

附件 2

“数学和应用研究”重点专项 2021 年度项目申报指南

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“数学和应用研究”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2021 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：面向国家战略需求，解决一批影响未来发展的重大数学与应用问题，提升我国自主创新能力。

2021 年度指南围绕数据科学与人工智能的数学基础，科学与工程计算方法，复杂系统的分析、优化、博弈与调控，计算机数学理论与算法，基础数学重大前沿问题研究等 5 个重点任务进行部署，拟支持 13 个项目，拟安排国拨经费概算 1.45 亿元。同时，拟支持 24 个青年科学家项目，拟安排国拨经费概算 7200 万元，每个项目 300 万元。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。同一指南方向下，原则上只支持 1 项，仅在申报项目评审结果相近、技术路线明显不同时，可同时支持 2 项，并建立动态调整机制，根据中期评估结果，再择优继续支持。

申报单位根据指南支持方向，围绕重大科学问题和关键技术进行设计。项目应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部内容。项目执行期一般为 5 年。一般项目下设课题数原则上不超过 4 个，每个项目参与单位总数不超过 6 家。申请“基础数学重大前沿问题研究”领域的项目参与单位数不超过 3 家。鼓励依托国家重点实验室等科研基地、国家应用数学中心组织项目。项目设 1 名负责人，每个课题设 1 名负责人。

青年科学家项目支持青年科研人员针对数学重大前沿问题潜心研究，鼓励开展另辟蹊径的前沿探索，主要支持基础数学研究、少量支持应用数学前沿研究，可参考重要支持领域（标*的方向）组织申报，但不受研究内容和考核指标限制。青年科学家项目不再下设课题，项目参与单位总数不超过 3 家。项目设 1 名项目负责人，青年科学家项目负责人年龄要求，男性应为 1986 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1983 年 1 月 1 日以后出生，原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

本专项 2021 年度项目申报指南如下。

1. 数据科学与人工智能的数学基础*

1.1 油气管网安全运维的大数据分析理论与算法

针对油气管网运维和安全预警中出现的小样本、非平衡、高维、异构等数据特征，发展机理建模与机器学习相结合的大数据

分析理论与方法。提出小样本学习的新型深度神经网络架构、学习方法与性能评估理论；突破超高维优化变分分析框架，设计有理论保证的高效随机优化算法。将理论与方法应用于复杂油气管网运维优化与安全预警，建立油气管道第三方入侵预警技术，支持不少于 3 种典型业务场景，准确率不低于 90%；构建图像特征识别深度学习架构，实现环焊缝缺陷识别准确率 75%以上、管道线路特征识别准确率 90%以上；提出机器学习与混合整数规划相融合的新算法，用于复杂管网运营优化，在 3 条以上典型天然气和成品油管道上现场应用验证。

1.2 可解释深度学习的微分嵌入与最优传输理论

针对深度学习缺乏理论可解释性的难题，建立可解释深度学习的微分几何和最优传输理论，并应用于解决多中心/多模态医学影像分析问题。具体研究深度神经网络复杂映射机制的微分几何与最优传输理论解释；发展保结构的低维流形隐空间嵌入理论和最优传输理论，研究最优传输映射的高效计算理论与算法；建立最优传输奇异点理论，有效消除模式坍塌问题；研究基于保结构流形嵌入的可解释深度编解码网络，发展基于保结构最优传输理论的生成对抗、分布变换、模态转换几何深度学习模型与优化算法。应用所发展的可解释几何深度学习方法，解决多中心/多模态医学影像的跨模态影像转换、缺失模态影像生成和多中心影像数

