发生严重的砰击作用，船舶工业界对非线性波浪载荷在这些领域应用的关注度越来越高。大开口的船体在波浪载荷作用下显得较为柔软，容易出现垂向和扭转波激振动。由于集装箱船等瘦长船体的艏部和尾部外飘较大，船速较高，在恶劣海况下容易发生砰击现象并引起船体结构的颤振响应。砰击压力变换规律与船型、航速、波形关系密切，亟需发展一套强非线性理论恰当地考虑砰击等强非线性因素，形成更加完善地三维非线性波浪载荷分析方法。国内外大量高校和研究所自主开发的非线性波浪载荷程序尚不完善，在工业界没有获得实质性广泛应用。而在三维频域线性、频域非线性以及系泊领域，国内外船舶工业界被国外商业软件占据垄断地位。针对我国船舶工业战略发展需要，亟需自主开发我国的三维强非线性波浪载荷分析程序，实现船舶与海洋工程外载荷评估的核心软件自主可控，从而有效地支撑船舶和浮式结构物的总体设计。

**研究目标：**

针对多种船型，建立正确高效的砰击压力数值分析模型。通过考虑大幅运动、船体变形和粘性效应等多种因素，完善三维全时域波浪载荷理论基础，自主开发相关数值计算程序。通过数值分析与标准模型试验数据交叉对比，揭示非线性波浪载荷数值预报和模型试验误差规律。

**牵引性指标**：

1、计及砰击等非线性因素，数值预报误差与模型试验或实船测试结果相比，误差不大于20%。

## 2.16 基于无网格方法的耐波性预报APP

**需求背景：**

对复杂波浪环境下的船舶耐波性进行预报，是评估船舶综合性能的重要途径之一。船舶在波浪中大幅度运动通常伴随波浪翻卷和破碎等强非线性流动现象，不仅影响运动幅值，还将产生局部砰击压力，对结构安全性也造成威胁。这种结构与水气自由液面的剧烈作用涉及到自由液面的翻卷变形、气泡卷入和破碎以及结构大幅度运动等问题，传统有网格 CFD 算法较难进行精确的模拟，而拉格朗日粒子方法在模拟自由面大变形和物体大幅运动方面具有优势。

**研究目标：**

针对复杂海洋环境下船舶耐波性预报需求，自主开发基于三维无网格MPS数值方法的求解器，包括推板造波模块、数值消波模块和结构物六自由度运动模块，突破不同参数规则波、孤立波和不规则波快速生成技术，实现对甲板上浪、波浪翻卷、波浪破碎等现象的模拟，形成基于无网格方法的耐波性预报APP。

**牵引性指标**：

1、支持无网格MPS粒子法数值造波与消波；

2、支持CPU和GPU并行加速；

3、多相流求解模块支持气-液两相耦合求解；

4、船体垂荡和纵摇运动响应幅值算子（RAO）误差在15%以内。

## 2.17 融合数理方程和人工智能的船舶操纵运动预报方法研究

**需求背景：**

准确预报船舶的运动轨迹对船舶的安全操控辅助决策具有重要意义。传统的操纵运动预报主要采用数理方程方法，水动力导数不能实时更新、水动力载荷级数展开项有限及尺度效应等问题使其不能准确预报船舶运动轨迹，不能满足实际航海需求。以实际运动数据为基础的人工智能方法可以提高预报精度，但缺少物理含义，泛化能力差。所以，亟需开展融合数理方程和人工智能的船舶操纵运动预报方法研究。

**研究目标：**

针对船舶安全操控辅助决策需求，开展融合数理方程和人工智能的船舶操纵运动预报方法研究，解决目前预报方法中精度或泛化能力差的问题，为船舶自主避碰与自主航行提供技术支撑。成果达到的技术成熟水平TRL4。

