

姜金荣科研工作情况介绍

姜金荣，男，1977年8月出生，工学博士，副研究员，2007年6月参加工作，现任中科院计算机网络信息中心高性能计算部基础并行算法研究与框架软件研发实验室主任。1995年9月-1999年7月就读于北京大学数学科学学院，获计算数学学士学位；1997年-1999年7月就读于北京大学经济研究中心，获经济学学士学位；1999年9月-2002年7月就读于中科院数学与系统科学研究院，获计算数硕士学位，指导老师为崔俊芝院士；2002年9月-2006年12月就读于中科院软件所，获计算机软件与理论博士学位，指导老师为迟学斌研究员。曾为中国气象科学研究院在职博士后（合作老师为张小曳研究员）和中科院大气物理研究所东亚中心客座研究人员。

姜金荣长期从事数值模式的并行算法研究与并行软件实现工作，参与完成了国内多个自主气象/气候模式的开发工作，主要负责模式软件的并行算法设计、实现及系统集成开发工作。早在2006年，独立完成了中国气象局化学天气数值预报系统CUACE中的数值预报模式-沙尘暴数值预报模式CUACE/Dust和雾霾数值预报模式CUACE-Haze/Fog并行版本的开发工作，使得模式的计算时间从数十小时降低到0.5小时

之内，满足了业务化预报的时效性要求，促进模式通过了中国气象局的业务化评估，模式已被用于气象局日常业务化预报；在 2008 年，独立完成了中科院大气所区域环境集成系统模式 RIEMS 并行版本开发工作，RIEMS 是国内唯一一个自主的区域环境模式，被誉为全球变化区域响应研究典范，用于东亚区域环境系统和北方干旱化的集成研究。2010 年，参与王斌研究员主持的 863 项目“地球系统模式中的高效并行算法研究与并行耦合器研制”，负责第一课题“数值并行算法及性能优化技术研究（2010-2013）”，带领团队开展了并行网格嵌套算法、（非）线性稀疏代数方程组并行解法、高维 FFT 并行算法等数值并行算法及程序性能优化技术研究，研制了高效数值并行算法模块和高效大气模式动力框架解法器。从 2013 年开始，参与了中科院地球系统模式 CAS-ESM 的开发工作。在 2013 年，独立完成了全球大气环流模式 IAP AGCM4.0 的并行优化工作，设计了混合二维区域剖分并行化方法，提高了模式的可扩展性，使模式的计算速度从 1.5 模式年/天提高到 10 模式年/天，促进了大气模式的加速发展和应用。在 2014 年，独立完成了全球海洋环流模式 LICOM2.0 的并行优化和调试工作，修改并行分割方案，优化模式中的 MPI 通信开销，实现 MPI+OpenMP 并行编程，提高程序的并行可扩展性；调整内存，解决高分辨率模式占用内存大问题；并修改程序，使 LICOM 程序在不同并发度（包括串行）

能够保持重起、长时间模拟结果一致（有效数字 16 位）。在 2015 年，独立完成了动态植被模式 IAP DGVM 独立版本的开发；开发基于超级云计算的数值天气数值预报系统，并在国家电网公司落地应用，获得了 2016 年电力行业信息化成果二等奖（排名第 7）。2015 年参与由朱江研究员主持的中科院重点部署项目“地球系统数值模拟装置预研及原型系统开发”，负责第四课题“地球系统数值模拟并行软件支撑框架（2015-2016）”，带领团队开发了地球系统模式并行软件平台 SC-ESAP 并应用于 CAS-ESM，主要包括统一计算平台和编译脚本文件系统的建立、耦合接口生成器的开发、三维耦合器的优化、基于 LETKF 的同化平台的开发和分量模式及耦合模式的并行优化、标准化和调试，促进了 CAS-ESM V1.0 的建设和发布。此外，还开展一些诸如异构加速算法、准高斯高阶递归滤波算法等相关算法研究工作，并领导团队进行并行软件支撑框架 SC_Tangram 和基础数学并行算法库的应用开发工作，这是中科院信息化建设计算平台的重要内容。2016 年，参与了张明华研究员主持的高性能计算专项项目“地球系统模式的改进、应用开发和高性能计算”，负责第四课题“高效地球系统模式软件平台集成开发（2016-2020）”；此外，以主要成员参与了包括 973，863，重点基金，中科院信息化项目等多项项目研究工作，并以主要成员参与“十二五”国家重大科技基础设施建设项目“地球科学数值模拟装

