

Earth System Numerical
Simulation Facility

EarthLab

地球系统数值模拟装置

怀柔科学城
中国·北京



扫码关注微信公众号



扫描二维码进入官网



01 总况

国家重大科技基础设施“地球系统数值模拟装置”（简称“寰”）是我国建成的首个具有自主知识产权、以地球系统各圈层数值模拟软件为核心的专用模拟装置，具备地球系统的模拟推演、气候-环境-生态的预测预报等多项能力，是引领我国地球系统科学研究水平步入国际前列的国之重器。“寰”的建设法人是中国科学院大气物理研究所，共建单位为清华大学，于2018年11月开工建设，2022年10月完成国家验收。



02 科学目标

- “寰”作为地球系统数值模拟的综合实验平台，科学目标包括：
- 深入认识地球环境复杂系统基本规律，探索地球系统大气圈、水圈、冰冻圈、生物圈、岩石圈的物理、化学、生物过程，探究各圈层及其相互作用对地球系统整体和我国区域环境的影响；
 - 融合模拟与观测数据以提高预测的准确性，实现对地球系统复杂过程在中尺度分辨率的定量描述与模拟，为国家防灾减灾、应对气候变化、大气环境治理等重大问题提供科学支撑；
 - 推动地球系统科学不同学科之间的学科交叉和融合，促进我国地球系统科学整体向国际一流水平跨越。



02 系统组成

“寰”采用软硬件协同设计，由国内地学、计算科学等领域的顶尖科研、业务单位和企业共同研制，实现了核心软硬件的国产化。“寰”的主体结构包括两个应用系统（地球系统模式数值模拟系统、区域高精度环境模拟系统）与三个支撑系统（超级模拟支撑与管理平台、支撑数据库和资料同化及可视化系统、面向地球科学的高性能计算系统）。

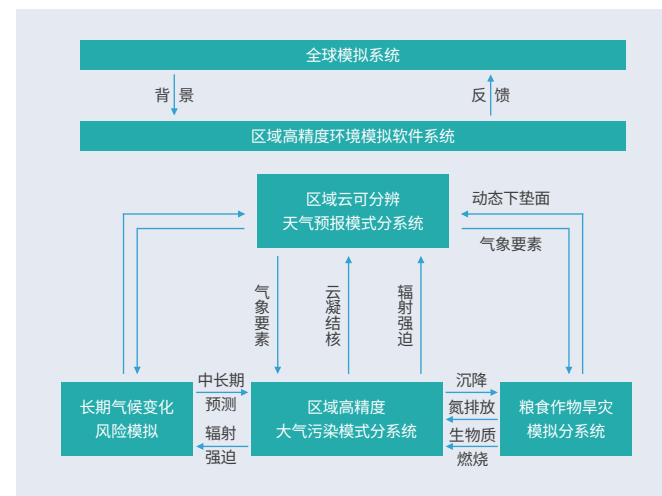
3.1 地球系统模式数值模拟系统

建成了我国首个具有自主知识产权的、‘完整’的地球系统模式 CAS-ESM2.0。CAS-ESM2.0采用模块化框架，主体由大气环流、海洋环流、海冰、陆面过程、植被动力学、气溶胶和大气化学、陆地生化和海洋生化等8个分系统模式组成。另外，还独立发展了大陆冰盖、日地空间环境、固体地球等分系统模式。CAS-ESM2.0大气环流和陆面过程模式水平分辨率最高为24公里，垂直方向69层，海洋环流模式水平分辨率最高达7.8公里，垂直方向55层，总计约400万行程序代码。CAS-ESM2.0参加了第六次国际耦合模式比较计划（CMIP6），对热带风场、ENSO等指标的模拟性能位于世界前列，模拟数据公开发布于CMIP6官方网站，并被联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次评估报告采用。



