

# 鄂维南

## 一、课题名称

机器学习理论和算法

## 二、课题简介

1. 机器学习与科学计算的结合
2. AI for Science 课题（化学、材料等）

## 三、导师介绍

鄂维南，北京大学国际机器学习研究中心教授，数学科学学院教授，中国科学院院士，美国数学学会、美国工业与应用数学学会 Fellow，北京大数据研究院院长，北京科学智能研究院(AI for Science Institute)院长。研究领域为应用数学。在数学、应用数学、物理、化学、力学等领域的顶级国际会议上作过邀请报告。2003 年获国际工业与应用数学协会 Collatz 奖。2009 年获美国工业与应用数学学会 Kleinman 奖。2014 年获美国工业与应用数学学会 von Karman 奖。2019 年获得美国工业与应用数学学会和 ETH 共同颁发的 Henrici 奖。2020 年获 ACM Gordon Bell 奖。

## 四、报名要求

无

# 张平文

## 一、课题名称

基于机器学习的精细化天气预报

## 二、课题简介

课题背景：

传统以模式为主的天气预报模式难以满足交通、旅游、农业等领域中日益精细化、定制化的天气预报需求，如何将机器学习更好地应用到天气预报中来，以提高预报的准确率和时效性将很有意义。

研究内容：

- 1) 精细化天气预报模式输出机器学习算法研究；
- 2) 数值模式数据特征工程技术研发；
- 3) 智能预报体统模式后处理程序开发。

研究目标：

完善和推进基于机器学习的精细化天气预报算法研究，提高预报的准确率并研发高质量算法程序。

## 三、导师介绍

张平文，中国科学院院士，发展中国家科学院院士。北京大学数学科学学院教授、博士生导师，百千万人才工程国家级人选，国家自然科学基金委创新群体学术带头人，美国工业与应用数学学会会士，中国工业与应用数学学会会士。现任北

京大学党委常委、副校长，北京大学科技创新研究院院长，大数据分析与应用技术国家工程实验室主任；中国工业与应用数学学会理事长。担任《CSIAM Transactions on Applied Mathematics》主编以及十余种国内外期刊编委；在 JAMS, SINUM, PRL 等杂志发表论文 100 余篇。主要从事复杂流体的数学理论和计算方法、移动网格方法及其应用、人工智能的数学理论、大数据分析与应用等方面的研究，曾获国家自然科学基金二等奖、教育部高等学校自然科学一等奖、何梁何利基金科学与技术进步奖、国家杰出青年基金资助、冯康科学计算奖等多项荣誉。2011 年在第七届国际工业和应用数学大会作大会邀请报告，2014 年在美国工业和应用数学年会作大会邀请报告，2015 年担任第八届国际工业和应用数学大会组织委员会成员及学术子委员会主席，2018 年国际数学家大会（ICM2018）45 分钟邀请报告人。

#### 四、报名要求

应用数学、计算数学等相关专业，学习与研究积极主动。

## 董彬

#### 一、课题名称

基于深度学习的视频压缩

#### 二、课题简介

近年随着网络的飞速发展，视频成为了广泛而重要的信息传播媒介，随之而来的则是昂贵的存储和传输代价。传统的视频压缩方法大多基于手动设计的特征提取方法，压缩比例已经逐渐不能满足快速增长的需要。不同于前者，深度学习采用数据驱动的端到端训练的数据处理模式，能够提取具有多个抽象层次的特征，并将数据转换为紧凑的表示，被认为是一种新兴但是有前途的解决方案。

本课题的研究内容主要是如何将深度学习应用于视频压缩领域。基于深度学习的视频压缩仍处于探索的初级阶段，面临着许多挑战。一方面，可以利用深度学习的特征提取和表达能力，去除视频中的时空冗余性。但目前相对于传统方法的压缩比提升不明显，以及带来了计算复杂度的增加。另一方面，借助于深度学习的数据驱动特性，可以考虑基于特定目的以及类型的视频压缩，例如基于语义信息度量的监控视频压缩。以此获得更加合理的度量和更高的压缩比。

本课题的研究目标是通过更精巧地利用深度学习的特性以及数据属性：1. 进一步提高通用视频压缩算法的压缩比例和效率。2. 提出针对特定视频的压缩算法和度量。以此推动现有视频压缩技术的发展，为下一代视频压缩算法提供有潜力的方向。

#### 三、导师介绍

董彬，北京大学，北京国际数学研究中心长聘副教授。2003 年本科毕业于北京大学数学科学学院、2005 年在新加坡国立大学数学系获得硕士学位、2009 年在美国加州大学洛杉矶分校数学系获得博士学位。博士毕业后曾在美国加州大学圣迭戈分校数学系任访问助理教授、2011—2014 年在美国亚利桑那大学数学系任助理教授，2014 年底入职北京大学。主要研究领域为应用调和分析、反问题计