置”的建议书，立项书，申请书的设计和撰写。申请专利和软件著作权各 1 项，已发表论文 20 多篇。

我们知道，地球系统模式研制对于气候变化研究及气象预报具有非常重要的意义，并行算法与软件实现技术是我国地球系统模式发展的薄弱环节，开展地球系统模式中高性能并行算法及性能优化技术的研发是促进发展我国地球系统模式的需要，符合国家战略发展需求。多年以来，姜金荣与各领域科学家合作，参与了多个我国自主研发的数值模式的开发工作，为我国自主模式的发展做出了重要贡献，因此，我推荐他参与申请“清华——浪潮地球系统科学青年人才奖”。

甘霖，现为清华大学计算机系博士后、合作导师杨广文教授；同时担任国家超级计算无锡中心主任助理、研发部副部长、应用研发组负责人。他博士就读于清华大学计算机系与地球系统科学系，获工学博士学位；曾先后赴伦敦帝国理工学院计算机系、斯坦福大学地球物理系等从事访问研究。研究兴趣为基于异构高性能平台特别是国产众核平台和可重构计算平台，设计面向地球系统科学重要应用的优化方法，实现地学领域重大问题的高性能求解。

近五年来，甘霖在计算机科学、地球系统科学等领域共发表 18 篇论文，获发明专利 1 项，获高性能计算应用最高奖“戈登·贝尔奖”、“现场可编程逻辑与应用国际会议 25 年最具影响力论文奖”、“清华一浪潮计算地球科学优秀学生奖”等荣誉，清华大学计算机系优秀博士毕业生。

一、在地球系统模式的研究工作中，甘霖针对高分辨率模式模拟中所面临的挑战，在包括“神威·太湖之光”超算平台、可重构计算平台等异构系统上完成了大量有价值的工作，实现了对模式算法有效优化，促进了异构平台特别是国产神威平台和可重构计算平台在模式研究中的应用。

(1) 作为国家超级计算无锡中心研发团队主要负责人之一，甘霖直接参与了部分基于“神威·太湖之光”国产超级计算机的模式研究工作，为促进我国自主研发众核处理器在地球模式研究中的推广与应用做出了贡献。

他直接参与了基于“神威·太湖之光”的千万核可扩展大气动力学全隐式模拟工作。该工作研究成果获得 2016 年世界超算应用最高奖“戈登·贝尔”奖，实现了该奖创办 30 年来我国在此大奖上零的突破，成为我国高性能计算应用发展的新里程碑，甘霖为获奖论文共同通讯作者。

该研究设计开发了一种用于大气动力模拟的高可扩展全隐式求解算法和软件，世界上首次在大规模异构众核系统上实现了千万核可扩展的高效并行求解，第一次在有效时间尺度完成了网格分辨率小于 500 米的大气模拟。成果实现两个了重大突破：在应用层面，第一次证明了全隐式求解方法是构建未来超高分辨率大气模式一种有竞争力的选择，该大气动力过程的模拟速度较美国下一代大气模拟系统(GFDL 开发的 AM3 非静力大气模式)的计算效率提升近 1 个数量级，未来可应用于高分辨率气候模拟和高精细数值天气预报，提升预估、预报精度；在算法层面，实现了世界上第一个可扩展到千万核、峰值效率超过 6% 的隐式求解器，较 2015 年“戈登·贝尔”奖获奖工作在并行度和峰值效率均提升一个数量级，未来在航空、地学、能源等领域的挑战性计算问题中有着广阔的应用前景。

(2) 作为负责人，甘霖领导了我国首个成功将可重构计算平台引入模式研究并取得优异性能与能效结果的研究工作。一系列研究成果为模式研究提供了全新解决方案，促进了地球科学与计算机科学新技术的进一步交叉。

他提出了基于可重构数据流引擎的全球大气动力方程快速求解器。该求解器将全球大气动力方程的求解器映射为 FPGA 芯片中的特定硬件电路，通过进行算法、并行架构、缓存、数据精度等各个方面的系统优化，获得革命性的性能和能效同时提升。该思想已在大气模式浅水波方程、欧拉方程等重要数值方法中成功应用，取得相较于传统高性能平台 1 到 2 个数量级的性能提升和 1 个数量级的能效提升。该思想同时也适用于其他领域的科学计算，是一种可以从根本上提升计算性能和效率的通用方法。以第一作者身份发表论文在第 25 届现