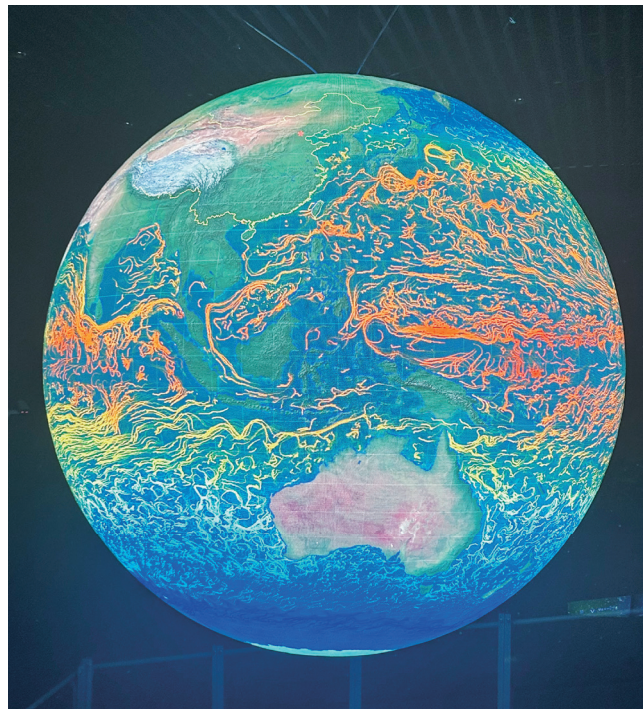
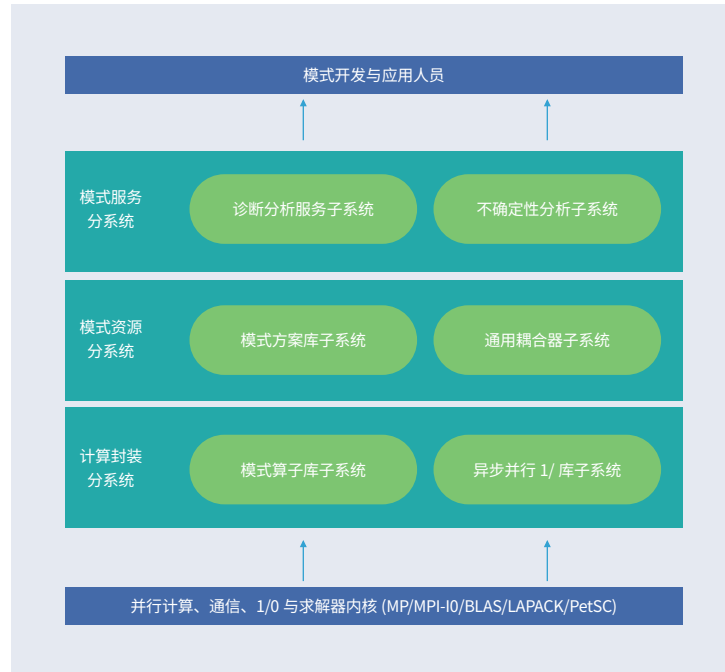
3.2 区域高精度环境模拟系统

针对我国及周边区域，建成了区域高精度环境模拟系统，实现了大气污染、农业旱灾、气候变化风险等关键环境要素的区域精细化模拟，水平分辨率为全国3公里、重点区域1公里，局地的细分率达50米。系统可用于暴雨、台风等高影响天气的模拟预报以及PM_{2.5}、臭氧等大气污染物的模拟、预报和溯源研究，亦可用于气候变化背景下东亚区域极端气候事件、森林生态系统、冰冻圈灾害等风险的预估和农业旱灾的遥感分析与作物生长模拟研究。



3.3 超级模拟支撑与管理系统

建成了我国首个支撑地球系统模式运行的管理软件，包括计算封装、模式资源和模式服务等分系统，研发了高效并行耦合器、算子库引入、异步并行 I/O（减少 I/O 时间 98.9%）、代理模式（降低模式运行次数 72%）、自动参数优化（减少参数寻优计算次数 88%）等技术，可灵活高效地支撑地球系统模式的设计、开发、调试验证、发布和应用的全流程科研活动。