**牵引性指标**：

1、建立适用于操纵运动数理方程系数辨识的试验设计及数据有效滤波处理方法；

2、建立操纵运动数理方程系数的辨识方法，水池试验结果相比，偏差在20%以内；

3、建立操纵运动智能预报方法，水池试验结果相比，偏差在20%以内；

4、建立融合数理方程的船舶操纵运动智能预报方法。与水池试验结果相比，偏差在15%以内。

## 2.18 基于机器学习的流动控制计算软件

**需求背景：**

为了降低水下航行器的阻力、提高推进器的工作效率、减振降噪等，人们提出了各种主动或被动的流动控制策略。传统控制参数的优化设计需要大规模的模型实验或数值仿真，且当面临多控制变量、多目标优化时，效率低下。此外，当涉及到控制器与流动的耦合问题时，现有商业软件无法有效整合流固耦合计算与控制参数的优化流程。其主要原因是传统计算力学方法和流动优化策略的双重低效，不能实时反馈并控制流动参数产生新的流固耦合数值解。因此，需研制高效的流动控制计算软件。

**研究目标：**

围绕船舶海洋工程领域流动控制计算软件智能化的需求，突破高效率流固耦合计算与控制参数并行优化等关键技术，开发基于深度学习的流固耦合计算模块、基于强化学习的并行框架，发展高效、并行化的流动控制计算软件，实现流场的主动干预控制，形成实时计算和控制参数的快速优化能力。

**牵引性指标**：

1、单向和双向流固耦合计算软件达到或高于常用商业软件，标模的计算结果和实验结果对比误差在5%以内；

2、经深度神经网络学习的模块比流固耦合计算模块耗时至少低一个数量级；

3、将计算力学模块和深度学习模块整合到强化学习的高效并行框架，实现即时主动流动控制。

## 2.19 基于格子Boltzmann方法的水下航行体湍流高保真求解器

**需求背景：**

高保真计算流体力学求解器是水下潜器研制和应用过程中的关键手段和技术开发工具。格子Boltzmann方法以其物理清晰、算法并行程度高、易移植拓展等优点，在湍流、流固耦合等问题中已得到大量应用，算法日臻成熟。基于此，瞄准水下潜器的水动力参数获取及减阻、抑振等实际工程中的关键问题，开发基于格子Boltzmann方法的水下航行体湍流高保真求解器，是国产CFD软件发展的重要途径之一。

**研究目标：**

针对格子Boltzmann方法的实际工程应用需求，开展用于水下潜器高保真水动力学仿真及设计优化的完整求解软件和配套前后处理方法研究，实现复杂环境下潜器的水动力参数获取、流致振动、高聚物喷射减阻等问题的高保真模拟，获得详实的潜器水动力学参数和流场时空演化过程。为解决以复杂水动力学计算为核心的减阻、抑振主被动控制优化难题提供创新的解决方案，为水下潜器的工程优化设计提供坚实支撑。

**牵引性指标**：

1、使用LBM开展圆柱、球体、SUBOFF标模绕流仿真，验证算例的升阻力系数及其波动量的误差均≤5%；

2、使用LBM对接强化学习开展流致振动的主动抑制，实现抑振幅度≥90%；

3、使用LBM开展FENE-P模型下高聚物喷射减阻，实现减阻率≥10%；

4、求解器具备在CPU+GPU以及CPU+DCU异构架构的超算上运行的能力，实现算例硬件核心数不少于十万，网格规模不低于一百亿。

## 2.20 针对复杂工况船体航行的高精度多相流固耦合求解器

**需求背景：**

数值实验是船舶设计过程中的重要手段，高精度、高效率、高可靠性的仿真计算方法与计算软件对提高船舶设计效率与质量至关重要。其中，对船舶航行姿态和船体表面动态载荷的预报尤为关键。此类问题往往涉及流固相互作用、波浪破碎等，具有强非线性、非周期性。因此，需要基于一般的计算流体力学理论发展一套具有普适性的高精度多相流固耦合求解器，来满足对一般复杂工况船体航行姿态及载荷的预报需求。

**研究目标：**

从典型船舶航行工况出发，选取典型特征进行抽象建模，开发适用于复杂工况船体航行的高精度多相流固耦合求解器，重点突破对于流固双向耦合下姿态及载荷的高精度计算的难点，实现对船体姿态、波浪载荷和砰击载荷的准确预报，并以此为依据指导船舶结构设计。