场可编程逻辑与应用国际会议（FPL 2015）上获选“25 年领域最具影响力论文奖”（1765 篇文章中选 27 篇），系唯一一篇以中国大陆研究机构（清华大学地球系统科学系）为第一作者单位的获奖论文。目前，该工作已经获得气候模式领域同行的关注和认可，为进一步设计地球系统数值模拟的专用芯片提供了良好的借鉴。

（3）甘霖还参与了新一代全球大气动力方程求解器并行软件的设计与研究工
作。该软件具有优异的可扩展性与通用性，已经成功在天河 1A、天河 2 号、
“神威·太湖之光”等超算系统上实现了半机或整机的扩展，为地球模式模拟如何在
超级计算机上取得高可扩展性提供了一定的参考与指导。

二、在地球物理勘探领域的研究中，甘霖基于不同异构高性能平台完成了一系列研究成果，解决了地震波成像过程中数据量大、算法结构复杂等诸多问题。

（1）在对弹性波方程逆时偏移算法求解工作中，他与斯坦福大学地球物理系的研究团队合作，提出了基于 GPU 的算法转置、计算通信重叠法等思想，有效解决了逆时偏移算法正、逆两个过程数据叠加过程所带来的挑战，取得了相对于 24 核 CPU 7 倍的性能提升。

（2）在对声波方程逆时偏移算法求解工作中，他利用可重构计算平台硬件逻辑的可编程特性设计出了一套完整的数据流计算模型，采用数据压缩、窗口缓存、混合精度等优化方法，有效提高了计算性能。较之前最好工作，该思想可在可重构计算平台上取得 5 倍性能提升。

上述研究工作和成果的积累，充分展示了这名青年学者在计算地球科学这一交叉研究方向上的巨大潜力。基于上述考虑，特郑重推荐他作为 2016 年度计算地球科学青年人才奖的候选人。

近年来，舒启在全球高分辨率浪-潮-流耦合海洋数值模式的建立、发展和应用以及气候系统模式的评估等方面发表了多篇高水平的学术论文，作为核心成员建立了全球高分辨率的浪-潮-流耦合海洋数值模式，并将其应用于全球海洋环境数值预报中。

近年来的主要工作如下：

(1) 全球高分辨海浪数值模式的并行优化

浪-潮-流耦合能够显著改善海洋数值模式的模拟能力。但是，当前高分辨率海浪数值模式的计算速度并不快，这是阻碍发展全球高分辨率浪-潮-流耦合海洋模式的瓶颈。基于全球空间分辨率为 $(1/100)^\circ$ 约 1 公里的 MASNUM-Wave（海洋环境科学和数值模拟国家海洋局重点实验室）海浪数值模式，舒启找到了海浪模式的计算热点函数，并对计算热点函数进行了循环折叠优化，明显提高了海浪模式的计算速度。同时舒启也参与了全球高分辨率海浪数值模式负载近绝对均衡、主从核协同计算框架的设计和应用的工作，并依托“神威·太湖之光”进行了全机测试。相关研究成果“全球超高分辨率海浪数值模拟”成为 2016 年“戈登贝尔”奖 6 个候选获奖项目之一。

(2) 浪-流耦合对全球大洋环流数值模式的改进研究

舒启将非破碎波致混合引入到了不同的全球大洋环流数值模式中，分析研究了浪-流耦合对不同全球大洋环流数值模式的改进情况，并将研究成果进行了应用。

将非破碎波致混合方案，分别引入到了当前国际上流行的大洋环流数值模式 MOM（Modular Ocean Model，来自美国）、NEMO（Nucleus for European Modelling of the Ocean，来自欧洲）和 FESOM（Finite-Element Sea-Ice Ocean Model，来自德国）中。通过数值模拟表明，这三个大洋环流模式存在共性的模拟偏差，即在模拟的夏季海表温度偏高、次表层温度偏低以及上混合层深度偏浅，这也是大洋环流数值模式的共性问题。深入研究发现非破碎波致混合的引入可以较好地解决上述共性问题，能显著提高海洋环流模式对上层海洋的模拟能力。

在“十二五”初期，舒启将上述研究成果引用到了国家海洋环境预报中心业务化运行的全球海洋数值预报系统中，并一直应用至今。

(3) 全球涡旋分辨率浪-潮-流耦合海洋数值模式的建立和应用

舒启基于大洋环流模式 MOM5、海冰模式 SIS（Sea Ice Simulator）和海浪模式 MASNUM-Wave，首次建立了水平分辨率 $1/10^\circ$ 、垂向分 54 层的全球高分辨率浪-潮-流耦合的海洋数值模式。该模式有两个特点：一是分辨率高，水平分辨率达到涡旋分辨率，可以对中尺度涡旋进行模拟，海洋上层垂向分辨率为 2 m，可以对海洋中日变化过程较好地模拟；二是物理过程全面，通过浪-流耦合理论实现了浪-流耦合，通过加入 8 个分潮引潮势，实现了浪-潮-流耦合，浪-潮-流耦合可以显著改善模式对上层海洋的模拟，并能对西边界流、斜压潮、内潮和海冰进行较好地刻画。利用该全球高分辨

