

“高性能计算”重点专项 2022年度项目申报指南建议 (征求意见稿)

1. 机器

1.1 面向五千万核以上高性能计算机的统一并行编程模型与并行编译（基础前沿类）

研究内容：本任务面向五千万核以上高性能计算机，研究统一并行编程模型、并行编译和运行时环境，缓解用户编程墙瓶颈，提高不同异构高性能计算机间的程序可移植性，有效解决大规模并行应用的性能瓶颈。主要研究：面向应用领域特征抽象的高层并行编程模型，实现架构无关的高层并行扩展表达，简化上层用户并行编程逻辑；面向系统架构特征抽象的统一中间语言，提取高性能计算机系统高并行度和异构性的复杂特征，可对系统的计算、通信和存储等特性进行中间语言描述；高层编程模型至中间语言和底层异构硬件的多层次编译映射体系，可生成不同架构硬件自适应的编译优化代码，实现高层应用特征与底层架构特征的深度匹配优化；支持细粒度亲和性分析判别，支持异构硬件拓扑感知的分布式任务调度模型和动态优化映射，实现大规模复杂并行应用在异构高性能计算机上的高效运行。

考核指标：建立面向国产高性能计算机的统一并行编程模型、编程语言、并行编译系统和运行调度框架，支持 3 种架构的国产处理器；主要功能包括实现体系结构无关的统一的 用户层语言扩展和中间层语言表达，支持系统的计算、存储、通信等特征描述（对标国际主流类似软件），支持 3 种不同类型国产高性能计算机上的编程模型，并针对不同体系结构的特征增加提高数千万计算核心并行计算效率的功能点；并行编译系统和运行调度框架部署到 3 台最高水平的国产高性能计算机上，并可扩展至五千万核以上国产高性能计算机；完成不少于 3 个数千万计算核心的示范应用，并行执行性能达到本地编译系统性能的 80% 以上；采用多层次感知的编译优化和运行时调度技术，并行程序性能提升 20% 以上。

1.2 面向五千万核以上高性能计算机的混合精度编程环境、自动分析技术与并行算法研究（基础前沿类）

研究内容：本任务围绕编程环境与新型并行算法关键技术开展研究，缓解科学与工程计算中为保证高分辨率和高精度通常采用的高精度字长计算方法导致的数据存储量大、计算效率低和功耗大等问题，研制建立面向五千万核以上国产高性能计算机的混合精度编程环境，支持超大规模并行和混合精度计算，促进各类数值模拟应用能够提高计算性能并有效降低计算成本。主要研究：研究高效的混合精度语言扩展描述和编程框架，支持变量、函数的多精度语言扩展和误差

容忍描述机制，支持混合精度类型的弹性描述；研发混合精度数学库，提供异构系统运行时调度混合精度求解加速库供混合精度程序优化，能够方便地进行混合精度编程；根据混合精度的描述机制，结合国产高性能计算机的体系结构特征，研究混合精度计算的编译优化技术，支持针对精度转换和误差修正的代码插桩指令变换，研究针对混合精度线性代数计算的并行优化方法，生成高效的目标代码；研究混合精度自动分析工具，支持基本块级、函数级的多级误差自动定位与分析，支持弹性的精度分析和控制，能够对应用程序的不同精度需求进行分析控制，提升精度分配方案的搜索效率；围绕典型科学和工程计算应用，研究混合精度新型并行算法，对数值计算问题的混合精度误差进行量化分析，建立面向科学计算应用的精度误差预测和控制方法。

考核指标：建立面向国产高性能计算机的混合精度编程环境，包括支持混合精度的语言扩展和编程框架、编译系统及混合精度求解加速库，在最高水平的国产高性能计算机上完成部署，并可扩展至五千万核以上国产高性能计算机；使用混合精度编程环境，完成至少 3 个科学与工程计算典型应用，在达到同等精度前提下，混合精度的性能达到直接用底层手工实现的 80% 以上；提供误差分析和精度控制工具，对于不少于 10 种典型数值核心算法，混合精度自动分析工具得到的变量精度分配方案准确率达到数值应用专家手工分

析方案的 80%；混合精度求解加速库的功能点覆盖目前国内
外研究热点（对标国际主流类似软件），提供混合精度计算
的数据类型转化、通信方法和压缩算法，对库函数求解问题
的条件数给出估计，对库函数的误差界限能够给出量化分析；
使用混合精度编程环境和混合精度新型并行算法，完成至少
3 个数千万计算核心的科学和工程计算示范应用，在满足原
非混合精度算法精度前提下，同等规模下计算性能比非混合
精度版本提升 30%。

