

## “数学与智能技术主题论坛”

### From Vessel Behavior to Macroeconomic Outcomes: Shipping as a Supply Chain Barometer

白茜文（清华大学）



**报告摘要：** This talk will present an integrated research agenda that uses vessel-level behavior to measure, identify, and quantify the macroeconomic consequences of global shipping disruptions. The first part introduces a global port congestion index constructed from AIS data for major container ports, and studies the causal effects of supply chain disruption on macro outcomes. The second part extends the analysis to consider shipping firm as strategic intermediary, where they actively adjust routes, speeds, capacity allocation, and entry.

We then develop a multi-route general equilibrium model to quantify the impact of shipping disruptions. We quantify the welfare impact of major shipping disruption events.

**报告人简介：** 白茜文，女，清华大学工业工程系副教授，国家级高层次青年人才。致力于港航经济管理和数字航运等领域的研究工作。入选中科协青年人才托举工程。担任《Maritime Policy & Management》副编、《中国航海》栏目编辑、《Ocean》青年编委。担任中国优选法统筹法与经济数学研究会网络科学分会理事、世界交通运输大会水上运输学部水运新技术学科秘书、中国交通运输协会青年科技工作者工作委员会水路交通工作组秘书。

### From AI4Science to Math4AI: Unpaired Data Learning in Cryo-EM

包承龙（清华大学）



**报告摘要：** Cryo-electron microscopy (cryo-EM) has emerged as a powerful tool for determining molecular structures from extremely noisy imaging data. A fundamental challenge is the preferred orientation problem, where molecules are observed only from limited viewing directions, resulting in a severe imbalance in the data distribution. In this talk, I will demonstrate how this issue can be reformulated as an unpaired data learning problem, in which the observed distribution does not match the distribution required for high-resolution reconstruction. I will then present our recent progress on modeling such unpaired data, along with the associated mathematical analysis.

**报告人简介：** 包承龙，清华大学丘成桐数学科学中心长聘副教授、北京雁栖湖应用数学研究院副教授、清华大学膜生物学全国重点实验室研究员。研究兴趣主要在人工智能、图像处理和最优化算法方面，已在SIAM系列、IEEE TPAMI、Nat. Commun. 等各类期刊和会议上发表学术论文50余篇。入选国家高层次青年人才项目、获国际基础科学大会杰出青年人才奖、中国工业与应用数学学会青年科技奖、中国运筹学会青年科技奖。担任期刊SIAM Journal on Imaging Sciences编委，主持多项科技部、基金委和企事业单位项目。

### Explicit Symmetric Low-Regularity Integrator for the Nonlinear Schrodinger Equation

冯悦（西安交通大学）



**报告摘要:** The numerical approximation of low-regularity solutions to the nonlinear Schrodinger equation (NLSE) is notoriously difficult and even more so if structure-preserving schemes are sought. Recent works have been successful in establishing symmetric low-regularity integrators for NLSE. However, so far, all prior symmetric low-regularity algorithms are fully implicit, and therefore require the solution of a nonlinear equation at each time step, leading to significant numerical cost in the iteration. In this work, we introduce the first fully explicit (multi-step) symmetric low-regularity integrators for NLSE. We demonstrate the construction of an entire class of such schemes which notably can be used to symmetrise (in explicit form) a large amount of existing low-regularity integrators. We provide rigorous convergence analysis of our schemes and numerical examples demonstrating both the favourable structure preservation properties obtained with our novel schemes, and the significant reduction in computational cost over implicit methods.

**报告人简介:** 冯悦, 西安交通大学数学与统计学院教授, 博士生导师, 入选国家高层次青年人才计划, 西安交通大学“青年拔尖人才支持计划 A 类”。冯悦博士于 2014 年和 2017 年在浙江大学取得学士和硕士学位, 于 2020 年在新加坡国立大学取得博士学位, 随后在新加坡国立大学及法国索邦大学从事博士后研究, 2023 年 12 月入职西安交通大学数学与统计学院。冯悦博士致力于色散类偏微分方程数值求解方法及分析方面的研究, 主要关注长时间动力学和高振荡问题的算法设计及误差估计, 相关工作发表在 SIAM J. Numer. Anal., Math. Comp., Numer. Math. 等计算数学权威期刊上。

## A Multi-Level Deep Framework for Deep Solvers of Partial Differential Equations

贺巧琳 (四川大学)



**报告摘要:** In this work, inspired by the multigrid method, we propose a multi-level deep framework for deep solvers. Overall, it divides the entire training process into different levels of training. At each level of training, an adaptive sampling method proposed in this paper is first employed to obtain new training points, so that these points become increasingly concentrated in computational regions corresponding to high-frequency components. Then, the generalization ability of deep neural networks are utilized to update the PDEs for the next level of training based on the results from all previous levels. Rigorous mathematical proofs and detailed numerical experiments are employed to demonstrate the effectiveness of the proposed method.

