

2022 年度国家自然科学基金专项项目“天气和气候中数据同化的数学理论与算法”指南

随着气象卫星等遥感观测水平的不断提高，数据同化方法在天气预报和气候预测领域正发挥着越来越重要的作用。通过融合数值模型与观测资料，数据同化可反演无法直接测量的关键变量和未知参数，从而显著提高了天气预报和气候预测的能力。观测数据的多源异构性以及地球系统多圈层耦合建模给天气、气候中的数据同化带来诸多困难与挑战。传统的数据同化方法已不能满足需求，亟待从基础理论、新型算法层面实现新突破和给出新的指引。为此，应集中研究数据同化方法的多误差分析理论，建立观测资料的敏感性、不确定性量化理论，构造基于粒子型或混合型的新型滤波算法，发展数据分析与人工智能融合的研究模式，面向我国气象卫星等观测系统以及高性能计算平台，形成具有自主知识产权的天气、气候数据同化新原理和新技术。

国家自然科学基金委员会基础科学板块现启动“天气和气候中数据同化的数学理论与算法”专项项目，将围绕天气、气候中的数据同化方法开展基础理论研究，推动相关领域学科交叉。

一、科学目标

本专项项目旨在围绕天气、气候中的数据同化方法，聚焦并发展相关的数学理论及其计算方法。拟突破数据同化方法线性化或观测量假设的局限，建立同化滤波方法的非线性渐近性分析以及数据敏感性分析理论框架；面向中小尺度、快变灾害性天气和云雨变量同化，发

展针对特征反演的新型高效同化算法；聚焦超大规模的反演计算问题，研究适合 E 级超级计算机的高可扩展数值计算方法，提高数据同化的计算效率和可扩展性；提升多尺度、多场景下的可预报能力。

二、拟资助研究方向和研究内容

（一）数据同化方法的渐近性与敏感性分析及新型滤波方法（申请代码 1 选择数学物理学部 A04-A06 下属代码）

围绕时序观测数据反演的数据同化方法，发展正则化收敛性分析研究新手段，建立滤波方法的渐近性、敏感性分析理论；面向我国自主研发的卫星系统，提出相关科学问题及其新型同化方法，例如建立卫星参数在轨辨识、修正的反演理论，局部尺度模式的新型观测方式及其预报等。

（二）数据同化中模式误差分析与观测信息补足（申请代码 1 选择数学物理学部 A04-A06 下属代码）

研究变分同化模式误差的产生以及对模式误差进行时时修订的新型同化算法，探索集合同化或混合同化模式误差的表达及影响；针对无法直接观测的物理变量，研究是否可以通过卫星等可观测的数据进行重构，提高在局部可观测情况下全球天气预报结果的准确性等。

（三）集合滤波和变分同化的数学分析和高效算法（申请代码 1 选择数学物理学部 A04-A06 下属代码）

针对数据同化高计算成本和复杂大气参数反演的若干难点，构造基于集合滤波和变分同化的高效计算方法，建立其具有严格数学表征

的理论分析框架。通过模式空间的降维，实现混沌多项式与降阶集合滤波的有效结合，建立最优性分析；针对具有剧变特征、大噪音的天气现象，构造复杂大气参数的新型正则化反演算法；发展适用于多源气象观测资料变分同化的深度学习理论与方法，提高同化算法的泛化性和可解释性。

(四)气象预报区域尺度的新型模式及融合人工智能的同化算法 (申请代码 1 选择数学物理科学部 A04-A06 下属代码)

针对具有代表性的天气现象及地理特征，建立多个面向特殊场景、局部区域尺度的气象预报新型模式，验证模型的有效性并估计模式误差；发展人工智能算法，实现小尺度高频观测数据与大中尺度气象预报信息的有效融合，提升局地高分辨率预报准确率；通过数据同化与人工智能的结合，对接小尺度、精细化的预报需求，实现智能天气会商功能。

(五)面向多尺度、多源、多模式的新型变分同化方法(申请代码 1 选择地球科学部 D04、D05 下属代码)

针对实际应用中的多尺度、多源观测数据或多模式系统模型，研发新型变分同化方法。对于多尺度资料，通过尺度质量控制、背景误差协方差尺度分离等方式提升数据信息的利用率；针对云雨区模式变量的强非高斯性，构造控制变量高斯转化方法及同化模型；针对临近空间天气跨尺度与跨层性，构造同化过程中的多增量方法以提高迭代

效率；建立描述例如大气、海洋与海冰等系统的多模式耦合模型，开展耦合同化方法的研究，提高预测的准确性和稳定性。

（六）面向 E 级计算机的数据同化方法（申请代码 1 选择地球科学部 D04、D05 下属代码）

数据同化中背景误差协方差矩阵描述误差的空间相关性，决定了同化观测时如何协同更新相关的空间点和变量，因此在同化中具有至关重要的作用。开展超大规模的背景误差协方差矩阵的降维近似及其逆矩阵的稀疏表达，研究最优的降维维数和稀疏度使得近似矩阵最大化保留原始矩阵的信息。研究集合卡尔曼滤波同化的同步同化收敛性，与顺序同化进行比较，完善和发展集合卡尔曼滤波理论。