1.3 面向五千万核以上高性能计算机的共性算法库（基 础前沿类）

研究内容：本任务围绕体系结构紧耦合的共性并行算法、
面向领域应用的核心求解方法、智能并行训练算法和高效前
后处理方法开展研究，建立与 3 种不同体系结构的五千万核
以上高性能计算机相适应的高效并行算法库，切实解决国产
高性能计算机上大型复杂实际应用系统快速开发和深度优
化的难题。主要研究：抽取偏微分方程求解过程中的共性数
值算法，研究全耦合并行求解算法，设计通用偏微分方程数
值离散求解组件，支持大型稀疏线性系统的迭代求解和直接
求解，构建稀疏线性系统迭代求解和直接求解的并行算法库；
研究与体系结构紧耦合的稠密线性代数求解并行算法，支持
稠密线性系统、最小二乘和特征值问题的求解，支持矩阵分
解和高效通信方法，构建高性能基础线性计算库和稠密线性

代数求解并行算法库；研究超大规模人工神经网络模型的混合专家策略、多维度混合并行算法和逐层自适应学习率深度学习优化方法，实现高效参数通信优化策略、自适应模型参数切分、低精度量化训练和负载均衡策略，构建人工智能训练并行算法库；研究适应于科学与工程计算领域应用的高精度求解的大规模并行前后处理和人工智能加速计算方法，构建科学与工程计算应用软件的高效前后处理工具箱，具备面向高性能计算的并行前处理计算及并行后处理可视分析能力。

考核指标：完成面向五千万核以上高性能计算机的共性并行算法库研制，提供体系结构紧耦合的稀疏矩阵迭代法并行算法库和稀疏矩阵直接法并行算法库（对标国际主流类似软件）、稠密矩阵线性代数并行算法库和基础线性计算库（对标国际主流类似软件）、人工智能训练并行算法库（对标国际主流类似软件）和高效前后处理工具箱（对标国际主流类似软件），在至少 2 台最高水平的国产高性能计算机上完成部署，并可扩展至五千万核以上国产高性能计算机；完成至少 10 个数千万核的大规模科学与工程和智能计算框架与应用调用的示范应用，并行效率不低于 30%；相对于标量计算，典型稀疏矩阵核心计算模块的向量化可获得 50% 以上的性能提升，稀疏矩阵向量乘的计算性能达到访存带宽峰值性能的 60% 以上，稠密矩阵乘可发挥单节点双精度浮点性能的

80%以上；支持数据并行、模型并行等人工智能训练的多种并行计算模式，完成百万亿以上参数的超大规模预训练模型的高效训练的示范应用，千万核以上并行效率不低于 30%；完成针对 10 万计算结点的百亿网格并行生成和剖分，实现 10TB 量级科学计算数据交互式可视化。

1.4 面向五千万核以上高性能计算机的性能分析和调试调优软件工具（基础前沿类）

研究内容：本任务面向五千万核以上高性能计算机，研发性能分析和调试调优软件，支持大型应用软件在国产五千万核以上高性能计算机系统上调试与调优，支持复杂应用跨平台快速部署、调试和性能优化，提高国产超算系统的好用性、易用性和应用可获得性能。主要研究：基于国产高性能处理器的轻量级性能监测技术，完善面向自主处理器的调试调优软件生态，研制多层次性能监测和采集框架；面向五千万核以上高性能计算机的轻量级性能分析方法，研制面向大规模并行程序的内存分析、通信分析、噪音检测、低效行为检测、可扩展性瓶颈检测工具；基于国产高性能处理器的编译器自动调优技术，提高应用性能；面向五千万核以上高性能计算机程序的轻量级调试方法，突破传统插桩、截取等信息采集方法的非侵入式调试技术，研制面向大规模并行程序的挂起检测、函数调用栈分析、错误定位工具；面向五千万核以上高性能计算机程序 I/O 分析诊断方法，构建在线轻量

级 I/O 性能诊断工具、I/O 性能预测工具和轻量级通信性能分析诊断工具；大规模并行程序的自动性能建模方法、系统级自动调优技术以及调试调优过程可视化技术，提供大规模并行程序的性能瓶颈自动定位与性能优化建议工具。