**牵引性指标**：

1、时间和空间计算精度高于一阶；

2、对楔形体入水标准算例的载荷预报值与文献误差小于30%；

3、实现对标模水池试验的模拟，并给出表面载荷预报数据；

4、并行可拓展性大于80%。

## 2.21 基于大规模并行计算的水下爆炸冲击强耦合数值仿真平台

**需求背景：**

船舶遭受水下武器攻击过程中包含了冲击波传播、爆炸气泡运动以及流固耦合等复杂运动现象，涉及到强冲击波的捕捉、多相流运动以及瞬态流固耦合作用等核心技术。目前我国船舶抗爆抗冲击性能预报存在预报精度低、适用范围窄、计算稳定性不足等问题，尚未建立基于多介质、多界面运动的水下爆炸瞬态强耦合数值仿真平台。因此，亟需开展水下爆炸瞬态气-液-固多物质耦合预报方法研究，发展高效的瞬态流固耦合分析方法，构建基于大规模并行计算的水下爆炸冲击强耦合数值仿真平台，为水下爆炸过程中冲击波传播、气泡运动以及流固耦合过程的深入研究，为船舶水下爆炸冲击动响应预报提供核心算法和高性能软件平台。

**研究目标：**

从水下爆炸中的多介质强耦合过程的预报技术需求出发，发展水下爆炸多流体运动和瞬态流固耦合的浸入边界算法（IBM），突破强冲击下多相流和流固耦合分析技术，构建基于大规模并行计算的水下爆炸多介质强耦合数值预报高性能仿真算法，实现水下爆炸冲击波传播、爆炸气泡运动、流固耦合以及结构大变形与损伤的数值预报，为深入掌握水下爆炸载荷的传播与作用机理以及结构抗爆抗冲击设计提供关键技术支撑。

**牵引性指标**：

1、建立基于浸入边界法（IBM）的瞬态流固耦合计算模型，能够实现水下近场爆炸强冲击的计算分析；

2、开发基于MPI和GPU大规模并行计算的水下爆炸气-液-固多物质强耦合仿真预报软件，不依赖于任何第三方数据库，具有良好的平台移植功能，可在Windows、Linux等系统编译运行；

3、对标AUTODYN或DYNA等主流商用软件的水下爆炸分析模块，或经模型试验验证相对误差小于15%。

## 2.22 复杂船体结构振动与声辐射的全频段谱单元建模理论及程序研制

**需求背景：**

近年来逐渐发展起来的动刚度法、谱元法，相对于传统的有限元法和统计能量法，具有离散要求低、适用频段宽、求解高效等优点，因而是宽频段内开展振动噪声特性分析的潜在强有力替代手段。

遗憾的是，该类方法由于位移解采用频率依赖的解析解或周期函数，将不可避免地产生非线性特征值问题、系统矩阵条件数差问题，严重影响该类方法的软件研发，乃至工程应用。

因此，迫切需要聚焦动刚度法、谱元法中流固耦合系统建模、病态矩阵求逆等难题，有针对性从系统矩阵特征值、病态矩阵求逆、高效算法等方面开展基础研究；建立船舶振动噪声预报的新算法，支撑复杂船体结构全频段振动噪声动刚度法程序研制；助力占领宽频段高效高精度预报的技术高地。

**研究目标：**

针对宽频段内船舶振动噪声高效、高精度的预报需求，发展加筋板与声场耦合系统的动刚度预报理论及其高效算法，突破面内-面外结构波之间的耦合与波型转换分析、病态矩阵奇异值分解、有限元/边界元-动刚度耦合算法等关键技术；开发加筋板-声场耦合系统预报程序1.1版本，实现结构振动传递、波传播、乃至声辐射的宽频段精确快速预报，为深度掌握船舶结构振动与声传播机理提供基础理论和核心算法。