3.4 支撑数据库和资料同化及可视化系统

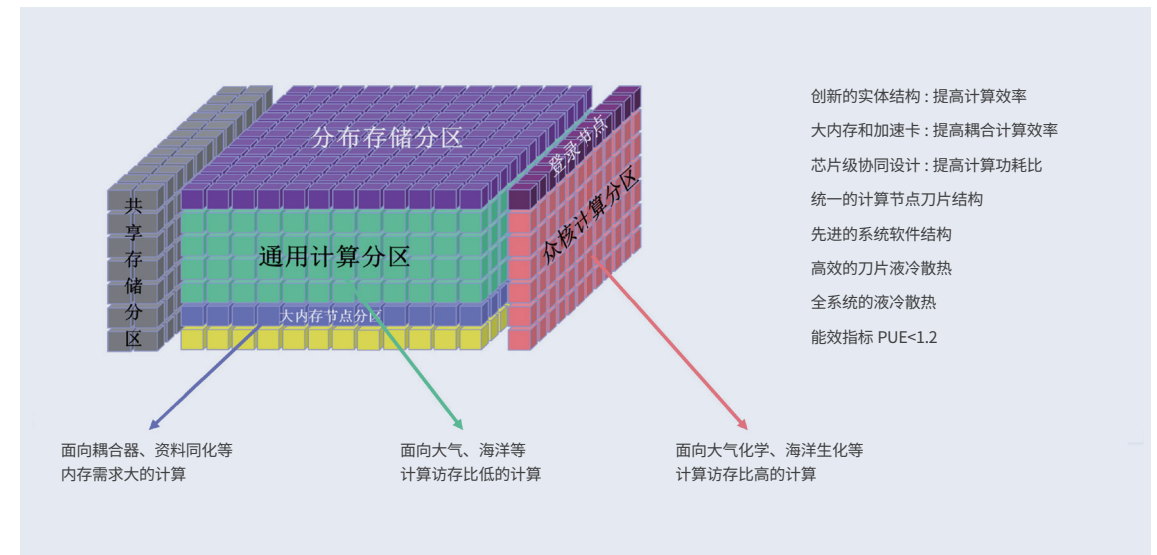
建成了我国首个支撑地球系统数值模拟的完整数据库，包括公共数据池和地球系统数值模拟数据共享发布门户网站。公共数据池面向中国科学院大气物理研究所和地球系统数值模拟装置提供公共数据服务，除提供常用的历史数据外，还将同步官网提供 GFS、GDAS、CFS、EC 等国际常用的公开预报产品和再分析产品。地球系统数值模拟数据共享发布门户网站 (<http://earthlab-data.iap.ac.cn/>) 面向全网，提供地球系统科学领域的成果数据发布和数据推广服务，包括全球与区域模拟数据、卫星遥感数据、再分析数据等。

研发了用于地球系统数值模拟大数据分析的可视化硬件平台，支持 6 种不同形态跨尺度显示系统的展示与协同交互，球形显示屏直径为 3 米，分辨率达到 583 万有效像素。

3.5 面向地球科学的高性能计算系统

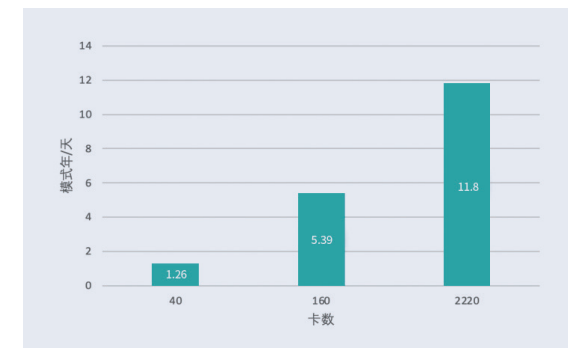
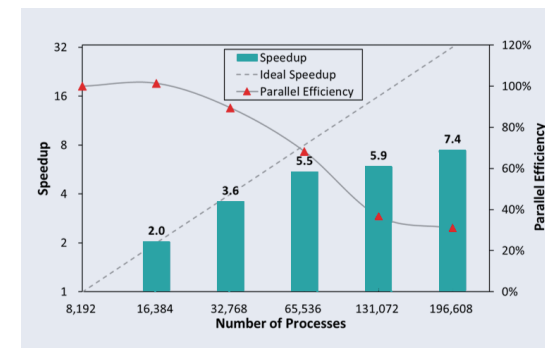
根据地球科学各类应用模式的需求特点，设计和配置硬件结构，使硬件配置架构和科学软件的需求特性相匹配，最大限度地发挥硬件的能力，并满足未来发展和系统升级的要求。