考核指标：形成一套适用于五千万核以上国产高性能计算机的大规模应用性能分析和调试调优软件工具集，具备自动性能建模、系统级自动调优以及调试调优过程可视化能力，在至少 2 种不同体系结构的最高水平国产计算机上完成部署，并可扩展至五千万核以上国产高性能计算机，取得 20 家用户的试用证明，用户满意率不低于 90%；常用功能点包括故障定位、热点分析、内存分析、通信分析、性能轨迹分析和可扩展性瓶检测等（对标国际主流类似软件），并且具备面向国产高性能计算机的大规模并行程序噪音检测、低效行为检测和性能抖动识别等新增能力；实现千万核以上规模应用的性能分析，能够识别并行程序性能瓶颈并提出有效的优化建议，根据分析工具提出的建议进行优化后的性能达到用户手工优化方法的 90%；实现千万核以上规模应用并行运行失效问题的快速定位分析，分析时间小于 5 分钟；提供千万核以上规模应用的 I/O 分析与诊断工具，对存储资源分配提供有效优化建议，实现 5 个以上行业示范应用且 I/O 性能提高不少于 20%；实现一套面向国产高性能计算机的性能自动调优系统，5 个以上典型并行应用程序性能提升不低于 5%。

1.5 面向五千万核以上高性能计算机的应用支撑环境和开发框架（基础前沿类）

研究内容：本任务基于五千万核以上国产高性能计算机建立应用开发框架和支撑环境，研究实现大规模任务级编程框架、高效运行时系统、数据驱动模型和应用运行环境，支持多样化应用大规模任务的快速开发和高效运行，提升国产高性能计算机大规模应用的整体开发效率、运行性能、可移植性和产出率。主要研究：面向国产大规模超算系统，围绕任务级并行编程框架、多样化任务的抽象表达、复杂任务自动分解和并行处理等共性问题，研究高性能计算应用的任务级并行开发框架，研究面向领域应用的任务级并行编程方法，支持在线开发环境构建，支持多体系结构的超算系统可移植运行，提升应用的开发效率；研究任务级并行开发框架的运行时时系统，充分挖掘国产超算系统的异构和分布式特点，建立高效可扩展的全局任务映射模型、负载均衡策略、资源分配和调度机制，并结合领域应用的任务特性，构建大规模并行任务执行流程和高效同步机制，提升应用的运行效率；研究基于超算系统分布式层次化存储架构的大规模应用任务并行化数据驱动模型，建立任务和数据的高效映射，驱动大规模计算任务和访问一体化高效并行执行，提升应用的数据处理能力；面向国产高性能计算应用，构建领域应用算法库、软件包集成管理工具，研究多样化编译、配置、安装、

部署方法，提升大规模领域应用的配置和管理效率；研究应用运行环境自动化构建技术，探索模板化定制应用运行依赖的软件栈、函数库和算法库，跨平台参数化配置应用运行所需的计算、通信和 I/O 等资源，简化高性能计算使用环境，提高系统的应用产出率。

考核指标：研制一套支持最高水平国产高性能计算平台的大规模领域应用任务级并行开发和运行框架，支撑高性能计算、大数据和人工智能的典型应用开发与运行，完成在 3 种体系结构的最高水平国产高性能计算机上的部署，并可扩展至五千万核以上国产高性能计算机，用户单位/课题组数 50 个以上；功能点对标国际主流类似软件；实现任务级并行开发框架的运行时系统和并行化数据驱动模型，驱动应用任务和数据一体化并行执行，支撑不少于 3 类领域应用开发，完成至少 5 项计算规模不低于 3000 万计算核心的领域示范应用，以百万核为基准，并行规模扩展 10 倍时并行效率不低于 30%；研制面向领域应用的软件包和运行环境管理工具集，研发集成领域算法库、系统级开发模块、编译调试工具等软件包和工具集 50 个以上，用户构建应用运行环境时间减少 30%以上。

1.6 面向五千万核以上高性能计算机的数值计算误差分析（青年科学家项目）

研究内容：针对关键领域的数值计算应用，面向数值计

算准确性问题，开展计算准确性评估与提升研究。在不同模拟尺度下，测量并分析数值计算结果的准确性，给出合理的评估模型以及提升数值计算结果准确性的可行性方案。

考核指标：针对 3 类关键领域的代表性计算问题，给出典型场景下数值计算允许的误差边界；适配从单核到千万核级计算规模，在最高水平国产高性能计算机上测试通过，并能扩展至五千万核以上高性能计算机。

1.7 面向五千万核以上高性能计算机的操作系统关键技术（青年科学家项目）

研究内容：研究操作系统的底层组件，突破现有操作系统在超大规模计算中的性能瓶颈，提升运行时系统的可扩展性，支撑五千万核以上高性能计算机应用。

考核指标：要求在最高水平高性能计算机上完成部署，并可扩展至五千万核以上国产高性能计算机，适配不少于 10 个数千万核级示范性应用，相比原有操作系统性能提升 10% 以上。