据分布对齐等问题，提升深度学习在医学辅助诊断应用中的跨模态/跨中心应用泛化能力。

1.3 支持机器学习自动化的元学习理论与应用

研究实现机器学习“自身模式之学习”的元学习范式，形成机器学习数据样本、模型算法、环境任务各层面自动化的元学习方法；建立基于无穷维贝叶斯与统计学习的元学习泛化性与可学习性基础理论，形成多学习任务元学的算法的收敛性理论；实现数据自选择、标注自校正、模型自构建、算法自设计、环境自适应、任务自转换的元学习基础算法，降低机器学习超参调整率 50% 以上，在典型分类、检测和分割任务上算法性能达到国际最佳水平；在大规模教学监控网络数据分析中，支持 10 种以上不同教学场景下的教室人群计数、听课状态检测和交互行为识别任务，实现教室人群自动计数错误率低于 1%，有效识别 4 种以上典型听课状态与 5 种以上交互行为，识别错误率低于 5%；研发系统能够支持 24 小时全天候教学系统实时多监控任务分析，在超过 10 个省市 200 所以上大、中、小学实现规模化应用。

2. 科学与工程计算方法*

2.1 基于流体动力学与数据融合的典型心脑血管疾病计算模拟和临床验证

研究典型心脑血管疾病的机理与数据融合的数学模型及模拟。发

展基于医学影像数据的血管重建算法，建立高保真多尺度血流动力学模型，构造高精度流固耦合问题计算方法与可扩展并行算法，初步研制完成相应软件平台，建立相关疾病的预警指标体系及辅助个性化诊疗系统；研究脑组织微循环的多场耦合的热力学相容可计算模型与数值方法，发展融合脑部影像和电生理数据的数据同化算法，建立模型的最优控制及治疗策略，研制一套相应脑功能障碍疾病辅助诊疗方案；完成至少数十例真实病例的计算，对临床关心的指标，如血流储备分数（FFR）的计算结果与测量数据之间的误差控制在5%~10%之间。

3. 复杂系统的分析、优化、博弈与调控*

3.1 智慧城市交通系统若干关键技术的数学理论与算法

研究复杂交通流运行机理、多方式动态出行行为规律，构建智慧城市交通顶层设计和日常运行管理中的数学理论和模型，突破数据应用瓶颈。建立复杂路况的线路优化设计和大规模动态路径规划实时高效算法，动态、异构、多源数据的融合分析、在路网上的路径协同优化方法以及多源信息组合导航增强技术的数学方法，智慧信号灯的智能感知及运行控制优化模型与算法、新型智慧城市交通混合出行需求预测方法、重大突发事件下城市交通流传播计算模型与运行状态仿真算法、关键系统运行的可靠性分析与监测；搭建面向大中城市的不少于5种典型交通场景的智慧

城市交通运行算法及示范应用平台，并进行典型城市应用。

3.2 复杂感知系统博弈演化理论及应用

揭示复杂感知系统的环境认知方法与自组织博弈决策机理，建立信息驱动的感知系统自组织博弈决策理论，构建多节点协同的环境时空认知模型和信息流动模型、感知节点之间信息关系的定量描述方法，设计系统的博弈演化学习算法并分析算法的收敛性与稳定性；面向典型应用场景构建仿真平台，实现干扰与杂波等多类环境信息下的自适应协同感知。以研发下一代预警探测系统为背景，在三维复杂环境中部署多个可自由飞行的自组织感知节点组成飞行感知阵列，构建系统仿真平台，感知节点个数不少于 20 个，平台协同认知决策时间最长不超过 1 秒，环境协同认知准确率不低于 90%。

4. 计算机数学理论与算法*

4.1 通信领域若干关键问题的数学理论和算法

构建多域协同的动态网络信息理论的数学模型，设计面向多目标的计算、感知与通信的多域自适应协同机理，谱效、能效和时延等综合性能指标得到实质性提升。给出超大规模多输入多输出（MIMO）系统建模与性能分析框架，实现系统的高精度定量刻画与预测，传输速率提升 1 倍以上。给出 LDPC 码的设计中的置信传播译码的可靠性预测和分析，建立准确预测 Polar 码的列

表译码算法行为的数学模型，提高码吞吐量，降低时延；初步建立代数几何码的高效硬判决译码器和软信息译码器的数学原理。给出语义信息的数学表征以及最优语义编解码的架构和算法；面向语义的信息传输速率得到提升；初步建立语义编码的数学理论基础。