算、机器学习及其在图像和数据分析中的应用

#### 四、报名要求

希望学生积极主动，能快速学习新事物。线性代数，概率论基础扎实，有一定编程能力。

## 胡俊

### 一、课题名称

各向异性可分离二阶椭圆偏微分方程有限差分离散系统的快速求解

### 二、课题简介

各向异性问题广泛存在于科学与工程计算领域，如各向异性晶体材料、图像处理、各向异性热传导等。考虑各向异性可分离二阶椭圆偏微分方程

$$\begin{cases} -\nabla \cdot (A\nabla u) = f, & \text{在 } \Omega := (0, 1)^2 \text{ 内,} \\ u = u_0, & \text{在 } \partial\Omega \text{ 上,} \end{cases} \quad (1)$$

其中矩阵

$$A = \begin{bmatrix} f_1(x) & 0 \\ 0 & f_2(y) \end{bmatrix}$$

是正定的。针对该问题，需要在各方向分别选择与系数  $f_1(x)$  和  $f_2(y)$  的变差相匹配的离散规模进行有限差分离散。

扩展循环约化算法是 Golub 和 Hockney 提出的循环约化算法的变体，是适用于求解可分离变系数二阶椭圆偏微分方程有限差分离散系统的最优计算复杂度算法。本课题探索将经典的扩展循环约化算法推广应用于上述大规模离散线性代数系统的快速求解，并对算法的稳定性、计算误差和计算复杂度进行理论分析。

### 三、导师介绍

胡俊，北京大学数学科学学院教授，国家杰出青年科学基金获得者，冯康科学计算奖获奖人，研究方向为有限元方法、高维偏微分方程数值解和大规模矩阵计算。

### 四、报名要求

有志于偏微分方程数值解的学习和研究，具有扎实的数学功底和优秀的程序实现能力。

# 邵嗣烘

## 一、课题名称

离散建模与组合优化

## 二、课题简介

课题背景

生活中存在各式各样的数学问题，其中一些问题如背包问题，旅行商问题等是天然的整数规划问题，这意味着可行集是离散的，那么需要对问题进行离散建模；往往这些问题还是 NP 难的，因而探索离散问题的数学性质来设计高效的组合优化算法也至关重要。图是描述许多组合问题和算法的“通用语言”，所以我们以图出发点，从经典的 NPC 问题——最大割问题入手，结合其不可近似性，可以探讨理论计算机科学(TCS)中的许多论题。TCS 的问题涉及到图等离散结构，代数，数论等多方面的数学工具，极具挑战性。图割问题中，除了最大割问题，Cheeger-type 问题也是一类重要的图割问题，同样是 NP 难问题。它们的 2-Laplacian 谱理论及算法已有几十年的历史。近几年，它们的 1-Laplacian 谱理论和算法开始发展，并逐渐形成一套从离散问题，到等价连续建模，并在此基础上进行算法设计和理论分析的技术。相比于 2-Laplacian，1-Laplacian 保留了离散问题的非光滑性，直观体现是离散的问题具有连续等价形式，它的目标函数是分式结构，分子和分母都具有一次齐次性和分片线性性，因而其具有变分结构，从而可以开展对应的特征值问题的理论分析，即 1-Laplacian 谱理论研究，将图本身的性质纳入分析的范畴。

研究内容

以离散问题——图割问题为研究对象，建立数学模型，探索离散结构的设计、分析及应用，目标是设计高效算法。以最大割和 Cheeger 问题为例，研究如何建立起离散问题到连续问题的模型，并由此发展迭代算法，并探究如何将这种算法应用于其他组合问题。再通过研究非光滑函数在凸多面体上的临界点理论，进行相应的 1-Laplacian 的谱分析，探究谱的存在性，重数等问题，并探究图论中的一些特殊量如独立数，染色数和特征值之间的关系，从而构建起离散问题，到连续建模及计算，再到谱理论分析之间的研究框架。另一方面，还是以最大割问题为例，学习图灵机和语言复杂性分类的定义，理解 P, NP, PCP, APX, MAXSNP 等语言类的含义，学习一些经典结论的证明。

研究目标

1. 初步掌握图割问题的建模技术，如考虑设计一些可以将离散问题建模成连续等价的优化问题的扩展技术。
2. 初步掌握分式形式连续问题的算法设计技巧，如可以通过引入次梯度设计迭代格式，探讨其收敛性，并结合实验进行分析。
3. 对于连续等价的优化问题，学习临界点理论的分析技术，将其转化为具有变分形式的特征值问题，并进行 1-Laplacian 谱分析，在此期间可以讨论图论中的特殊数学量和特征值的关系。
4. 初步掌握 TCS 分析的语言工具，设法刻画一些图问题的难度，例如证明其 NP 难度或给出高效算法或者探索不可近似性的理论。