系统共有 3360 个计算节点，相互之间采用 HDR InfiniBand 高速网络连接，带宽 100Gbps，整机峰值计算能力达 15.9PFlops，存储总容量 126PB。



通过软硬件协同攻关，实现了 CAS-ESM2.0 在国产芯片上的高效稳定运行。高分辨率大气环流模式实现了 3200 节点，共 19.66 万 CPU 核的全机运行，计算速度为 7.4 模式年/天；

异构版本的高分辨率海洋模式实现了 1100DCU 节点，2200 张 DCU 卡的 DCU 节点全机运行，计算速度达 11.8 模式年/天。

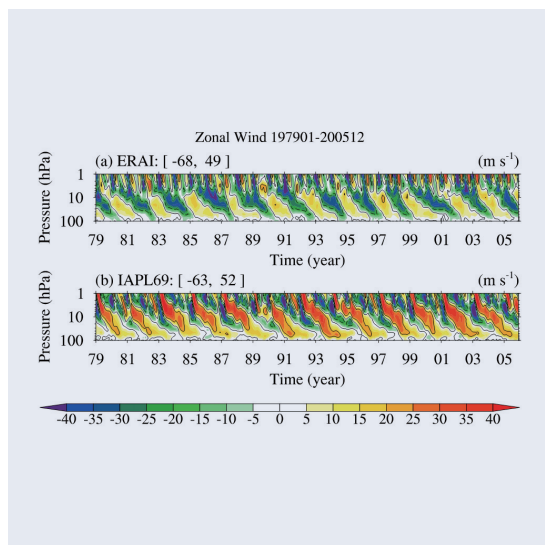
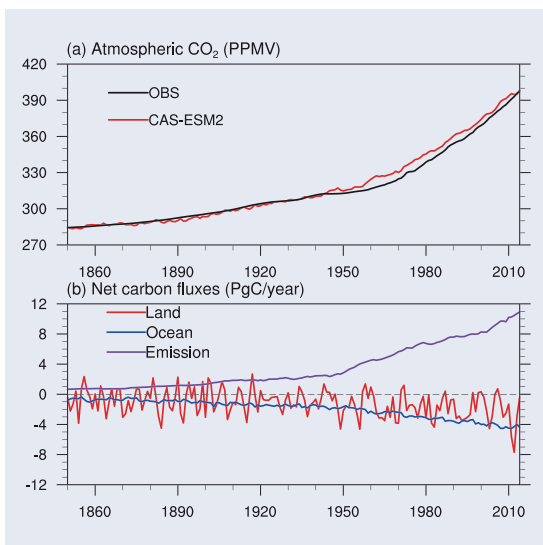


04 应用领域及代表性成果

4.1 全圈层耦合模拟

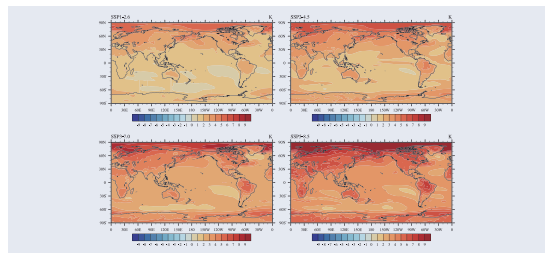
突破了海、陆碳循环与大气 CO₂ 的双向耦合难题，使得 CAS-ESM2.0 成为国际前 10% 实现全球碳循环 - 气候全耦合功能的地球系统模式，可准确再现大气 CO₂ 浓度的历史增加趋势和季节变化的空间分布。