4.2 区块链系统的关键密码理论及系统设计

发展区块链系统中用户身份和交易信息的隐私保护方法，既能保证信息的安全性又满足监管要求；设计基于国密算法、可容忍区块链系统中私钥连续泄漏的数字签名方案，以及对应的多方协同签名协议，与通用安全多方计算协议相比计算效率提升 3 倍以上，通信负载降低 10 倍以上；开展不可区分混淆和函数加密的基础理论研究；研究共识算法的安全模型，设计并验证基于国密算法的高延展性的共识机制，延迟小于 100ms，性能不低于 60,000TPS，共识节点可延展到 100 个以上；设计实现基于密码技术（包括但不限于可验证随机函数）的随机选举机制，选举验证时间小于 5ms；研究适用于高数据量、多参与方应用的区块链新型架构和工作模式；研究基于国密算法的兼顾机密性、可用性、完整性的分布式系统设计。

5. 基础数学重大前沿问题*

5.1 Riemann 假设与素数分布

围绕与 Riemann 假设与素数分布相关的前沿问题开展研究。研究 Landau-Siegel 零点, 建立它与素数分布的核心问题的内蕴联系, 如 Goldbach 猜想、Hardy-Littlewood 猜想等; 研究高阶 L 函数的均值及中心线上的零点分布; 探索高阶 L 函数对应的 Riemann 假设及其在高维素数分布问题中的类比; 深化有限域上的 Riemann 假设, 发展代数迹函数的解析理论, 并用于素数分布中孪生素数猜想、Hardy-Littlewood 猜想等著名问题的研究。

5.2 多复变和复几何

针对多复变与复代数几何交叉领域、Teichmüller 空间理论和双曲复几何等重要问题展开深入研究。研究具有特殊性质的全纯函数和全纯截面的存在性与构造; 研究最优 L^2 延拓问题及其在多复变与复几何中的应用; 研究乘子理想层的新性质及其在代数几何中的应用。研究 Teichmüller 空间是否能双全纯等价于复欧氏空间中的某点局部凸的有界全纯域, 研究其边界的局部光滑性。研究双曲复流形是否是 Kähler 的、射影代数的; 研究双曲复流形刻画猜想。

5.3 流体力学方程组的数学理论

研究三维不可压缩 Navier-Stokes 方程具有有限能量光滑初值整体光滑解的存在性问题; 寻找更多的初值函数类使得该方程存在唯一整体解; 研究该方程在可能奇点附近的爆破行为; 研究轴

对称情形不可压缩 Navier-Stokes 方程的 Liouville 型定理、爆破方程解的渐近行为等；利用渐近分析方法研究不可压缩 Navier-Stokes 方程及相关流体力学方程解的粘性消失极限和 Prandtl 边界层的数学理论；研究 Boltzmann 方程的 Hilbert 展开，从数学上严格证明 Boltzmann 方程的极限为可压缩 Euler 方程。

5.4 低维动力系统的拓扑和统计性质

围绕有关低维动力系统的重要前沿问题开展研究。研究复动力系统的结构稳定性的 Fatou 猜想、多峰区间映射的通有性质的 Palis 猜想等；研究一维复动力系统的 Lyapunov 指数，及其与 Fatou 猜想的关系；研究多峰区间映射的 Feigenbaum、Lyubich-Milnor 重整化算子的双曲性，及其与 Palis 猜想之间的关系；研究具有非解析型临界点的区间映射族的横截性质，以及 Milnor-Thurston 的熵单调性问题；研究多项式斜积映射的游荡域问题；研究圆周扩张映射的斜积型线性扩充的拓扑和统计性质。

5.5 统计物理中的概率模型及分析

围绕统计物理中的概率模型及相关问题开展研究。发展奇异随机偏微分方程的适定性与遍历性理论，包括随机量子化方程及其在 Φ^d 场、规范场论中的应用；研究微观超临界随机微分方程及与宏观流体力学方程之间的联系；研究局部及非局部随机动力学方程的正则化效应；研究 KPZ 普适性以及 KPZ 不动点的分析刻