## 三、导师介绍

邵嗣烘，北京大学数学科学学院副教授，毕业于北京大学数学科学学院并获

得理学学士和博士学位，先后到访过北卡罗莱那大学夏洛特分校，香港科技大学，普林斯顿大学、塞维利亚大学和香港中文大学等。主要开展面向智能、量子 and 计算的交叉融合研究，落脚点在基础的数学理论和高效的算法设计，强调离散数学结构的设计、分析和应用。具体研究领域包括：高维问题的数值方法、组合优化、计算量子力学、图（网络）上的数学及其算法、微分方程数值解和脑科学等，获国家自然科学基金青年，面上和优青连续资助。2019 年入选北京智源人工智能研究院“智源青年科学家”。2020 年获北京大学优秀博士学位论文指导老师。2021 年获北京大学黄廷芳/信和青年杰出学者奖。曾获中国计算数学学会优秀青年论文一等奖，北京大学学术类创新奖，北京大学优秀博士学位论文三等奖，宝洁教师奖和北京大学优秀班主任等。

#### 四、报名要求

数学基础课（至少包括数学分析，高等代数和概率论）的成绩至少优秀，可以和其他人愉快地聊数学，优先考虑有数学竞赛基础的。

## 文再文

### 一、课题名称

大规模优化问题的算法与理论

### 二、课题简介

课题背景：

最优化是科学计算、机器学习和人工智能的重要理论与算法基础之一。如何显著降低计算代价，达到效率的量级提升很有挑战。

研究内容：

1) 大规模凸优化问题（线性规划，二次锥规划，半定规划）和非线性规划问题的算法设计，理论分析，开源程序开发。

2) 大规模整数规划问题融合模型和数据的算法设计，理论分析，开源程序开发。

3) 深度学习的优化算法与理论。

4) 强化学习的优化算法与理论。

研究目标：

发展大规模优化问题的理论和算法，实现高质量的学术软件。

### 三、导师介绍

文再文，北京大学北京国际数学研究中心教授，工学院工业工程与管理系主任，主要研究最优化算法与理论。2016 年获中国青年科技奖。2020 年获国家万人计划科技创新领军人才，现为中国运筹学会常务理事，中国运筹学会数学规划分会副理事长。

### 四、报名要求

数学分析，高等代数基础好，能积极主动沟通进展。

# 杨超

## 一、课题名称

张量网络缩并的随机算法研究

## 二、课题简介

张量网络是一种高效的高维数据表示工具，广泛应用于各研究领域如量子物理/化学、人工智能、科学计算。基于张量网络的基本数学操作则是算法性能的主要挑战，其中张量网络缩并就是一个非常重要的基本操作，针对该数学操作的高效算法设计对很多应用领域意义重大。张量网络缩并的挑战主要来源于缩并过程中出现的中间计算量和内存爆炸问题，而选择最优张量缩并路径是 NP 难问题，并且不同缩并路径对应算法的并行效率也有较大区别。

近年来，随着数值线性代数的发展，随机算法在经典问题如矩阵乘、QR、奇异值分解上已经起到了非常重要的作用，其不仅理论上降低了算法的计算复杂度，还极大地提高了算法的并行效率。张量网络缩并本质上等价于一系列矩阵乘操作。一方面可以考虑结合现有的矩阵乘随机算法降低张量网络缩并的计算复杂度，并提高其并行效率；另一方面可以通过随机 QR 或奇异值分解等克服张量网络缩并过程中出现的中间内存爆炸问题。课题计划以规则的张量网络如 MPS 和 PEPS 作为切入点，研究该张量网络缩并的随机算法以及高性能实现。

## 三、导师介绍

杨超，男，北京大学博雅特聘教授、博导，北京大学数学科学学院信息与计算科学系教授，北京大学大数据分析与应用技术国家工程实验室副主任，北京大学科学与工程计算中心副主任，北京大学应用物理与技术中心教授。主要从事与先进计算、超大规模并行计算技术相关的模型、算法、软件和应用研究，研究领域涉及计算数学、计算机科学与应用领域的交叉。先后主持国家自然科学基金项目 6 项、主持和参与国家级科研项目多项，发表学术论文 90 余篇。研究成果曾先后获 2012 年中国科学院卢嘉锡青年人才奖、2016 年美国计算机学会“戈登·贝尔”奖、2016 年中国十大科技进展新闻、2017 年中国科学院杰出科技成就奖、2017 年 CCF-IEEECS 青年科学家奖、2018 年茅以升北京青年科技奖、2019 年湖南省自然科学二等奖、2020 年首届王选杰出青年学者奖等，先后入选中组部“万人计划”青年拔尖人才、北京市“杰出青年”科学基金。

