

# 海洋灾害预报模型和相关应用开发需求

## 一、项目背景

为全面提升海洋灾害预警预报水平，需要采购市海洋温盐流数值预报模型、海面风场数值预报模型、风暴潮漫滩数值预报模型、局地性生物暴发预报模型。同时，为提高海洋预警报制作发布效率，健全海洋预报公益服务体系，需要升级海洋预告警报制作发布平台并采购市海洋预报网和海洋预报手机应用开发服务。

## 二、项目工作内容

各板块工作部署位置：

序号	名称	部署位置
1	市自主可控温盐流数值预报模型	市海洋环境监测中心（市海洋预报台）
2	市自主可控海面风场数值预报模型	
3	市自主可控风暴潮漫滩数值预报模型	
4	市海洋预报网网站	市信创云
5	海洋预报手机应用	
6	市海洋预告警报制作发布平台	市海洋环境监测中心（市海洋预报台）
7	市局地性生物暴发预报模型	

### 1. 市自主可控温盐流数值预报模型

#### 1.1 模型概述

基于我国自主发展的国产海洋模型，建立适用于市级海洋预报机构的海洋温盐流数值预报模型

。系统使用数据同化技术对卫星遥感、现场观测等资料进行同化，为模型构建高精度初始场，采用支持非正交结构网格的海洋动力学数值模型，基于海域高分辨率水深和岸线构建由东海向海域分辨率逐步提高的计算网格，基于海洋原始方程组，同时考虑正压和斜压过程，结合多源观测资料的同化，实现海域二维水位和三维海流、海温、盐度的短期数值预报，为市海洋预警预报提供基础预报数据，并为生态灾害预测分析、搜救溢油预测等提供动力学背景场数据。支持 CPU 和 GPU 异构计算，具备轻量化特点，适合在市级海洋预报机构部署应用。

## 1.2 模型功能

市自主可控温盐流数值预报模型实现海域水位、温度、盐度和海流的业务化短期数值预报，预报时效不少于 120 小时，使我市新增温盐流数值预报能力，并可为生态灾害预测分析、搜救溢油预测等提供动力学背景场数据，主要实现功能：

海洋环流观测资料处理，形成精细化的温盐水位等观测数据集，为系统的研发和运行提供数据支撑。

使用数据同化技术对自主卫星遥感、现场观测等在内的多源资料进行实时同化，有效提高温盐流数值预报的准确度。

建立自主可控温盐流数值预报模式，实现温、盐、流（包括潮汐潮流）等要素的业务化短期数值预报。

开展预报结果检验评估，生成海温、海流、海表面高度等要素预报结果检验报告。

预报产品可视化，实现预报结果以一维和二维可视化形式展示，以及预报检验结果的图形化展示。

支持 CPU 和 GPU 异构计算，实现模式计算加速。

## 1.3 功能模块

### 1.3.1 海洋环流观测资料处理模块组

#### (1) 海温卫星资料解析质控模块

对海洋温度、盐度类卫星遥感观测资料进行接收、解码、归类，得到较为规范的观测数据集，为观测数据进一步质控提供基础。对规范后的卫星遥感观测资料进行质量控制，得到较为规范的观测数据集，为观测同化数据的形成提供基础。

#### **(2) 卫星高度计资料解析质控模块**

对海表面高度卫星遥感观测资料进行接收、解码、归类，得到较为规范的观测数据集，为观测数据进一步质控提供基础。对海表面高度类卫星遥感观测资料进行质量控制，得到较为规范的观测数据集，为观测同化数据的形成提供基础。

#### **(3) 浮标资料解析质控模块**

对海洋 ARGO 等浮标类观测资料进行接收、解码、归类，得到较为规范的预报海域观测数据集。

#### **(4) 海洋观测数据接收处理模块**

通过数据传输系统接收水文气象站观测数据、大气垂直结构观测数据。收集预报海域的 GTS 数据，并对浮标、海洋站数据进行解码。通过质量控制算法和编码处理，对浮标、海洋站数据、船测观测资料、温盐剖面资料等进行质量控制，根据不同观测类型，进行气候态阈值、时空一致性等筛选，构建观测数据集。