画；发展关于多体系统平均场极限问题的方法；研究分枝随机游动、平均场模型和多尺度模型；探索针对广义随机能量模型相变问题的方法和工具。

“数学和应用研究”重点专项 2021 年度 “揭榜挂帅”榜单

为深入贯彻落实党的十九届五中全会精神和“十四五”规划，切实加强创新链和产业链对接，“数学和应用研究”重点专项聚焦国家战略亟需、应用导向鲜明、最终用户明确的重大攻关需求，凝练形成 2021 年度“揭榜挂帅”榜单，现将榜单任务及有关要求予以发布。

一、申报说明

本批榜单围绕 5.5G 通信系统设计、基站滤波器生产设计、卫星机电系统性能预测、集成电路设计等重大应用场景，力争在解决制约技术发展的深层次数学问题方面取得突破，拟安排国拨经费不超过 4500 万元。除特殊说明外，每个榜单任务拟支持项目数为 1 项。项目下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 10 家。项目设 1 名负责人，每个课题设 1 名负责人。企业牵头申报的项目，配套经费与国拨经费比例不低于 1:1。

榜单申报“不设门槛”，项目牵头申报和参与单位无注册时间要求，项目（课题）负责人无年龄、学历和职称要求。申报团队数量不多于拟支持项目数量的榜单任务方向，仍按程序进行项目

评审立项。明确榜单任务资助额度，简化预算编制，经费管理探索实行“负面清单”。

二、攻关要求

揭榜立项后，揭榜团队须签署“军令状”，对“里程碑”考核要求、经费拨付方式、奖惩措施和成果归属等进行具体约定，并将榜单任务目标摆在突出位置，集中优势资源，全力开展限时攻关。项目（课题）负责人在揭榜攻关期间，原则上不得调离或辞去工作职位。

项目实施过程中，将最终用户意见作为重要考量，通过实地勘察、仿真评测、应用环境检测等方式开展“里程碑”考核，并视考核情况分阶段拨付经费，实施不力的将及时叫停。

项目验收将通过现场验收、用户和第三方测评等方式，在真实应用场景下开展，并充分发挥最终用户作用，以成败论英雄。由于主观不努力等因素导致攻关失败的，将按照有关规定严肃追责，并依规纳入诚信记录。

三、榜单任务

1. 5.5G 大规模 MIMO 通信系统的超分辨率参数估计和补全问题

需求目标：研究 5.5G 大规模 MIMO（Massive MIMO）系统的无线信道信息（CSI）估计与波束赋形算法优化设计相关的超

分辨参数估计和补全问题，包括：1、在时分双工（TDD）系统中，利用信道结构特征大幅度降低测量误差，通过已知的部分带宽上的测量信道估计整个频带上的信道信息，以及端到端（E2E）场景中最优化设计单用户/多用户的下行权值；2、设计频分双工（FDD）系统的降维反馈矩阵、结合终端反馈的CSI，估计理想的全维度信道；3、设计数模混合（HBF）系统的降维矩阵、结合测量到的降维信道，估计全维度信道信息；4、针对近似稀疏、低信噪比、有限样本、信道非平稳或系统存在各种非理想因素等实际的通信场景，设计对前述算法的性能影响和相应的算法优化方案。具体需求目标如下：

基于下述场景，给出CSI误差的理论下确界，并设计低复杂度算法逼近该下确界（相差1dB以内）：1、TDD系统，3.5GHz频段，64通道；2、FDD系统，2.1GHz频段，8通道或32通道；3、HBF系统，3.5GHz或4.9GHz频段，64通道或32通道。针对CSI的后续应用单用户（SU）、多用户（MU）最优下行权值设计，提出E2E度量下（系统容量等），上述高精度CSI的获取方法，达到容量上界的90%以上。提出利用稀疏性信道特征在稀疏变换域上进行低复杂度矩阵计算的方法，使复杂度和存储相对传统典型运算降低10倍以上。