**报告人简介:** 贺巧琳, 四川大学数学学院教授、博士生导师。主要研究领域为关于有奇异解问题的自适应网格方法、流体力学问题的计算方法, 复杂流体计算、数值分析和数值模拟、微分方程数值格式和深度学习的方法结合等等。在国际著名期刊上发表高水平论文 50 余篇。先后主持国家自然科学基金 3 项, 科技部重点研发计划子课题, 军科委项目等。

## Loss Landscape and Error Bound Analysis of Regularized Deep Matrix Factorization

江如俊 (复旦大学)



**报告摘要:** Deep matrix factorization (DMF) is a fundamental model underlying many applications, including deep linear neural networks.

Despite its simplicity, the regularized DMF problem exhibits a highly nonconvex optimization landscape that is not yet fully understood. In this talk, we analyze the loss landscape and local geometry of regularized deep matrix factorization. We characterize all critical points and identify conditions when a critical point is a local minimizer, a global minimizer, a strict saddle point, or a non-strict saddle point. We further establish an error bound around the critical point set, which leads to linear convergence guarantees for gradient-based methods. Our results provide theoretical insights into why first-order methods perform well for regularized DMF and offer a unified perspective on the optimization behavior of deep linear networks as an important application.

**报告人简介：**江如俊，复旦大学大数据学院副教授，博士生导师。研究方向主要包括优化算法和理论分析及其在机器学习与管理科学等领域的应用研究。其研究成果发表在 Math. Program., SIAM J. Optim.、Math. Oper. Res.、INFORMS J. Comput. 等运筹优化国际顶级期刊和 ICML、NeurIPS、ICLR 等人工智能顶会上。获国家级青年人才计划、上海扬帆计划支持，主持国家自然科学基金青年项目和面上项目。获国际机器学习大会 ICML 2022 杰出论文奖。担任 ICML 和 NeurIPS 领域主席。

## Localized Dynamic Mode Decomposition with Temporally Adaptive Segmentation

李秋齐（湖南大学）



**报告摘要：** Dynamic Mode Decomposition (DMD) is a widely adopted data-driven method for forecasting dynamical systems, yet its standard formulation often suffers from degraded long-term accuracy. To overcome this, we propose a localized DMD framework that combines DMD's linear predictive strength with time-domain decomposition. The method partitions the temporal domain, constructs localized snapshot matrices, and performs segment-wise predictions. We first introduce a fixed-partition scheme, followed by an adaptive partitioning strategy that enhances both accuracy and robustness. An error analysis establishes upper bounds for local and global truncation errors. The approach is validated on four benchmark problems—Burgers' equation, Allen-Cahn equation, nonlinear Schrödinger equation, and Maxwell's equations—where numerical results demonstrate substantial gains in predictive accuracy and computational efficiency.

**报告人简介：**李秋齐，湖南大学数学学院副教授、博士生导师。2018 年获湖南大学数学学院博士学位；2018-2020 年在北京大学从事博士后研究；2020 年入职湖南大学。研究方向为科学计算与不确定性量化，在 SISC、MMS、JCP、CMAME 等国际主流期刊发表论文 30 余篇。主持国家自然科学基金面上项目。

## 基于潜空间扩散模型与降阶模型的偏微分方程高效演化框架研究

潘晓敏（上海大学）



**报告摘要：** 偏微分方程的数值求解是流体力学及材料科学等领域的核心任务。尽管物理信息神经网络和神经算子取得了显著进展，但在处理非线性激波等高频细节以及长时序泛化方面仍面临严峻挑战。近年来，扩散生成模型展现了卓越的高频细节生成能力，但其在全尺寸物理空间中的计算成本极高，且自回归推演易引发误差爆炸。本研究提出了一种基于潜空间扩散模型的偏微分方程求解框架。该框架通过本征正交分解将高维物理场映射至低维正交潜空间，在大幅降低计算维度的同时保留了核心物理模态。在