通过提高模式顶高度、改进模式标准层结大气廓线以及重力波参数化方案，建成了国内首个包含完整对流层、平流层和中间层大气的中高层大气环流模式，模式顶达 80 km，可准确模拟平流层准两年振荡 (QBO) 及再现太阳潮汐的基本特征。

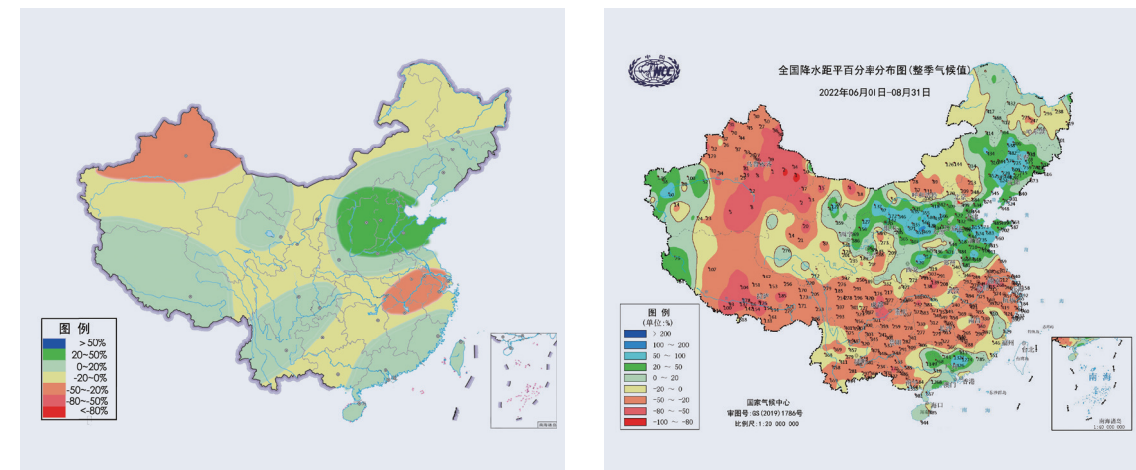


4.2 气候预测与预估

基于 CAS-ESM2.0，开展了不同排放情景下未来气候变化预估。在低排放、中低排放、中高排放和高排放四种情景下，21 世纪末相比世纪初的全球平均气温分别升高约 1.5° C, 2.4° C, 3.2° C 和 4.4° C。



依托“寰”发展了短期气候预测系统，在 2022 年全国汛期降水预测中，准确预测出华北、东北南部和华南多雨，长江中下游高温少雨的气候特征，PS 评分达到 81 分，有效保障了国家汛期防灾减灾等工作。

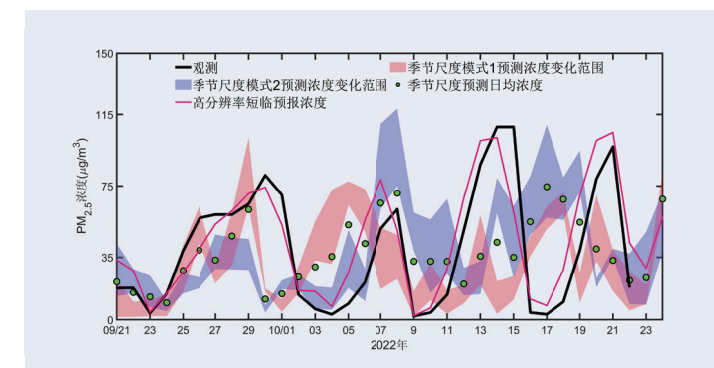


4.3 大气环境预报溯源

突破了大气成分的高精度模拟追踪技术，研发了具备完全自主知识产权的公里级大气环境预报溯源系统，包括大气环境实时感知、预报溯源、环境容量核算、污染物和碳排放反演等功能，可实现季节尺度空气质量的变化趋势预测以及未来 7~10 天空气质量的预报与溯源。