三、资助计划

本专项项目资助期限为 4 年，申请书中的研究期限应填写“2023 年 1 月 1 日—2026 年 12 月 31 日”。计划资助不超过 5 项，资助强度不超过 250 万元/项。

申请项目应在理论上提出明确的创新点，在成果应用方面提出可以核查的考核指标。项目研究团队须由包含数学、地学等不同领域的研究人员组成。

四、申请要求及注意事项

（一）申请条件

1. 具有承担基础研究课题的经历；

2.具有高级专业技术职务（职称）；

在站博士后研究人员、正在攻读研究生学位以及无工作单位或者所在单位不是依托单位的人员不得作为申请人进行申请。

（二）限项申请规定

1.本专项项目申请时不计入申请和承担项目总数范围，从正式接收申请到国家自然科学基金委做出资助与否决定之前，以及获资助后，计入申请和承担项目总数范围。

2.申请人同年只能申请 1 项专项项目中的研究项目。

3.其他限项申请要求按照《2022 年度国家自然科学基金项目指南》“限项申请规定”执行。

（三）申请注意事项

1.专项项目实行无纸化申请。申请书提交时间为 **2022 年 11 月 21 日~11 月 27 日 16 时**。

2.申请人注意事项

（1）申请人在填报申请书前，应当认真阅读本申请须知、本项目指南和《2022 年度国家自然科学基金项目指南》的相关内容，不符合项目指南和相关要求的申请项目不予受理。

（2）本专项项目旨在紧密围绕核心科学问题，集中国内优势研究团队进行研究，成为一个专项项目群。申请人应根据本专项项目拟解决的具体科学问题和项目指南公布的拟资助研究方向，自行拟定项

目名称、科学目标、研究内容、关键科学问题、技术路线和相应的研究经费等。

(3) 申请人登录科学基金网络信息系统 <https://grants.nsf.gov.cn/> (没有系统账号的申请人请向依托单位基金管理联系人申请开户), 按照撰写提纲及相关要求撰写申请书。

(4) 申请书中的资助类别选择“专项项目”, 亚类说明选择“研究项目”, 附注说明选择“科学部综合研究项目”, 申请代码 1 应当按照拟资助研究方向后标明的代码要求选择数学物理科学部和地球科学部相应的申请代码。以上选择不准确或未选择的项目申请将不予受理。

(5) 按照“专项项目-研究项目申请书撰写提纲”撰写申请书时, 请在申请书正文开头注明“天气和气候中数据同化的数学理论与算法”之研究方向: XXX (按照上述 6 个研究方向之一填写)。

申请书应突出有限目标和重点突破, 明确对实现本专项项目总体科学目标和解决核心科学问题的贡献。

如果申请人已经承担与本专项项目相关的其他科技计划项目, 应当在申请书正文的“研究基础与工作条件”部分论述申请项目与其他相关项目的区别与联系。

(6) 申请人应当严格按照《国家自然科学基金资助项目资金管理办法》等相关规定和《国家自然科学基金项目资金预算表编制说明》的具体要求, 认真如实编报项目预算。

3. 依托单位注意事项

(1) 依托单位应对本单位申请人所提交申请材料的真实性、完整性和合规性进行审核；对申请人编制预算的目标相关性、政策相符性和经济合理性进行审核。

(2) 依托单位应在规定的项目申请截止日期前通过信息系统逐项确认提交本单位电子申请书及附件材料，无需报送纸质申请书。项目获批准后，将申请书的纸质签字盖章页装订在《资助项目计划书》最后，一并提交。签字盖章的信息应与电子申请书严格保持一致。

(3) 如依托单位在 2022 年度未上传过《2022 年度国家自然科学基金项目申请承诺书》（以下简称《承诺书》），应从信息系统中下载《承诺书》，由法定代表人亲笔签名并加盖依托单位公章后，将电子扫描件上传至信息系统（本年度只需上传一次）。依托单位完成上述承诺程序后方可提交申请。

(4) 依托单位在项目申请截止时间后 24 小时内，通过信息系统在线提交本单位项目申请清单。清单提交后，国家自然科学基金委方可接收项目申请材料。

4. 本专项项目咨询方式

国家自然科学基金委员会数学物理科学部

联系人：赵桂萍 联系电话：010-62327191

国家自然科学基金委员会地球科学部

联系人：刘哲 联系电话：010-62328511

（四）其他注意事项

1.为实现专项项目总体科学目标，获得资助的项目负责人应当在项目执行过程中关注与本专项其他项目之间的相互支撑关系。

2.为加强项目之间的学术交流，本专项项目群将设专项项目总体指导组和管理协调组，并将不定期地组织相关领域的学术研讨会。获资助项目负责人必须参加上述学术交流活动，并认真开展学术交流。