**牵引性指标**：

1、计算程序总体方案与数据结构设计；

2、建立加筋板结构声振特性预报方法；

3、提出病态动刚度矩阵的高效求逆算法；

4、形成加筋板结构振动与声辐射的动刚度法预报程序；

5、有限元/边界元-动刚度耦合分析程序；

6、对标商用软件或经模型试验验证，预报误差小于3dB（10Hz～5kHz）。

## 2.23 海洋冰盖和密度分层对水声传播特性影响的理论模型与计算方法

**需求背景：**

极地海洋资源的探测与开发是当今世界各国关注的一个重点方向。同时，海洋水下目标的隐身以及探测一直是涉及国家安全的重要课题之一。对这些问题机理的深入认识都离不开对于水声传播特性的研究。极地特殊的海洋环境中，大面积的冰层覆盖广泛存在，海洋由于温度、密度的不均匀而在垂向具有分层结构。声波在冰盖和垂向分层环境中的传播特性，包括声波的衰减、反射、吸收机理，弹性海面和时变海底的声学特性及其对声传播特性的影响等，是水声学领域尚未解决的关键科学问题。

**研究目标：**

从极地海洋资源勘探和开发等需求出发，基于海洋冰盖和密度分层可压流体模型，实现流、固、声耦合建模；通过对色散关系的分析加深对于水声传播特性及其影响因素的认识，发展利用格林函数计算任意激励下任意时刻任意场点声弹性响应的数值计算和渐进分析理论方法；实现分层海洋中表面水弹性效应下声传播特性的快速预报，为水下目标探测、目标入水位置监测及水下噪声的抑制等技术提供理论支撑。

**牵引性指标**：

1、建立极地密度分层海洋环境中水声传播特性分析方法；

2、建立极地密度分层海洋环境中任意激励下结构声弹性响应计算方法；

3、数值计算结果和理论近似解析解相对比，精度控制在10％以内。

## 2.24 基于势流理论的船型优化APP

**需求背景：**

为提高船舶续航和作战能力，对船型进行优化设计以提高其水动力性能是重要的途径之一。在初始设计阶段，相较于耗时长的基于粘流的船型优化方法，将势流理论应用于船型优化当中可大大提高船型优化效率，降低船型优化计算成本，在短时间内获得优化船型，实现阻力降低。

**研究目标：**

为提高基于势流方法的船型优化技术的工程应用能力，开展各类船型灵活变形方法研究，突破高精度船型快速变换和智能优化技术，自主开发支持自由变形方法、径向基函数方法和平移法的船型变换模块，完成支持遗传算法、粒子群算法、全局优化算法等智能算法的船型优化模块集成，形成基于势流理论的船型优化APP。

**牵引性指标**：

1、支持单体船、双体船和三体船兴波阻力预报；

2、支持单体船兴波阻力的型线优化；

3、支持多体船兴波阻力的主体和片体优化；

4、相较于基于粘性CFD理论的优化手段，效率提高40%；

5、兴波阻力优化幅值在5%以上。

# 三、注意事项

**（一）申报资质**

1、本批指南面向社会公开发布，每个项目资助金额为40~150万元，将通过与中国船舶科学研究中心签订合同的方式进行资助。对于取得重大进展的课题，将在后续予以持续资助；对严重达不到技术指标要求的课题，将视情况终止资助。

2、申报单位应具有法人资格，具备较强的科研能力和条件，运行管理规范。

3、申请者应具有高级职称或博士学位，或有不少于两位同行正高职专家的推荐，每位申请者每年只能申报一项课题。

4、申报单位和项目申请人应严格落实科研诚信要求，申报单位对项目申报人员的申报资格负责。不受理已列入科研诚信失信名单且尚未解禁的单位和申请人申报。

**（二）项目申报有关要求**

1、项目申报单位可选择指南中某一指南条目开展研究，自主确定项目名称、合理测算经费需求，并提出可考核、可验证的研究成果。

2、请在认真阅读指南书的基础上编写项目申请书（模版见附件1），对研究内容严重不符合指南需求的申请书、以及未按照要求进行盖章或签字的申请书将因无法通过形式审查而被淘汰。单位盖章须与后续签订合同单位名称保持一致。