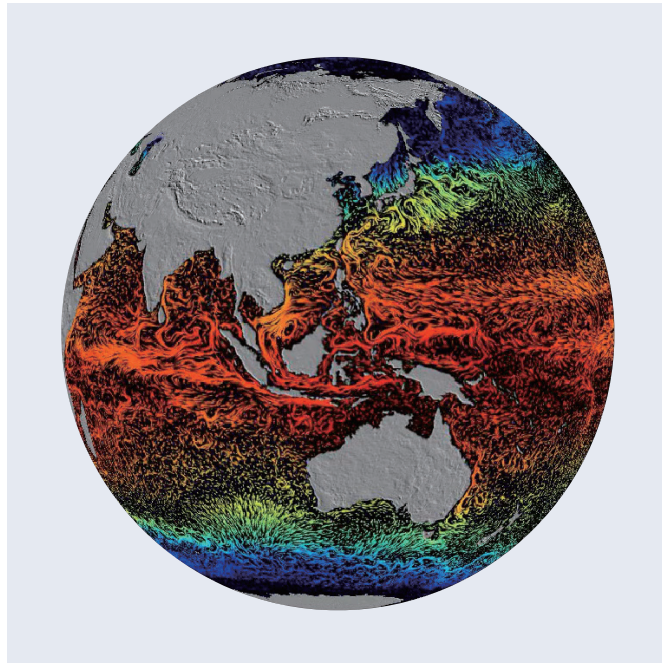
系统在 2022 年北京冬奥 / 冬残奥会、建党百年、党的二十大等重大活动保障和国家大气重污染成因与治理攻关上发挥了重要作用，在城市碳监测和反演开展了实际应用示范。



4.4 海洋环境精细化模拟

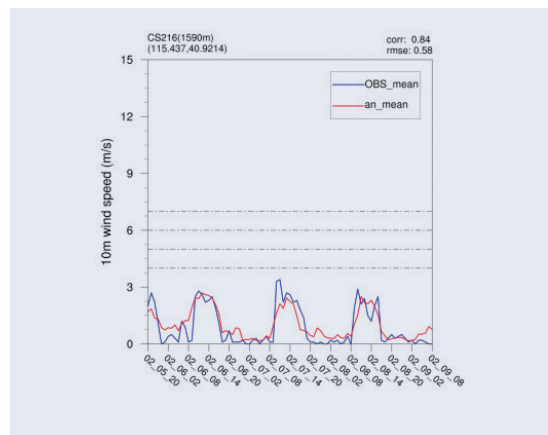
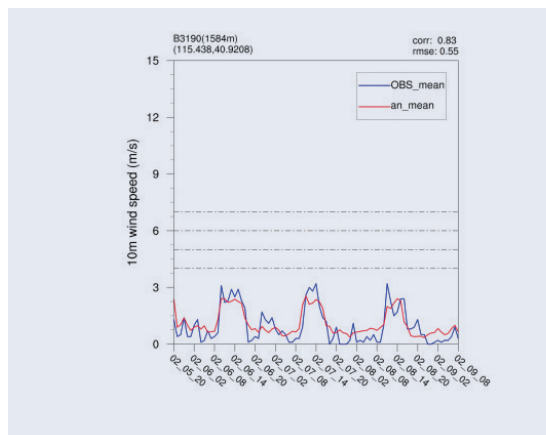
通过框架、物理过程和异构并行算法的改进，建成了全球 5 km 的高分辨率海洋模式 (LICOM3)，可用于近海洋流、核废水扩散等精细化模拟研究。在国际海洋模式比较计划 (OMIP) 中，LICOM3 在全球热含量、海表高度和北大西洋经圈翻转环流结构等方面模拟性能优秀。

基于 LICOM3 建成了全球高分辨率海洋环境分析预报系统 LFS (<http://project.lasg.ac.cn/LFS/index.php>)，在国家海洋环境预报中心、中国气象局气象探测中心业务应用，有效保障了斯里兰卡近海起火邮轮救援、中国气象局“海燕计划”试验，以及灾害性天气过程监测等工作的顺利进行。



