

# 湍流结构的生成演化及作用机理重大研究计划

## 2022 年度项目指南

湍流结构的生成演化及作用机理重大研究计划以航空、航天、航海、大气环境等领域的国家重大战略需求和湍流相关学科发展为牵引，以建立湍流结构动力学理论体系为核心，通过在数值计算方法、实验测量技术和数据处理及分析方法方面的不断创新，具体针对湍流结构的生成和演化以及在多种条件下的作用机理进行研究。本重大研究计划注重物理机理研究和应用基础研究相结合，提倡概念创新、理论创新、方法创新、技术创新，探索颠覆性的原始创新思想，发展高精度的数值计算方法和精细的实验测量技术，揭示湍流结构的生成、演化和相互作用机理；基于湍流结构的时空演化特性，发展时空精准的湍流模式理论和模型；开展湍流模式理论和模型的综合验证，实现重大工程应用中湍流阻力、热流率和湍流噪声的准确预测和调控。在关键科学问题的研究中获得原始创新结果，为航空、航天、航海等领域重大运载装备的研制及大气环境治理等重要工程领域提供科学理论与方法。

### 一、科学目标

本重大研究计划以在提出新概念、发展新理论、建立新方法和突破新技术等方面获得原始创新成果为目标，解决国家重大工程应用中的若干关键湍流基础难题，从而为提升我国自主创新能力，促进相关技术的跨越式发展提供科学理论支撑。在湍流基础研究领域聚集和培养一支国际前沿、具有创新能力的优秀人才队伍，促进湍流研究领域若干个跨学科基础研究平台的形成，推进我国复杂湍流问题基础研究和工程应用研究的发展，形成湍流基础和应用基础研究的中国学派。本重大研究计划拟在以下四个方面取得突破：

（一）在新概念方面，提出基于结构的湍流研究新概念，探索颠覆性的原始创新思想。

（二）在新理论方面，提出基于结构基元的湍流理论和基于时空耦合和物理约束等的湍流模型。

（三）在新方法方面，给出基于拉格朗日观点的湍流结构表征方法，以及近壁三维湍流结构时空解析、精确、高效的计算和实验测量方法。

（四）在新技术方面，围绕流动控制及减阻、热防护和降噪技术，提出基于湍流结构的应用设计理念，提高湍流应用软件准确度及实用性。

### 二、核心科学问题

（一）多种条件下湍流结构的生成动力学。

从湍流结构生成的观点研究湍流转捩，突破现有稳定性理论的框架，提出基于湍流结构生成动力学的转捩理论。

（二）湍流结构演化的时空多尺度动力学。

从时空耦合的角度研究湍流结构的演化，突破湍流能量级串过程的理论框架，发展基于时空多尺度动力学的湍流理论、计算方法及实验技术。

（三）湍流结构对力热声输运的作用机制和控制原理。

从精细描述湍流结构的角度的角度，研究湍流结构对力热声产生和输运的作用机制，突破传统涡粘模式的框架，实现对阻力、热流和流动噪声的准确预测和控制。

### 三、2022 年度资助研究方向

2022 年度本重大研究计划以“培育项目”和“重点支持项目”的形式予以资助，在要求和资助强度上有所不同。对探索性强、选题新颖的申请将以“培育项目”方式予以资助；对具有原创性、有一定工作积累、有望取得重要突破的申请将以“重点支持项目”的方式予以资助。鼓励来自力学、数学、物理、大气、海洋、工程热物理和信息等不同学科领域的研究队伍共同参与申请。拟资助以下方向：

#### （一）复杂湍流结构的生成及演化。

发展转捩、分离流的先进理论与湍流预测模型；研究旋转条件下的流动转捩、分离和再层流化的机理和预测模型；探讨壁面曲率对旋转流动转捩过程的影响，发展考虑系统旋转和壁面曲率效应的流动转捩理论；基于欧拉/拉格朗日方法，研究高超声速壁湍流结构的生成机理及演化特征；研究不同扰动形式（如粗糙度、尾迹扰动等因素）对边界层转捩过程和位置的影响规律，建立相关理论；研究极端条件下流体界面增长及湍流混合理论；开展多物质界面不稳定性及湍流混合流动结构的生成机理和低维简化模型研究。

#### （二）湍流结构演化的时空多尺度相互作用。

发展两相湍流动力学与运动学的统一模型，研究气泡和颗粒等与湍流结构的相互作用机制；研究典型飞行器内外流激波-湍流、激波-边界层相互作用机理；建立时空多尺度的湍流预测模型；研究考虑可压缩性效应的湍流混合预测模型；建立基于湍流结构时空演化的统计和模式理论；发展湍流拟序结构的动力学模型，揭示近壁湍流结构的自维持机制；建立湍流结构时空演化的降维模型；研究湍流结构与非定常动边界的相互作用机理及其演化规律。