3、研究内容应不涉及国家秘密，保密审查由申请者所在单位自行负责。

4、申请书由中国船舶科学研究中心开放基金管理办公室受理，受理截止日期**2022年4月10日**。申请者须在截止日期前将申请书Word电子文档（光盘）和纸质申请书（一式二份）送至管理办公室。申请书一经接受概不退回。

5、**经形式审查、书面评审和会议评审确定承研单位及负责人**，相关活动安排及评审结果由管理办公室以电话、短信或电子邮件的方式告知申请者。

6、资助项目取得的研究成果，包括发表论文、专著、研究报告、软件、专利及获奖、成果报道等，应当注明得到船舶总体性能创新研究开放基金项目资助和项目批准号或作有关说明。

7、为加强资助课题的学术交流，开放基金管理办公室每年将举办相关领域的学术研讨会，获资助课题负责人有义务参加相关学术交流活动。

# 四、联系方式

联系人：白亚强（18761535134）

 王 琦（13812054437）

申请书邮寄地址：江苏省无锡市滨湖区山水东路222号

中国船舶科学研究中心，白亚强 收

邮编：214082

邮箱：baiyaqiang@cssrc.com.cn

附件1

船舶总体性能创新研究开放基金

项目建议书

申报方向：*（应填写完整的指南条目编号和名称）*

项目名称：

申报单位： *（填写与公章一致的单位名称，并加盖公章）*

负责人： *（填写项目负责人姓名并签名）*

联系人： 联系电话：

通信地址：

研究周期： 研究经费：

本单位代表申报团队郑重承诺:本建议书填报信息真实有效，相关研究内容没有在其它计划渠道重复申报。

说 明

1. 项目建议书的内容将作为项目评审和签订协议的重要依据，建议书的各项填报内容需实事求是、准确完整、层次清晰。内容一般不超过2万字。

2. 项目建议书中的单位名称，请填写全称，并与单位公章一致。建议书纸质版应与电子版一致，纸质档须要项目负责人签字，日期如实填写。

3.项目申请单位对申请材料的真实性、完整性负责。

4.页面设置：全篇A4幅面，上、下页边距2.5cm，左、右页边距2.8cm，页眉1.5cm，页脚2.0cm；页码居中。

5.正文格式：所有行间距为1.5倍，对齐网格，首行缩进2字符。一级标题黑体小二号字；二级标题黑体三号字；三级标题黑体小三号字；四级标题仿宋\_GB2312四号字，加粗；正文为仿宋\_GB2312四号字。

标题编号次序为：二→（二）→2→2.1→2.1.1→（1）→①……

6.图、表编号形成为：章节-序号，如图3-3、表2-2等。

**目 录**

[一、申请人基本信息 1](#_Toc93496422)

[二、项目摘要 2](#_Toc93496423)

[三、立项依据 3](#_Toc93496424)

[（一）研究意义 3](#_Toc93496425)

[（二）国内外研究现状及发展动态 3](#_Toc93496426)

[（三）科学意义及应用前景 3](#_Toc93496427)

[四、研究目标、研究内容及拟解决的关键科学问题 3](#_Toc93496428)

[（一）研究目标 3](#_Toc93496429)

[（二）研究内容 3](#_Toc93496430)

[（三）拟解决的关键科学问题 3](#_Toc93496431)

[（四）拟采取的研究方案 3](#_Toc93496432)

[（五）研究计划 3](#_Toc93496433)

[五、预期研究成果及项目创新点 3](#_Toc93496434)

[（一）研究成果、关键指标及考核方案 3](#_Toc93496435)

[（二）项目创新点 4](#_Toc93496436)

[六、研究团队、研究基础及保障条件 4](#_Toc93496437)

[（一）单位简要情况 4](#_Toc93496438)

[（二）申请人情况 4](#_Toc93496439)

[（三）项目组成员情况 5](#_Toc93496440)

[（四）项目研究基础与工作条件 6](#_Toc93496441)