## 四、报名要求

计算数学或有关专业，数值线性代数基础扎实的本科生。

# 张成

## 一、课题名称

机器学习中的优化与抽样算法

## 二、课题简介

优化与抽样算法已经成为机器学习的重要计算方法。相对于发展较为成熟的优化算法，抽样算法目前还不太完备。本课题将探索抽样算法与优化算法之间的连接，以设计更广泛高效的抽样算法，并建立和拓展算法的严格的收敛性分析理论。

## 三、导师介绍

张成，北京大学数学科学学院概率统计系助理教授。毕业于北京大学数学科学学院，先后获得数学与应用数学理学学士学位和计算数学硕士学位。2019年8月入职北大。主要工作在统计推断，机器学习和计算生物学的交叉领域，在统计学顶级期刊，机器学习顶级会议中发表多篇文章。

## 四、报名要求

熟悉优化算法，随机过程相关理论。

# 张磊

## 一、课题名称

解景观的算法及应用

## 二、课题简介

很多物理和化学的实际问题都可以被归为求解具有多个变量的非线性函数的极小值问题，如何寻找能量景观的全局极小和如何找到不同极小之间的关系是计算数学和计算物理领域中有两个长期存在的关键问题。为此，我们提出了一个“解景观”的原创概念，并发展了一系列构建解景观的算法。我们将解景观定义为一个包含所有解和解与解之间连接关系的路径图。这里的解包含了所有稳定的极小解和不稳定的鞍点解，而路径图则描述了不同的极小被相应的一阶鞍点连接，低阶鞍点被相应的高阶鞍点连接，最终连接到最高阶鞍点的层次结构图。

我们将围绕解景观的理论、算法及应用开展探索性研究，解决具有挑战性的前沿交叉问题。具体研究问题包括：

- a. 解景观的理论基础；
- b. 解景观的高效算法；
- c. 细胞调控线路的解景观设计；
- d. 构建深度神经网络的解景观。

## 三、导师介绍

张磊，北京大学北京国际数学研究中心长聘副教授/研究员、定量生物学中心PI。2009年在美国宾州州立大学数学系获博士学位。研究领域为计算和应用数学，包括稀有事件与解景观的算法与应用，计算材料科学，计算系统生物学等。

研究成果在 Phys. Rev. Lett., PNAS, Acta Numerica, Cell 系列, SIAM 系列等期刊发表。先后获得中组部高层次青年人才计划、基金委优秀青年基金、英国皇家学会牛顿高级学者、基金委原创探索计划项目、王选杰出青年学者奖, 目前担任国家重点研发计划项目首席科学家。在学术期刊 SIAM J. Appl. Math, CSIAM Trans. Appl. Math, DCDS-B, The Innovation, 《计算数学》担任编委。

#### 四、报名要求

具有扎实的数学基础和优秀的编程能力, 积极主动, 善于思考。

## 周珍楠

### 一、课题名称

机翼防除冰问题中的不确定量化

### 二、课题简介

课题背景

实现安全性与经济性的核心竞争力是飞机设计成功的关键。本项目针对飞机防冰设计的需求, 聚焦飞机“结冰不确定性量化”核心科学问题, 针对性地展开数学理论、计算方法的探索与研究。

研究内容

(1) 研究环境因素、气象条件等不确定因素对飞机结冰及气动特性影响的规律, 研究机翼结冰冰形的不确定性量化;

(2) 建立飞机结冰不确定性量化的数学原理, 探索带不确定性参数的高效计算方法;

(3) 基于前两个方面的探索研究基于不确定量化的防除冰策略。

学习和研究目标

(1) 组内同学熟悉和掌握不确定量化的基本原理。

(2) 组内同学熟悉和掌握结冰过程的科学计算方法。

(3) 探索相关科学问题的学术前沿, 提出合理的研究计划。

(4) 设计出符合需求的算法, 并形成系统的数值实验报告。

### 三、导师介绍

周珍楠, 北京大学北京国际数学研究中心研究员、博士生导师。2014 年在美国威斯康辛大学麦迪逊分校获得博士学位, 2014-2017 年在美国杜克大学担任助理研究教授, 2017 年加入北京大学北京国际数学研究中心, 任研究员、博士生导师。主要研究领域为微分方程的应用分析, 微分方程数值解, 应用随机分析, 随机模拟等, 特别是关注来源于自然科学的应用数学问题。

### 四、报名要求

希望报名的同学对科学计算感兴趣, 有数值计算和随机模拟基础的同学优先。