率的海洋数值模式，发展了集合调整卡尔曼滤波同化技术，建立了全球高分辨率海洋环境数值预报系统，预报时效为5天，自2016年5月1日以来开始业务化试运行至今。该全球高分辨率的浪-潮-流耦合海洋数值模式被列为“青岛海洋科学与技术国家实验室2015年十大科技进展”之一。

(4) 系统评估了 CMIP5 耦合模式对南北极海冰的模拟

舒启利用卫星遥感观测海冰密集度数据和再分析的海冰厚度数据，对所有参加CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) 耦合模式比对计划的南北极海冰模拟结果进行了评估。通过分析评估，定量给出了每个气候耦合模式对南北极海冰的模拟能力，同时也指出了气候耦合模式对南北极海冰的模拟所存在的共性问题。该结果为CMIP5耦合模式模拟结果的使用和耦合模式的改进研究工作提供了参考。

分析评估发现，CMIP5多模式集合可以很好地给出1979-2005年间南北极海冰覆盖范围的平均态，也可以合理地模拟出北极海冰覆盖范围和海冰密集度的减少趋势，但是却不能模拟出南极海冰的长期变化趋势；此外CMIP5耦合模式对海冰覆盖范围的模拟要好于对海冰体积的模拟，CMIP5多模式集合同样可以较好地模拟北极海冰体积的减少趋势，但是不能给出南极海冰体积的增加趋势；对海冰厚度模拟的主要问题是CMIP5多模式集合平均南极海冰厚度模拟偏薄，北极冬季海冰厚度模拟偏薄。

附 件

附件1：2011-2016年间发表的相关论文列表

- (1) **Qi Shu**, Fangli Qiao, Zhenya Song, Changshui Xia and Yongzeng Yang. 2011. Improvement of MOM4 by including surface wave-induced vertical mixing, *Ocean Modelling*, 40(1), 42-51, doi:10.1016/j.ocemod.2011.07.005.
- (2) **Qi Shu**, Fangli Qiao, Zhenya Song and Chunzai Wang. 2012. Sea Ice Trends in the Antarctic and Their Relationship to Surface Air Temperature during 1979 to 2009, *Climate Dynamics*, 38, 2355-2363, doi:10.1007/s00382-011-1143-9.
- (3) **Qi Shu**, Hongyu Ma and Fangli Qiao. 2012. Observation and simulation of a floe drift near the North Pole, *Ocean Dynamics*, 62(8), 1195-1200, doi:10.1007/s10236-012-0554-4.
- (4) **Qi Shu**, Fangli Qiao, Zhenya Song and Xunqiang Yin. 2013. A comparison of two global ocean-ice coupled models with different horizontal resolutions, *Acta Oceanologica Sinica*, 32(8), 1-11, doi: 10.1007/s13131-013-0335-z.
- (5) **Qi Shu**, Zhenya Song and Fangli Qiao. 2015. Assessment of sea ice simulations in the CMIP5 models, *The Cryosphere*, 9:399-409.
- (6) Xunqiang Yin, Fangli Qiao and **Qi Shu**. 2011. Using ensemble adjustment Kalman filtering to assimilate Argo profiles in a global OGCM, *Ocean Dynamics*, 61 (7), 1017-1031,