[七、经费概算 6](#_Toc93496442)

[（一）经费概算方案汇总 6](#_Toc93496443)

[（二）经费概算说明 7](#_Toc93496444)

一、申请人基本信息

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **项目名称** |  | **指南编号** |  |
| **项目****负责人** | **姓 名** |  | **性 别** |  | **出生年月** |  |
| **学 历** |  | **职 称** |  | **单位职务** |  |
| **手机** |  | **电子邮箱** |  |
| **身份证号** |  |
| **申 请****单 位** | **单位名称** |  | **组织机构代码** |  |
| **所属部门** |  | **单位性质** |  |
| **单位联系人** |  | **联系电话** |  |
| **通信地址** |  | **邮政编码** |  |
| **经费概算（万元）** |  |
| **研究周期（月）** |  | **申请日期** |  |
| 本人保证所填写的信息均真实有效，无任何虚假信息。本人完全清楚本声明的法律后果，如有不实，愿意承担相应的法律责任。项目申请人签字：年 月 日 | 本单位对提交的材料进行了认真审核，保证所填写的信息均真实有效，无任何虚假信息。若因本单位未履行审查职责造成信息虚假的，本单位愿意承担相应的法律后果。（单位盖章） 年 月 日 |

二、项目摘要

|  |  |
| --- | --- |
| **摘****要** | *500字以内* |

三、立项依据

（一）基本概念及研究意义

（二）国内外研究现状及发展动态

（三）科学意义及应用前景

四、研究目标、研究内容及拟解决的关键科学问题

（一）研究目标

（二）研究内容

（三）拟解决的关键科学问题

（四）拟采取的研究方案

（五）研究计划

五、预期研究成果及项目创新点

（一）研究成果、关键指标及考核方案

**1.研究成果**

**2.关键技术指标**

**3.考核方案**

（二）项目创新点

六、研究团队、研究基础及保障条件

（一）单位简要情况

（二）申请人情况

**1.个人简介**

*不超过300字*

**2.受教育经历**

*从大学本科开始，按时间倒排序，参考格式：*

*1993.09-1996.12，ＸＸＸ大学，机械工程专业，博士研究生，导师：张山*

**3.研究工作经历**

*按时间倒排序，参考格式：*

*2014.09-2019.09，ＸＸＸ大学，副教授*

**4.代表性成果**

*选取不超过5项，以申请人为第一完成人的科研成果/论文/专著/专利等，阐明代表成果的学术贡献和创新之处。每项不超过120字。*

（三）项目组成员情况

| **序号** | **姓名** | **性别** | **身份证号码** | **职称** | **专业** | **任务分工** | **工作单位** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

（四）项目研究基础与工作条件

七、经费概算

（一）经费概算方案汇总

表1 经费概算汇总表（财防〔2019〕18号文适用）

单位：万元

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **项目** | **金额** | **比例** |
| 一 | 预计成本 |  |  |
| **1** | **材料费** |  |  |
| 1.1 | 成品 |  |  |
| 1.2 | 其它 |  |  |
| **2** | **专用费** |  |  |
| 2.1 | 专用工具软件费 |  |  |
| 2.2 | 技术引进费 |  |  |
| 2.3 | 专用工艺装备费 |  |  |
| 2.4 | 随产品交付的专用测试仪器设备购置费 |  |  |
| 2.5 | 知识产权使用费 |  |  |
| 2.6 | 保险费及其他 |  |  |
| **3** | **外协费** |  |  |
| **4** | **燃料动力费** |  |  |
| **5** | **事务费** |  |  |
| **6** | **固定资产折旧费** |  |  |
| **7** | **管理费** |  |  |
| **8** | **工资及劳务费** |  |  |
| 二 | 预计收益 |  |  |
| 三 | 不可预见费 |  |  |
| 四 | 其他费用 |  |  |
| **五** | **合计** |  |  |

（二）经费概算说明

*（介绍本项目总经费预算构成，应能够支撑对项目总经费及相关课题经费安排合理性进行审核评估）*