### **1.3.2 地形、海洋遥感数据处理模块组**

#### **(1) 遥感数据处理模块**

充分利用 HY-2 系列、HY-1 系列、CFOSAT 等国产卫星数据，和基于上述卫星制作的海温、海面风和有效波高等多要素产品，通过数据扫描、下载实现数据搜集，基于数据解压、文件名解译和格式转换，进行数据完整性、可靠性及可用性检查，对数据质量进行评估，剔除质量较差的数据，通过可定制化生成指定的区域、投影变换、合成方案等流程操作实现遥感图像的基本处理功能。

#### **(2) 海岸线遥感监测处理模块**

基于电子海图数据，通过格式转化、区域拼接、拓扑检查等标准处理，形成海岸线最新年度的分析数据，建立海岸线类型数据集。利用国产高分辨率遥感数据，通过数据配准、图像增强、对锐化增强后的图像进行岸线的自动提取，获取海岸线。

### **1.3.3 模式网格和计算初始化模块组**

#### **(1) 动力场初始化模块**

从全球海洋预报结果中提取预报区域温盐流海洋格点信息，利用数据同化技术，将实时卫星遥感和观测资料与预报结果相融合，开发高精度海洋温盐初始场。利用三维动力平衡关系，从温盐高度分析场中接收数据，开发高精度海洋流场初始场。

#### **(2) 初边场快速重构模块**

建立全球数据网格与高分辨率近海自主预报系统网格之间的映射关系，实现全球数据向区域数据的快速转换。

#### **(3) 模式网格初始化模块**

基于立方体映射或非结构网格迭代法生成海洋模式计算网格，并计算出网格相关信息。

#### **(4) 地形初始化模块**

基于公开高分辨率海底测绘数据和其它系统获取的海底地形测绘数据，结合海岸线轮廓数据建立平滑连续的海洋模式地形分布场。

### **1.3.4 海气界面动量和淡水通量模块组**

#### **(1) 海气交互表面拖曳系数计算模块**

以块体公式为基础，充分考虑海气界面大气边界层和海洋上边界层小尺度湍流运动的特征，进一步考虑海浪、朗缪尔环流对海气通量交换的影响，建立适用于目标地区的风对海表面水体动量拖曳系数。

#### **(2) 海气交互盐通量计算模块**

利用海表面蒸发降水数据，利用自然边界条件法计算气海之间的盐度通量。

#### **(3) 海气交互界面压力场计算模块**

利用海表面大气压力，海洋动力模型，海表面高度信息，计算海表面压力场及其对海表面高度的影响。

#### **(4)海气界面淡水通量计算模块**

海气界面淡水通量计算模块，根据大气降水种类，综合计算淡水通量。

### **1.3.5 海气界面辐射通量模块组**

#### **(1)海气界面短波辐射计算模块**

海气界面短波辐射计算模块，建立短波辐射计算模块，根据海洋条件，计算海气界面短波辐射传输。

#### **(2)海气界面长波辐射计算模块**

海气界面长波辐射计算模块，考虑大气、海洋的影响，建立长波辐射计算模块，根据大气、海洋等条件，计算海气界面长波辐射传输。

#### **(3)海气界面感热通量计算模块**

海气界面感热通量计算模块，考虑大气、海洋的影响，建立感热计算模块，根据大气、海洋等条件，计算海气界面感热通量。

#### **(4)海气界面潜热通量计算模块**

海气界面感热通量计算模块，考虑大气、海洋的影响，建立潜热计算模块，根据大气、海洋等湿度条件，计算海气界面潜热通量。

#### **(5)海气交互短波穿透计算模块**

利用海洋上层光学厚度信息，建立适用于中高纬地区的短波穿透海水分层吸收关系。

### **1.3.6 海水状态及动力要素计算模块组**

#### **(1)海洋分量模式模块**

基于我国自主的海洋模式，处理海底地形，构建高分辨率水平和垂直网格，开展参数化方案选取比较试验，优化模式参数。

#### **(2)质量守恒海流动力协调模块**

基于质量/压力坐标，以质量守恒动力框架为核心，能够满足质量守恒要求的海流动力过程计算模块。模块从原始方程出发，采用完全满足质量能量守恒的三维平流方案、次网格参数化方案、正斜压动力耦合计算方案和辐射开边界方案计算自由海洋的流动特性和水团演变特征，以及水体物质及能量交换。该模块采用 GPU 并行加速，支持 GPU 计算加速设备。