1.8 面向五千万核以上高性能计算机的数据划分方法和技术（青年科学家项目）

研究内容：研究面向数千万核国产高性能计算机系统的自动数据划分软件，建立基于整机架构和领域应用特点的数据自动划分的理论方法，实现动静结合的混合划分模式，兼顾通信、访存和同步等性能因素，构建高效可扩展的数据与

计算资源的映射关系，提升整机应用的开发和运行效率。

考核指标：在 3 台最高水平国产高性能计算机上部署，并可扩展至五千万核以上国产高性能计算机，支撑不少于 2 类领域应用开发，完成至少 2 项计算规模不低于 3000 万计算核心的领域示范应用，相比国际主流同类软件并行效率提高 2 倍以上。

1.9 面向五千万核以上高性能计算机的性能波动测量与分析（青年科学家项目）

研究内容：针对性能异常及性能波动，进行测试方法和工具的研究。研制高精度测试工具，测量并定位超算中存在的硬件性能波动、操作系统噪音及潜在故障，量化分析性能波动对应用产生的性能影响。

考核指标：能检测性能异常和性能波动，量化性能问题对应用的影响，并定位性能波动来源；能实现千万核规模的检测分析；在至少 2 台最高水平国产高性能计算机上，对不少于 10 个代表性应用完成分析析。

2. 应用

2.1 面向五千万核以上高性能计算机的高分辨率气候系统模式软件（应用示范类）

研究内容：围绕气候预测在我国防灾减灾中的重大需求，研制中国区域亚公里级（小于 1km）高分辨率海-陆-气多圈层耦合区域气候模式，利用五千万核以上超算系统强大算力

提升气候预测精度，缩短预测时间，并开展面向极端事件和重大工程的精细化气候预测应用。主要研究：适合中国复杂地形和极端气候的亚公里级（小于 1km）高分辨率区域气候模式的时空分辨率最佳匹配方案，构建亚公里级（小于 1km）分辨率级别精细下垫面；在大气资料同化的基础上重点研究陆面资料初始化方案，形成高性能高分辨率区域气候模式的资料同化方法，以满足多尺度预测需求；解决中国区域 1km 高分辨率区域气候模式大气-陆地-海洋多圈层动态耦合技术，实现新一代耦合器在高分辨率区域模式中的应用；研究气候系统模式的高效并行 I/O 算法和混合精度算法，实现高分辨率区域模式在国产高性能计算机上的大规模并行计算；建立中国亚公里级（小于 1km）高分辨率区域气候模式和多物理配置集合精细化气候预测系统，开展亚公里级（小于 1km）分辨率精细化气候预测业务示范应用，提升对极端气候事件的预测能力。

考核指标：研发高分辨率全球模式驱动的中国区域亚公里级（小于 1km）高分辨率海-陆-气耦合区域气候模式和气候预测系统，对标国际同类系统，功能和预测精度相当且性能超越，在最高水平国产高性能计算机上实现高分辨率气候模式数千万核级并行计算，并可扩展至五千万核以上高性能计算机，并对外开放使用；以百万核为基准，并行规模扩展 10 倍时并行效率不低于 30%；混合精度版本的模拟结果满足

工程精度要求，性能提升超过 10%；基于高分辨率耦合区域气候模式的中国区域多物理配置集合气候预测系统，千万核以上规模下，可在 24 小时内完成全国亚公里级（小于 1km）分辨率、20~30 个集合成员，未来 6 个月的气候预测；软件在行业/领域取得实际应用，渗透率不低于 10%，并为不少于 5 家重要单位/机构提供气候预测服务，取得有影响力的研究/应用成果。

2.2 面向五千万核以上高性能计算机的量子电路模拟软件系统（应用示范类）

研究内容：围绕量子计算机的研发、保真度验算及性能分析需求，研发面向国产五千万核以上高性能计算机的量子模拟器和量子计算云平台，为量子计算机设计、量子容错机制等提供对比验证平台，并为量子计算领域研究人员提供研究平台。主要研究：面向大规模量子电路模拟的张量网络路径搜索优化方法和高效张量网络模拟方法，有效降低量子计算模拟复杂度，满足 1000 量子比特以上规模量子算法设计和量子计算机验证的计算需求；带噪声量子电路模型的高效张量网络模拟方法，实现 1000 量子比特以上规模的带噪声量子线路模拟，有效支持基于中等规模带噪声量子计算机进行容错量子计算的高效仿真；研究面向五千万核以上高性能计算机体系结构的量子电路模拟极大规模多级并行算法、众核并行优化方法和自动混合精度算法，支持超大规模并行和