- doi:10.1007/s10236-011-0419-2.
- (7) Chuanjiang Huang, Fangli Qiao, **Qi Shu** and Zhenya Song. 2012. Evaluating austral summer mixed-layer response to surface wave-induced mixing in the Southern Ocean, *J. Geophys. Res.*, 117, C00J18, doi:10.1029/2012JC007892.
 - (8) Yan Li, Fangli Qiao, Xunqing Yin, **Qi Shu** and Hongyu Ma. 2013. The improvement of the one-dimensional Mellor-Yamada and K-profile parameterization turbulence schemes with the non-breaking surface wave-induced vertical mixing, *ActaOceanologicaSinica*, 32(9), doi: 10.1007/s13131-013-0353-x.
 - (9) Fangli Qiao, Zhenya Song, Ying Bao, Yajuan Song, **Qi Shu**, Chuanjiang Huang and Wei Zhao. 2013. Development and evaluation of an Earth System Model with surface gravity waves, *J. Geophys. Res. Oceans*, 118, 4514–4524, doi:10.1002/jgrc.20327.
 - (10) Bin Xiao, Fangli Qiao, **Qi Shu**. The performance of a z-level ocean model in modeling the global tide[J]. 2016, 35.
 - (11) Fangli Qiao, Wei Zhao, Xunqiang Yin, Xiaomeng Huang, Xin Liu, **Qi Shu**, Guansuo Wang, Zhenya Song, Xinfang Li, Guangwen Yang and Yeli Yuan. 2016. A highly effective global surface wave numerical simulation with ultra-high resolution[C], *Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis*. IEEE Press.
 - (12) 舒启, 乔方利, 宋振亚. 2012. 地球系统模式FIO-ESM对北极海冰的模拟和预估, *海洋学报*, 35(5), 37-45, doi: 10.3969/j.issn.0253-4193.2013.05.004.
 - (13) 舒启, 乔方利, 鲍颖. 2015. 对地球系统模式FIO-ESM同化实验中北极海冰模拟的评估. *海洋学*, 37(11).
 - (14) 肖斌, 舒启, 乔方利. 2016. 大西洋经向翻转环流的模拟对海表驱动场时间和空间分辨率的敏感性分析[J]. *海洋科学进展*, 34(2):175-185.

附件2：相关证书

- (1) 2011年度极地科学优秀论文奖获奖证书
- (2) 2015年海洋工程科学技术奖获奖证书
- (3) 2016年海洋工程科学技术奖获奖证书
- (4) 2016年计算机软件著作权登记证书

请简要说明被推荐人的原创性科学或技术成果的内容、重大科学意义、对促进科学技术发展所起的作用及产生的影响（限 2000 字以内，纸面不够可加页）。相关证明材料和论文原文以附件方式提供。

周波涛博士一直从事气候变化、气候模拟、东亚气候变异机理和预测等方面的研究。其所取得的科学成果揭示了气候系统变化的一系列新事实、新特征以及物理机制，深化了对全球气候系统和东亚灾害性气候发生规律的认识，具有重要的科学价值和实际应用价值。

全球变暖背景下极端气候事件的变化以及不确定性是气候变化领域的优先重点研究方向，也是决策者关注的核心议题。周波涛博士利用1961年以来的基于2000多个台站发展的格点资料，采取国际通用的极端气候事件指数计算方法，与合作者一起研制了中国高分辨率的极端气候指数数据集。利用这套数据集，系统分析了近半个世纪以来我国极端温度和极端降水指数（共20个指数）的变化，给出了我国及八个子区域的极端温度和极端降水变化的时空分布特征，以及其对全球变暖的响应。进一步，利用第五次耦合模式比较计划（CMIP5）中的24个全球气候系统模式针对历史时期和未来典型浓度路径（RCP）下的模拟结果，综合评估了这些模式对极端温度和极端降水指数的模拟能力，并预估了其未来变化。研究揭示，在未来变暖背景下，中国区域极端最低温增加幅度强于极端最高温的增加幅度；暖日暖夜频次增加，冷日冷夜频次减少；高温日数增加，霜冻日数和冰冻日数减少。极端强降水事件强度和频次将增加，其对增暖的响应比平均降水更快更显著，但存在明显的区域差异。他还利用ANOVA方法，定量评估了不同极端气候指数变化预估的不确定性源，以及排放情景、模式差异和自然变率在全国和区域尺度预估不确定性中的相对贡献，弥补了我国在不确定性研究领域的不足。相关成果发表在Journal of Climate和International Journal of Climatology等高影响国际刊物上。此外，他还结合暴露度与脆弱性，揭示了未来我国暴雨洪涝和高温等的风险格局。总体来讲，这些成果不仅深化了科学界对极端气候事件及相关风险变化的认识，也为我国适应气候变化和加强灾害风险管理提供了科学信息。目前，他正带领团队成员开展区域气候模式动力降尺度和统计降尺度的计算分析，以期获得更为精细化的结果。