时间节点：研发时限为4年。

榜单金额：不超过 1200 万元。

2. 通信基站滤波器高性能设计和智能高效生产的数学应用研究

需求目标：针对 5G 通信基站核心射频通信器件-滤波器高性能拓扑设计要求和高精度自动化生产需求，研究非摩尔射频滤波器的自动化、规模化、高效化生产方法，实现 5G 基站的规模建设。针对滤波器的智能高效生产中滤波器的自动化调试问题，通过研究基于矩阵相似变换求给定场景下特定解的方法，解析求解制约生产效率的寄生参数和对未知网络拓扑的模型拟合问题。针对滤波器的不同频段（sub1G，2.6G，3.5G 等）、不同形态（介质、腔体），各频段形态滤波器自动化调试覆盖率提升 50%，实现滤波器的智能化生产。研究高性能新型滤波器设计的基础理论，包括滤波器的新结构、低插损、高抑制，实现高性能 5G 网络覆盖；通过研究矩阵的相似变换问题，解决多通带射频滤波器网络拓扑变换，双模多模并存的模型构建问题。具体需求目标如下：

基于矩阵相似变换的解析方法，完善多通带、高集成、轻量化的复杂滤波器设计理论，满足未来高性能网络布局下滤波器最优设计的需求，给出理论文档和软件。基于含有未知变量的矩阵相似变换的数学方法，解析求解未知变量，用于滤波器模块多变量干扰下的模型识别，保证静态场景下有效率不低于 99%，动态

调试场景下有效率不低于 90%。基于欠定条件下的矩阵相似变换的数学模型，建立凸方法，识别可控稳定的数学模型，确保优化解在限制条件下唯一或工程实现最优，优化解提取误差小于 1%。

时间节点：研发时限为 3 年。

榜单金额：不超过 900 万元。

3. 大型遥感卫星在轨机电性能退化的压缩感知及预测方法

需求目标：基于压缩感知技术对大型遥感卫星进行在轨状态监控并预测机电性能退化。研究多源异构监测信息的压缩感知与高效重构算法：基于卫星在轨监测的机电运行状态多源异构数据，开展压缩感知数学建模和优化求解算法研究，解决在轨硬件资源受限条件下的欠定状态反演问题。研究基于不完备数据的卫星机电性能退化预测方法：基于卫星在轨自感知信息及不完备数据，开展机电性能退化的数学建模和人工智能预测方法研究，解决环境要素强不确定条件下的性能退化自适应智能预测难题。具体需求目标如下：

新型压缩感知和重构算法可应用于展开尺寸达百米或机械口径达 30m 量级的遥感卫星在轨机电性能退化预测与诊断，对关键指标预测偏差不超过 30%、对关键部件典型故障的诊断成功率不低于 60%。与传统小波分析和傅里叶分析算法相比，新算法的仿真分析精度提升不低于 10%、计算效率提升不低于 10%。

时间节点：研发时限为 3 年。

榜单金额：不超过 900 万元。

4. 数字电路物理设计自动化中的数学创新方法与软件模块研发

需求目标：针对数字电路物理设计中的布局、布线和签核环节的最优求解，研究针对版图规划和布局问题中的非光滑连续优化模型和快速求解算法；针对全局布线的优化问题，研究拥挤度函数的结构及其逼近模型构建方法，发展新型全局优化算法并研究图论基础在高效智能布线算法中的应用；针对时序功率签核问题，发展电流电压信号响应波形的高精度、超高速求解的数学理论基础和算法。以上研究，电路的实例数量需大于等于 2 百万，使用的工艺为 28nm 或 40nm。具体需求目标如下：

布局模块：与国外主流工具如 Innovus 相比在布局后总线长减少 3% 以上，功耗减少 1%，总负时序裕量（TNS）减少 10%，运行时间缩短 10%。布线模块：在可布通的前提下，与国外主流工具相比，总线长减少 1~3%，通孔数量减少 4%，运行时间缩短 20%。签核模块：在工作电压 0.8~1.2V 的前提下，与 SPICE 分析结果的平均误差小于 3%；运行时间与世界主流产品相当或更快。对标的国外主流工具版本限制在 2018 年下半年版本。

时间节点：研发时限为 3 年。

榜单金额：不超过 1500 万元。