训练阶段，我们采用了 v-prediction 参数化策略与逐模态方差缩放技术，通过预测潜空间残差变化实现稳定的条件扩散演化。在模拟算例的验证方面，本研究目前以一维粘性 Burgers 方程为基础，该方程在小粘性系数下产生的陡峭梯度结构是检验模型捕获非线性激波能力的经典基准。实验采用空间 1024 个网格点的高清物理场数据，针对直接在全空间运行扩散模型导致的算力瓶颈与采样延迟问题，通过 POD 降阶技术将高维计算转移至低维且平滑的正交潜空间中进行。结果表明，潜空间 MLP 架构在处理正交独立系数时学习效率更高，单轮训练耗时仅 6 秒，显著优于传统 U-Net 及物理空间扩散模型。为了进一步充实验证的丰富度，引入了更多层级的模拟场景：利用 Kuramoto-Sivashinsky 方程验证模型在处理时空混沌与抑制长时序自回归误差爆炸方面的鲁棒性；通过二维圆柱绕流算例展现框架在更高维空间下的降阶表征能力与涡旋动力学捕捉精度，探索多物理场耦合下的潜空间演化规律，从而全面评估模型在复杂非线性系统中的泛化性。

**报告人简介：**潘晓敏，2017 年博士毕业于韩国延世大学。现任上海大学数学系副教授，硕士生导师。主要探究解决各种非线性耦合多物理场问题的算法，如依赖时间的不可压缩流、围绕复杂几何形状的流动、自然对流和共轭传热动力学、多相流、以及不确定性量化问题等。在 Journal of Computational Physics, Physics of Fluids, International Journal of Heat and Mass Transfer, Computers & Mathematics with Applications 等期刊发表论文 20 余篇。获得上海市 2020 年度“科技创新行动计划”扬帆计划项目，入选 2020 年上海市青年东方学者、上海市海外引智计划，主持国家自然科学基金、上海市自然科学基金各 1 项，主持空天飞行空气动力科学与技术全国重点实验室计算数学专题开放课题 1 项。

## AI 及运筹优化技术在供应链领域落地的挑战以及进展

戚永志（京东集团）



**报告摘要：**本次分享将探讨 AI 与运筹优化（OR）技术在京东大规模供应链落地中的挑战与实践。面对千万级 SKU、庞大仓网及强耦合决策链路带来的极致复杂性，团队在预测、补货、仿真、规划及履约全链路实现了系统性技术突破：通过构建可解释的时序大模型 PCLTM 与 RLHF 框架精准捕捉需求波动，创新提出端到端深度学习补货模型及 ORPR 强化学习框架，实现了运筹优化与 AI 的深度融合并显著降本增效，同时搭建高精度仿真平台与智能履约决策中心，成功攻克海量订单并发下的实时调度难题。最后将重点分享 AI 和 OR 技术融合的发展思考。

**报告人简介：**京东 Y 事业部供应链算法团队技术总监，科技部重大项目课题负责人，香港大学客座教授，中国运筹学会数据科学与运筹智能分会委员，Asia-Pacific Journal of Operational Research 副编辑（AE）。目前负责选品、定价、库存、履约等供应链全链路算法优化工作，致力于算法驱动的内外部供应链效率改善工作，协同企业和科研院校打造“产学研用”协同合作体系，打造智能供应链人工智能平台，带领团队打造的技术成果先后入围 INFORMS Franz Edelman Finalist，荣获 INFORMS Prize、Daniel H. Wagner Prize、Gartner 技术创新等多项奖项，个人积极在 Management Science, POMS, M&SOM 以及 IEEE Transactions 等期刊发表学术论文，持续推进供应链、人工智能、运筹优化等技术的落地应用推广。

## 提升“步行吸引力”：城市步行社区的数据驱动设施布局

祁炜（清华大学）



**报告摘要：**为应对汽车主导的城市发展困境，本研究提出一种数据驱动设施布局优化方法，旨在提升城市街区“步行吸引力”。不同于传统仅关注距离可达性的做法，我们利用百万级出行数据，构建了潜类别 Logit 模型，精细刻画居民在不同出行目的（如休闲 vs 通勤）下对沿途设施的真实偏好。在此基础上，运用指数锥规划将布局问题转化为可精确求解的优化模型，并针对大规模场景设计了带性能保证的贪心算法。北京五道口案例表明：相比传统方案，新布局能显著提高步行概率，且几乎不牺牲设施可达性。有趣的是，研究揭示了“群众智慧”现象——当前自发形成的商业布局已蕴含一定步行友好逻辑，而最优布局则呈现“宜散则散，宜聚则聚”的规律：步行基础好的区域适合分散布局，反之则需集中设施以弥补环境短板。

**报告人简介：**祁炜，清华大学工业工程系长聘副教授，国家高层次人才，中国运筹学会数据科学与运筹智能分会（筹）秘书长，基金委专项项目负责人。加入清华前任加拿大麦吉尔大学管理学院副教（终身教职）、美国劳伦斯伯克利国家实验室中国能源研究室战略顾问。祁炜团队的研究方向是智慧城市与供应链运筹。研究发表在 Operations Research、Management Science、M&SOM 等期刊。其跨学科研究发表在 IEEE Transactions on Power Systems、Neurips 等系统工程期刊和国际会议上。曾获 INFORMS 选址分析领域新星奖、INFORMS 能源领域、自然资源领域、交通物流领域年度最佳论文奖等学术荣誉。