另外，关于温度变化（气候变化最明显的指示器）的研究，以往大都聚焦于低

层温度，对于高空温度的变化关注较少。他基于 CMIP5 的 33 个全球气候系统模式模拟结果，评估了模式对反映高空温度变化的亚洲-太平洋涛动型的模拟性能，并预估了其未来变化。研究指出，大多模式对亚洲-太平洋涛动的空间结构具有很好的模拟能力，但一些模式对其长期变化趋势和年际变率的模拟存在明显不足，尚待改进和完善，为模式的进一步发展提供了理论支撑。通过多模式集合，预估出未来变暖背景下，亚洲-太平洋涛动在 21 世纪将会减弱东移，深化了对高层大气演变认识。他还通过国际古气候模拟比较计划（PMIP）中气候模式对全新世暖期的模拟分析，发现全新世暖期亚洲-太平洋涛动在春季较现代偏弱，在夏季较现代偏强，进而影响区域关键环流系统，造成与今不同的降水格局。这些成果也发表在 *Journal Geophysical Reserach* 和 *International Journal of Climatology* 等高影响国际刊物上，为理解全新世暖期气候变化提供了新的科学认知，也为理解当今和未来变暖背景下的大气环流系统和气候格局奠定了重要科学基础。同时，他还计算分析了 CMIP5 全球气候系统模式对 Hadley 环流和 Walker 环流变化（维持地球气候系统能量平衡的重要热带环流系统）以及东亚季风系统（西太平洋副热带高压和东亚高空西风急流）年际变率的模拟能力，并预估了其在未来变暖背景下的趋势变化，所取得的科学成果为认识热带环流系统和东亚季风气候系统的未来演变以及气候系统间的相互关系提供了重要科学支撑。

上述这些研究成果的取得，特别是全球气候模式的模拟性能评估和未来预估研究与当今气候模式的发展和高性能计算条件是密不可分的。

周波涛博士在气候变异机理与预测方面也取得了很有科学价值和应用价值的成果。包括揭示了影响西太平洋台风活动的若干重要变异过程和预测新信号，特别是亚洲太平洋涛动、北大西洋涛动、澳大利亚东侧海温以及 Hadley 环流等的重要影响，并阐明其影响过程与机制；提出我国夏季旱涝预测的新信号：Hadley 环流和澳大利亚东侧海温；揭示中高纬大气遥相关模态与东亚气候的年代际变化关系和物理机制，特别是我国华南春季降水与冬季北大西洋涛动、淮河流域夏季降水与冬季北太平洋涛动之间的年代际变化特征，从而解释了气候预测中这些信号指示意义“不稳定”的现象。这些成果一方面加深了对东亚气候变异规律及机理的认识，另一方面也为该区域气候预测奠定科学基础，推动了该领域的发展。

目前为止，周波涛博士已发表（含接受）学术论文 60 多篇，其中 SCI 论文

30 余篇。先后获得涂长望青年气象科技奖、北京青年优秀科技论文奖、十佳全国优秀青年气象科技工作者、邹竞蒙气象科技奖等多项荣誉，并入选中国气象局青年英才、中国气象局科技领军人才、国家“万人计划”青年拔尖人才，展现出很强的科研能力和很好的科研潜质。为此，我极力推荐他申报“清华——浪潮地球系统科学青年人才奖”。

推荐说明:

朱求安博士在全球动态植被模型的基础上, 构建并开发了多尺度—多源数据融合的新一代机理耦合生态系统模型(TRIPLEX-GHG) (Zhu et al. 2014, 2015)。该模型是一个多尺度(生态系统—区域—国家—全球)、多功能(碳、氮、磷和水循环)和多温室气体(CO₂、CH₄、N₂O)排放的模型系统, 可以用于模拟陆地生态系统结构、功能和温室气体等关键要素的变化和温室气体汇源功能。朱求安博士首先对该模型的构建框架及机理进行了阐述, 并在全球范围内对模型进行了验证, 研究结果发表在地球系统模式领域的国际权威杂志上(Geoscientific Model Development 7: 981-999, 2014); 其次, 由于甲烷是全球大气中仅次于二氧化碳的重要温室气体, 因此陆地生态系统甲烷排放的评估则显得尤为重要, 基于该模型, 对全球尺度上自然湿地甲烷排放的时间格局进行评估, 并探讨了湿地甲烷排放对大气甲烷浓度年际变化的贡献, 同时进行了湿地甲烷排放的敏感参数的讨论, 研究结果发表在生态学权威杂志上(Global Ecology and Biogeography 24: 959-972, 2015); 再次, 针对中国气候变化与土地利用变化的现状, 在分析了全国湿地动态变化数据的基础上, 利用全国气象及植被与土壤数据, 基于该模型, 对全国湿地生态系统甲烷排放进行了模拟计算, 研究表明中国东北地区与青藏高原区的湿地甲烷排放占全国湿地甲烷排放的 81%, 湿地面积变化使得甲烷排放减少了 34.3%, 气候变化使得湿地甲烷排放增加了 20.4%, 湿地面积减少带来的甲烷排放的减少抵消了气候变化带来的甲烷排放的增加, 研究结果发表于国际开源学术期刊 Scientific Reports 上 (DOI:10.1038/srep38020, 2016)。另外, 在陆地碳循环过程方面, 基于该模型, 利用植被功能性状理论对动态全球植被 (DGVM) 模型原有基于植被功能群的理论框架进行了改进构建, 以中国陆地生态系统为研究对象, 通过收集不同的植物功能性状数据, 建立了植物功能性状与环境之间的关系, 通过高斯混合模型对中国植被的分布进行模拟, 并对未来情景下中国植被动态进行预测, 相关研究结果发表在国际开源学术期刊 Scientific Reports (DOI: 10.1038/srep24110, 2016) 上, 该研究是在中国区域利用植物功能性状对 DGVM 改进的一次有意义尝试, 为构建新一代 DGVM 打下了基础。