### **(3) 海流动力涡度计算模块**

利用海洋动力场和网格距计算保持能量守恒的海水运动涡度特征。

### **(4) 垂向层结稳定性计算模块**

利用海洋温盐场计算指定模式层附近的海水垂直运动稳定性。

### **(5) 垂向剪切稳定性计算模块**

利用海洋动力场计算指定模式层附近的海水剪切稳定性。

### **(6) 海水现场密度计算模块**

利用海洋温盐压力场和 TEOS-10 方案计算海水现场密度。

### **(7) 海陆效应模块**

利用模式全流场和海陆边界设置，计算侧向摩擦对海洋流场的削弱作用。

## **1.3.7 模式动力框架模块组**

### **(1) 正压动力过程求解模块**

质量守恒动力框架精确求解温盐导致的密度正压变化和水柱厚度变化。采用正斜压分离方法，在压力坐标下分离出模式环流场中运动速度较快的正压流和正压场，以简化的二维浅水方程为原型，用较小的时间步长计算海洋动力过程中重力外波的传输和生消过程。利用有限体积法原理和 C 网格式变量分布计算正压输运过程对海水质量分布的影响。

### **(2) 正斜压耦合模块**

利用模式全流场和积分过程中的动量趋势项信息计算出斜压过程慢变化的垂直平均，作用于正压积分过程。将正压流场与斜压流场相加得出模式全流场。

### (3) 大气压效应过滤模块

利用单独运行的仅有大气压作用的模式输出结果,制作可用于模式初始化同化模块的无大气压模式全流场和海表面高度场。

#### **(4)垂直速度求解模块**

利用模式水平流场、海表面高度和连续方程,诊断出海洋模式网格点上下界面的垂直运动速度。

#### **(5)斜压动力过程求解模块**

分离出模式环流场中运动速度较慢的斜压流和斜压场,用较长的时间步长计算海洋环流中密度对斜压场的影响。整合地转效应,海陆摩擦效应,海表面风应力,涡度非线性项对三维流场的影响。耦合模式中斜压相互作用量,循环更新海洋全流场。

### **1.3.8 模式参数化方案模块组**

#### **(1)海流动力侧向湍摩擦系数计算模块**

利用海洋动力场和网格距计算表征海流侧向次网格湍流摩擦效应的参数。

#### **(2)海流动力侧向湍摩擦效应计算模块**

利用海洋动力场和侧向湍摩擦系数计算湍流对海洋动力场的摩擦混合效应。

#### **(3)垂向湍流混合效应计算模块**

利用海洋动力场和垂向湍摩擦系数计算湍流对海洋动力场在垂直方向上的摩擦混合效应。

#### **(4)浪致湍流计算模块**

利用大气分量模式提供的海洋表面风场和海洋层结场计算波致破碎引起的湍动能输入。

#### **(5)郎缪尔环流湍效应计算模块**

利用大气分量模式提供的海洋表面风场和海洋层结场计算郎缪尔环流等拟序结构引起的湍动能输入。

#### **(6)湍动能垂向输运计算模块**

利用相关模块计算出的环境层结和湍动能生成数据计算出湍动能在海洋中的垂向

传输过程。

### **(7) 垂向湍流混合系数计算模块**

基于二阶湍流封闭理论和质量坐标，构建湍动能传输方程和湍动能耗散传输方程，根据海洋层结和外部湍动能输入作为湍动能的源汇和传输过程中的约束条件，计算出湍动能强度垂直分布，最终参数化出垂向湍流混合系数，用于量化次网格运动对平均运动的影响。

### **(8) 底摩擦效应模块**

利用模式全流场和底边界设置，计算底摩擦对海洋流场的削弱作用。

## **1.3.9 并行计算模块组**

### **(1) 异构初始化模块**

根据 CPU 进程数量和 GPU 卡数量，建立 CPU 计算进程和 GPU 卡映射关系，完成 GPU 初始化工作，为后续异构计算奠定基础。

### **(2) 并行剖分模块**

根据模式网格间邻接关系，构建每个网格的通信数量和权重，结合并行剖分的数量，利用多层次图分区等方法进行网格剖分，保证每个分区的网格数量基本一致，同时网格间通信总权重尽可能最少，实现分区间计算负载均衡和通信最优化。