## 面向生物医学的视觉-语言模型因果条件提示学习

王如心（中国科学院深圳先进技术研究院）



**报告摘要：**面向生物医学数据分析中标注稀缺、模型决策透明度低以及跨类别泛化能力不足等挑战，本报告聚焦医学视觉-语言模型的提示学习与可解释性分析，针对模型在未见类别上泛化性能受限问题，提出 BiomedCCPL 框架，通过视觉引导自适应原型生成图像条件提示，并引入协同因果解耦的动态提示，使模型聚焦于已见与未见类别共有的影像学特征；针对现有概念解释方法忽略概念与视觉背景交互的局限，提出一种新的解释框架，实现对模型推理过程的细粒度解释，以期构建更可靠、透明的医学人工智能模型提供技术支撑。

**报告人简介：**王如心，中国科学院深圳先进技术研究院研究员，中国科学院大学博士生导师，中国科学院特聘研究岗位（骨干人才），深圳市“鹏城孔雀计划”特聘岗位，中国运筹学会数学与智能分会副秘书长，中国计算机学会生物信息学专委会委员，中国人工智能产业发展联盟医学人工智能委员会标准与评测工作组专家，广东省精准医学应用学会医学大数据与人工智能分会常务委员。主要研究方向包括因果机器学习与优化，多模态表征计算，图像处理等。获吴文俊人工智能科学技术奖自然科学二等奖、广东省科技进步二等奖、深圳市科技进步一等奖，深圳市优秀科技论文，广东省计算机学会优秀论文奖等。主持国家重点研发

计划青年科学家项目，国家自然科学基金面上项目、青年项目，广东省自然科学基金面上项目，深圳市优秀创新人才培养项目及华为横向课题等。

## Efficient temporal splitting scheme for high contrast multiscale problems

王亚婷（西安交通大学）



**报告摘要：** In this talk, we introduce a parallel algorithm based on the temporal splitting scheme for multiscale flow problem. The idea is first to evolve the partially explicit system using a coarse time step size, then correct the solution on each coarse time interval with some fine propagators. This procedure is then performed iteratively till convergence. We analyze the stability and convergence of the proposed algorithm. The numerical experiments demonstrate that the proposed algorithm achieves high numerical accuracy for high-contrast problems and converges in a relatively small number of iterations. The number of iterations stays stable as the number of coarse intervals increases, thus significantly improving computational efficiency through parallel processing.

**报告人简介：** 王亚婷，西安交通大学副教授、博士生导师，2018年获美国 Texas A&M University 博士学位，2018-2021年在普渡大学从事博士后研究工作，2021-2022年为香港大学数学系 tenure-track 助理教授，2022年7月起任职于西安交通大学数学与统计学院，主要研究方向为多尺度计算方法、模型降阶及算子深度学习方法，在 SIAM Journal on Scientific Computing、Multiscale Modeling & Simulation, Journal of Computational Physics 等期刊上发表学术论文多篇。主持国自然青年项目、国自然数学天元“交叉重点青年专项”以及陕西省科协青年人才托举计划。

## 基于均衡稀疏表示的深度学习方法及应用

杨晓慧（河南大学）



**报告摘要：** 本报告分享基于实际问题中多架构、多任务的需求，如何有效地设计基于均衡稀疏表示的深度学习方法，进而探讨其在目标检测、分类、分割、复原和图文大模型等多种实际领域中的应用。

**报告人简介：** 杨晓慧，河南大学-教授、博士生导师。北京大学、美国佛罗里达大学和新加坡南洋理工大学公派访问学者，河南省优秀研究生导师团队负责人、河南省高等学校青年骨干教师，河南省人工智能理论及算法工程研究中心主任，中国工业与应用数学学会-大数据与人工智能专委会-副秘书长、中国工业与应用数学学会-青年工作委员会-副秘书长、全国工业统计学教学研究会人工智能与大数据专委会常务理事等。关注实际问题驱动的人工智能理论、算法及应用研究。发表学术论文近百篇，出版专著5部，授权发明专利15项，主持国家自然科学基金青年及面上基金、中国空间技术研究院（航天五院）CAST 创新基金、河南省校企协同创新项目、河南省研究生校企共建核心课程项目等教科研项目，主持获河南省科技进步三等奖、河南省教育厅科技成果一等奖等奖励。

注：按姓氏拼音排序。