4.5 云可分辨天气预报

建成了区域云可分辨天气预报模式，基于此搭建了 2022 年北京冬奥 / 冬残奥会赛区高分辨率集合预报系统，参与崇礼赛区气象预报保障服务工作。系统采用了多源观测同化、集合预报、多层区域嵌套、动力降尺度等多项关键技术，实现百米级网格天气预报，实时提供云顶 1 号、跳台 2 号等多条赛道的风速、温度、相对湿度、湿球温度和积雪深度等要素 0-84 小时预报。



开放共享

5.1 开放合作领域

“寰”推动了地学、计算科学、社会学、经济学等学科之间的交叉与融合，现面向国内外用户合作开展相关领域的前沿科学研究，包括但不限于多圈层相互作用、气候和环境变化、极端天气气候事件的模拟和预测、“双碳”路径的设计和优选、清洁能源开发利用的模拟支撑等。还可与相关行业（气象、环保、农业、水利、电力、保险等）部门合作，针对特定的行业需求，开展气象与环境预测及延伸的相关应用服务。

5.3 用户申请方式

用户登陆中国科学院重大科技基础设施共享服务平台 (<http://lssf.cas.cn>)，注册用户账号，并提交用户课题申请。课题申请中，说明研究背景、实验方案、预期成果、前期研究基础和预计时机等内容。依托“寰”产出的科研成果，需致谢国家重大科技基础设施项目“地球系统数值模拟装置”。

5.2 开放共享形式

- “寰”已全面开放共享，包括软件、数据、硬件等。具体如下：
- 全球和区域模式的源代码、开发及应用平台的开放共享：包括地球系统模式、区域模式、科学可视化软件、模式诊断评估软件等。地球系统模式和区域模式源代码按阶段逐步释放。
 - 模式模拟数据的开放共享：包括全球与区域模拟数据、卫星遥感数据、再分析数据等。
 - 高性能计算平台的开放共享：用户部署自己研发的模式，利用“寰”的计算资源、支撑软件等条件开展研究。

5.4 用户支撑团队

组建了一支集聚领域优势的百余人运维支撑团队，截至 2023 年 2 月底，高效、优质地服务了来自全国 19 个省市自治区、43 家单位的 300 多位用户，用户对于“寰”的计算 / 存储性能、机时安排、作业调度效率、数据安全、团队支撑能力和解决问题的时效等各方面均给予肯定。





获奖 | 感谢信

EARTH SYSTEM SCIENCE NUMERICAL SIMULATOR FACILITY EARTH.LAB
地球系统数值模拟装置

“寰”入选《科技日报》 2021年中国科技10项重大突破



“寰”入选国家“十三五”科技创新成就展



- 01-“寰”支撑全国短期气候预测能力创历史新高
- 02-“寰”区域短期气候预测系统在重庆业务应用
- 03-“寰”区域短期气候预测系统在福建业务应用
- 04-“寰”区域短期气候预测系统在南方电网业务应用
- 05-“寰”服务北京冬奥/冬残奥会空气质量保障重大活动
- 06-“寰”服务北京冬奥/冬残奥会气象预报保障重大活动
- 07-“寰”服务党的二十大空气质量保障重大活动
- 08-“寰”海洋环境预报系统在中国气象局业务应用

未来展望

“寰”将致力于推动多圈层相互作用、地球系统变化预估、人与自然和谐依存等地球系统科学研究的发展；整合国内外优势研究力量，成为集聚地球科学、高性能计算、大数据、人工智能等多学科交叉研究的综合研发平台和创新高地，推动中国地球系统模式走向世界；提升我国在国际气候变化与环境治理领域的核心竞争力和话语权。

2021——2022

联系我们 电话：(+86)-10-82995410
邮箱：earthlab@mail.iap.ac.cn

地址：北京市朝阳区北辰西路81号院
网址：https://earthlab.iap.ac.cn/