同时, 该模型作为中国唯一一个自主开发的模型进入了全球碳计划 (Global Carbon Project) 之全球甲烷收支评估项目, 最新的全球甲烷收支评估结果 (The Global Methane Budget: 2000–2012) 发表于权威期刊 Earth System Science Data (doi:10.5194/essd-2016-25, 2016) 上。目前, 基于该模型的陆地生态系统氧化亚氮 (N₂O, 另一重要的温室气体) 的模拟与估算已初具结果, 并已经作为中国唯一一个自主开发的模型进入全球氧化亚氮收支评估计划 (NMIP - Global and regional N₂O model Inter-comparison Project)。


该模型对加强我国陆地生态系统碳氮循环过程的理解、深入探讨温室气体排放与气候变化之间的关系有着重要意义，丰富和发展了地球系统模式的科学理论与实践，在地球系统模式尤其是陆面过程陆地生态系统碳循环方面具有创新性。在巴黎气候协定的逐步推进的背景下，温室气体排放的估算以及清单的制定成为热点前沿问题，该模型有着广阔的应用前景，将为国家应对全球气候变化、制定区域碳汇管理与碳排放控制政策及国际气候谈判的话语权提供科学依据。

另外，朱求安博士是目前国内为数不多的既具有陆地生态系统模型研发创新能力，又精通高性能计算的新一代青年生态模型人才。他从2011年开始协助我在西北农林科技大学建立有关生态预测和全球变化的实验室，并具体负责高性能计算机室的设计和运行，做出了一些开拓性的研究工作和突出贡献。由于他近五年在研发新一代陆地生态系统模型的突出贡献和创新，2013年获得教育部新世纪人才称号，2015年荣获第十三届中国林业青年科技奖。

同时，近五年来，朱求安博士积极参加清华大学地球系统数值模拟教育部重点实验室主持的973项目，与重点实验室的宫鹏教授和林光辉教授进行了卓有成效的合作。近期正参与将现有模型往国家超级计算机“太湖之光”移植的工作。

基于上述，我很高兴推荐朱求安博士作为“清华-浪潮地球系统科学青年人才奖”的候选人。

推荐人：



附件材料：论文首页

2016 年度“清华——浪潮地球系统科学青年人才奖”推荐书

被推荐人姓名：张通 专业技术职务：助理研究员 专业：冰川动力学
出生年月：1985年8月
工作单位：中国气象科学研究院
电子信箱：[REDACTED] 电话：[REDACTED]

我郑重推荐 张通 作为“清华——浪潮地球系统科学青年人才奖”的候选人。

推荐人姓名：秦大河
推荐人单位公章：
2016 年 12 月 13 日

推荐人姓名：秦大河 专业技术职务：院士 专业：冰冻圈科学
工作单位：冰冻圈科学国家重点实验室
电子信箱：[REDACTED] 电话：[REDACTED]

推荐身份：中国科学院院士 中国工程院院士 国家和部委重点实验室主任
重点高等院校校长 长江学者 重点科研院所院（所）长
杰出青年基金获得者 千人计划学者 国家重大科技项目首席科学家

请简要说明被推荐人的原创性科学或技术成果的内容、重大科学意义、对促进科学技术发展所起的作用及产生的影响（限 2000 字以内，纸面不够可加页），相关证明材料和论文原文以附件方式提供。