### **(3) 并行初始化模块**

根据网格并行剖分结果，对模式变量维度进行调整，对模式变量的索引进行重新编号，维护数据访问的连续性，保证串并行的结果一致性。

### **(4) 通信模型构建模块**

根据网格邻接关系和网格剖分结果，构建虚拟图拓扑通信模型，为进程间数据通信奠定基础。

### **(5) 通信交换模块**

根据虚拟图拓扑通信模型，实现模式变量数据交换，保证数据交换结果准确性，提高数据通信效率。

根据发送网格变量，创建变量发送缓冲区，将发送的数据依次存放于该缓冲区。调用图虚拟拓扑通信接口，将发送缓冲区数据进行发送，并接收其他进程发送的数据，并将该数据按照进程编号顺序依次存入接收缓冲区中。最后，依次重复上述两个步骤，直到完成所有变量通信。

### **1.3.10 潮汐潮流数值计算模块组**

#### **(1) 谐振潮潮位振幅计算模块**

谐振潮潮位振幅计算模块是开边界场潮位信号的重要计算模块。利用潮汐调和方程和开边界十二个分潮调和常数输入计算边界处正压潮潮位振幅信息，耦合模式动力模块在模式中激发出谐振潮波潮位的振幅信息。谐振潮波潮位的振幅信息可用于模式开边界正压潮位计算。

#### **(2) 谐振潮潮位迟角计算模块**

谐振潮潮位迟角计算模块是开边界场潮位信号的重要计算模块。利用潮汐调和方程和开边界十二个分潮调和常数输入计算边界处正压潮位迟角振幅信息，耦合模式动力模块在模式中激发出谐振潮波潮位的振幅信息。谐振潮波潮位的迟角信息可用于模式开边界正压潮位计算。

#### **(3) 谐振潮潮流振幅计算模块**

谐振潮潮流振幅计算模块是开边界场潮流信号的重要计算模块。利用潮流调和方程和开边界十二个分潮调和常数输入计算边界处正压潮潮流振幅信息，耦合模式动力模块在模式中激发出谐振潮波潮流的振幅信息。谐振潮波潮流的振幅信息可用于模式开边界正压潮流计算。

#### **(4) 谐振潮潮位交点潮参数计算模块**

谐振潮潮位交点潮参数计算模块是开边界场潮位信号修正的重要计算模块。利用潮汐调和方程和开边界十二个分潮调和常数输入计算边界处正压潮潮位信息，耦合模式动力模块在模式中激发出谐振潮波潮位的信息。以儒略历时间系数为参数，计算出潮位交点潮修正系数，提高各分潮正压潮位参量的计算精度。

## (5) 谐振潮流交点潮参数计算模块

谐振潮潮流交点潮参数计算模块是开边界场潮流信号修正的重要计算模块。利用潮汐调和方程和开边界十二个分潮调和常数输入计算边界处正压潮潮流信息，耦合模式动力模块在模式中激发出谐振潮波潮流的信息。以儒略历时间系数为参数，计算出潮流交点潮修正系数，提高各分潮正压潮流参量的计算精度。

#### **(6) 平衡潮潮位计算模块**

平衡潮潮位计算模块是开边界场潮位信号的重要计算模块。利用潮汐调和方程和开边界十二个分潮调和常数输入计算边界处平衡潮潮位信息，耦合模式动力模块在模式中激发出谐振潮波潮位的信息。

### **1.3.11 海洋环流模式诊断输出模块组**

#### **(1) 模式 I/O 输入模块**

实现主进程读取初始场文件，根据网格剖分结果，将读取的数据分发给所有计算进程，保证数据分发的准确性，提高数据通信和 I/O 输入的效率。

#### **(2) 模式 I/O 输出模块**

收集每个进程上的数据，根据全局编号顺序进行数据调整，通过并行 I/O 的方式输出到同一 NETCDF 文件中，保证串并行数据输出结果的一致性，提高 I/O 输出的效率。

#### **(3) 模式异构通信模块**

实现将 GPU 卡的计算结果传递到 CPU 进程上，再通过 CPU 进程间 MPI 通信完成数据交换，后将交换后的数据传递到 GPU 卡上，从而完成整个异构通信流程，保证数据通信结果的准确性和高效率。

#### **(4) 模式异构 I/O 输入模块**

实现 CPU 主进程读取初始场文件，根据网格剖分结果，将读取的数据分发给所有 CPU 计算进程，再将 CPU 计算进程数据传输到对应的 GPU 卡上，在保证数据分发的准确性，提高数据通信和 I/O 输入的效率。

#### **(5) 模式异构 I/O 输出模块**

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/038012125027006120>