混合精度模拟。

考核指标：研发基于国产高性能计算机的量子模拟器软件，部署于最高水平国产高性能计算机系统，对外开放使用，并可扩展至五千万核以上高性能计算机；软件支持 100~1000 量子比特规模的量子应用开发和带噪声低深度的量子线路模拟，实现并行规模 4000 万核以上且并行效率不低于 80%；实现国际主流量子电路的一百万无关构型采样的模拟，保真度高于实际量子电路，模拟时间小于 10 小时；实现不少于 2 种噪声模型，为国产量子计算机硬件设计提供依据；构建基于国产高性能计算机系统的量子计算云平台，培育不少于 2 个量子优势应用，协助 5 个以上国产量子计算机完成软硬件协同设计。

2.3 面向五千万核以上高性能计算机的电磁计算软件（应用示范类）

研究内容：围绕重大工业装备对高精度、大规模和高效率电磁仿真技术的迫切需求，开展频域、时域全波电磁算法的高可扩展并行策略研究，突破大型稠密与稀疏电磁矩阵方程直接求解、负载均衡控制、数据高效通信、异构加速等高性能电磁计算中的共性关键技术，构建涵盖高/低阶矩量法、有限元法、时域间断伽略金法等并行全波电磁算法体系，研制适配国产高性能计算机的大规模并行电磁仿真软件，实现带罩阵列天线辐射、载体平台天线布局、复杂微波器件网络

参数等的高精度电磁模拟，显著提升飞行器等重大装备的电磁设计能力。

考核指标：研制面向五千万核以上高性能计算机的大规模并行电磁仿真软件，部署于国产高性能计算机系统，并对外开放使用；软件功能与国际主流同类软件相当且性能超越，具有完善的前后处理功能，具备高阶矩量法、低阶矩量法、有限元、时域算法等不少于 5 种主流时域、频域并行全波电磁算法求解器，其中至少 2 种全波算法求解器在不少于 2 台最高水平国产高性能计算机上实现数千万核以上规模运行，并可扩展至五千万核以上高性能计算机系统全机运行；以百万核为基准，并行规模扩展 10 倍时的并行效率不低于 30%；软件在行业/领域取得实际应用，渗透率不低于 20%，或用户单位/课题组数量不少于 50 个，形成飞机、舰船等载体平台中的复杂阵列天线全波仿真等应用示范，在至少 2 个行业取得重要研究/应用成果。

2.4 高性能软件汇交与生态系统研制（应用示范类）

研究内容：本任务面向超算互联网，建立超算软件和服务的汇聚、评估、索引和社区服务平台（总称为生态平台），支持超算软件和服务的汇聚（入库和收集），支持软件和服务的能力度量和评估，支持用户查找、索引和应用，并发展在超算垂直领域的公共应用和可持续开源服务社区。主要研究：面向超算软件和服务的特征，研究可靠、高效的软件托

管机制（类似于代码托管平台 `github` 或 `gitee` 在超算这个垂直领域上的应用和延展），支持超算软件的有效汇聚；研究超算软件和服务的综合监管维度，支持对超算应用能力、用户使用情况及其领域分布的监控；研究超算软件和服务的质量度量框架和依赖供应链，支持质量评价和遴选机制，支持对知识产权相关问题和潜在风险（例如对国际开源软件的复用）的识别；研究并发展超算互联网的公共服务和治理体系，支持用户指标的跟踪和管理体系，支持可持续社区发展。

考核指标：研制一套可靠、高效的超算软件和服务的托管和汇聚机制，收集超算互联网部署的软件和服务，有效监控注册软件和服务的超算应用能力、用户使用情况及其领域分布，建立国内超算互联网的软件和服务托管平台及其名录，保证软件能够被快速获取，且随时可得、长期可得。研制超算软件和服务功能测试、质量评价、代码溯源与审计、用户评价等标准，建立 3 项超算行业标准和/或国家标准。围绕高性能专项重大应用建立公共服务平台和服务体系示范，建立对用户指标的跟踪和管理体系（包括下载量、使用量、用户案例等的跟踪，以及各种超算相关的应用数据的跟踪，例如重大超算应用的测试数据的托管和公共评估），发展开放社区（例如建立某个重大超算应用的论坛/问答系统，或者以其为牵引建立从开发者到用户的全生态链的跟踪和评估），吸纳用户参与，建立入库软件应用反馈和改进机制，建立可持

续运营机制。集成自主软件、开源软件、第三方应用软件 100 种以上，制定应用服务的交易策略，构建超算应用商城和服务供给系统，支撑 1 万以上用户在线使用。