推荐说明

作为地球系统中冰冻圈的重要分量，山地冰川和极地冰盖的动力学机制对认识目前海平面变化、全球大气-冰川-海洋的相互作用过程和干旱区水资源变化和利用方面具有重要的科学研究价值和社会经济影响。早在上世纪六七十年代国际社会已开始冰川动力学模拟研究，但在我国该领域一直处于落后阶段。在过去六年间（2010 年至今），被推荐人张通在该领域取得一系列原创性科学成果，在一定程度上填补了目前我国在冰川和冰盖动力学模拟研究方向的空白，并已在若干方面走在了国际最前沿，为将来我国的冰冻圈过程模拟（极地冰盖-冰架系统模拟，山地冰川流域模拟等）和多圈层耦合模拟（气-冰-海耦合模拟等）奠定了一定的基础。其主要贡献有下列几个方面：

1. 独立开发国内首个二维热动力耦合的流带型冰川流动模型。该模型适用于实测数据稀少的山地冰川，同时具备易用性和模拟准确度，在我国西部冰川变化和冰川水资源利用研究领域具有相当的实用价值。根据实地观测的地形数据和表面气象数据，被推荐人将此模型应用至珠峰东绒布冰川。发现在目前的气候条件下，东绒布冰川冰体温度较高，其底部在相当大的区域内存在暖冰（冰体温度达到压力熔点）。暖冰的存在可促使冰川产生滑动，加速冰川冰从积累区向消融区流动，从而产生更多的冰川融水。据此，我们可耦合区域气候模式，将未来珠峰地区的气候情景应用至冰流模型上，预测未来数十年内珠峰下游绒布河水量可能的变化趋势。此工作成果发表在《*Journal of Glaciology*》（影响因子 3.2）上。

2. 首次应用三维完全 Stokes 冰流模型验证二维流线型冰流模型的准确性和可靠性。指出了目前常用的二维流线型冰流模型在模拟山地冰川时的适用条件和误差传输机理。和三维完全 Stokes 冰流模型相比，二维冰流模型因为忽略了某些小量，可能会带来若干误差。但之前尚没有相关研究对二维冰流模型的误差开展比较综合和系统的评估。应用目前具备最佳理论模拟精度的三维完全 Stokes 冰流模型，发现在下列情况下二维冰流模型很可能会导致较大的误差：**1) 当外界气候条件较为暖和，冰底产生滑动时；2) 当冰底地形较为陡峭并有较为剧烈的起伏时；3) 当模型积分时间较长，达到千年尺度时。**在上述条件下，二维冰流模型初始的误差可在模拟过程中积累，最终逐渐偏移。这项工作作为评估二维冰流模型在山地冰川和极地入海冰川应用的可靠性提供了理论基础。此工

作成果发表在《*Journal of Glaciology*》（影响因子 3.2）上。

3. 作为主要开发者开发三维完全 Stokes 海洋性冰盖模型，首次比对两个不同模型之间接地线动力学过程的异同，加深了目前国际社会对海洋性冰盖动力学模拟的认识，并加入国际最新的冰盖-海洋耦合模式的比对计划当中。由于海洋性冰盖（比如西南极冰盖）存在动力学不稳定性，其向海洋注入大量的淡水可在相当程度上影响大洋环流和海气相互作用，故接地线（冰盖和冰架之间的分界线）的动力学过程是目前国际热点。三维完全 Stokes 冰盖模型一直以来充当着其他简化模型的标尺，但其自身的可靠性并没有经过全面和系统的比对。通过首次开展两个不同三维海洋性冰盖模型的比对实验，被推荐人发现在有限元模拟框架下对接地线附近网格移动方法处理过程的不同会导致较大的差异，然而该差异会在网格细化后减小，一定程度上说明了三维 Stokes 冰盖模型的内在一致性和可靠性。该工作已被《*The Cryosphere*》（影响因子 5.1）接受，正在出版中。进而，以此工作为基础，被推荐人参加了目前国际上正在实施的冰盖-海洋耦合模式比对计划（MISMIP+）。目前，该工作正在开展当中。

总之，被推荐人张通在冰川冰盖动力学模拟方面，从最基础的动力框架构建到最终的实际应用，都具备较为坚实的研究基础，且已在本领域顶级期刊发表若干具有一定影响力的学术论文。其工作不仅具有较高的基础科学理论研究价值，还面向国家西部水资源的战略需求，具有重要而广泛的应用前景。因此，我在此郑重推荐其作为 2016 年第 5 届“清华大学—浪潮集团计算地球科学青年人才奖”的候选人！