#### （三）湍流结构对力、热、声的作用机制。

发展壁流动的转捩与湍流减阻的主、被动控制方法；研究基于湍流结构和机器学习的湍流流动分离控制方法；探究非定常动边界在湍流中产生推力和升力的机制及相关的稳定性控制方法；研究多尺度湍流结构在传热、传质过程中的作用机理；研究高速飞行器气动热的产生机理，以及湍流结构与气动热的相互作用机制；发展湍流与复杂边界相互作用致声的数学理论，研究湍流噪声致声机理与理论指导的优化控制方法；开展空化多尺度流动结构流致噪声和空蚀的机理与建模研究。

#### （四）湍流高精度的计算方法和高解析度的实验技术。

发展近壁流动的高分辨率显示和精细测量技术；发展湍流边界层结构和高超声速边界层气动热的高精度实验测量方法和技术；研究湍流流动结构及多物理参数场的同步测试与实验方法；发展旋转系统中流动转捩的高精度数值模拟方法及实验测量方法；发展近壁流动转捩的高精度计算方法；发展转捩、分离流的高精度数值模拟方法；发展极端条件下多相湍流的高精度数值方法；发展湍流结构演化及湍流噪声的高精度超大规模计算技术；发展高速流中气动热预测的高精度数值方法。

### 四、项目遴选的基本原则

为确保实现总体目标，本重大研究计划要求：

#### （一）研究内容必须符合本指南要求。

(二) 鼓励开展前沿领域探索性研究, 优先支持具有原创性的湍流结构生成演化机理和湍流模式/模型的新概念、新理论、新体系、新方法的研究。

(三) 鼓励多学科实质性交叉合作研究, 注重理论与实验的有机结合。

(四) 鼓励和优先支持具有实质性国际合作的研究。

(五) 注意与“面向发动机的湍流燃烧基础研究”重大研究计划研究内容的区别。

## 五、2022 年度资助计划

2022 年度拟资助培育项目 6 项, 直接费用平均资助强度约 100 万元/项, 资助期限为 3 年, 申请书中研究期限应填写“2023 年 1 月 1 日-2025 年 12 月 31 日”; 拟资助重点支持项目 6 项, 直接费用平均资助强度约 300 万元/项, 资助期限为 3 年, 申请书中研究期限应填写“2023 年 1 月 1 日至 2025 年 12 月 31 日”。

## 六、申请要求及注意事项

(一) 申请条件。

本重大研究计划项目申请人应当具备以下条件:

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。

执行《2022 年度国家自然科学基金项目指南》“申请规定”中限项申请规定的相关要求。

(三) 申请注意事项。

1. 申请书提交时间为 2022 年 7 月 21 日—7 月 28 日 16 时。

2. 本重大研究计划项目实行无纸化申请。对申请人具体要求如下:

(1) 申请人在填报申请书前应当认真阅读并执行本项目指南、《2022 年度国家自然科学基金项目指南》和《关于 2022 年度国家自然科学基金项目申请与结题等有关事项的通告》中相关要求。

(2) 本重大研究计划将紧密围绕核心科学问题, 对多学科相关研究进行战略性的方向引导和优势整合, 成为一个项目集群。申请人应根据本重大研究计划拟解决的核心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、技术路线和相应的研究经费等。

(3) 申请书中的资助类别选择“重大研究计划”, 亚类说明选择“重点支持项目”或“培育项目”, 附注说明选择“湍流结构的生成演化及作用机理”。根据申请的具体研究内容选择相应的申请代码。

**培育项目和重点支持项目的合作研究单位不得超过 2 个。**

(4) 申请人应当按照科学基金网络信息系统中重大研究计划项目的填报说明与撰写提纲要求在线填写和提交电子申请书及附件材料, 申请书须具有明确的关键科学问题, 突出有限目标和重点突破, 并应论述与本指南最接近的科学问题的关系, 以及对解决核心科学问题和实现重大研究计划总体目标的贡献。

如果申请人已经承担与本重大研究计划相关的其他科技计划项目, 应当在申请书报告正文的“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。

3. 依托单位应当按照要求完成依托单位承诺、组织申请以及审核申请材料等工作。在 2022 年 7 月 28 日 16 时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，并于 7 月 29 日 16 时前在线提交本单位项目申请清单。

4. 其他注意事项。

(1) 为实现重大研究计划总体科学目标和多学科集成，获得资助的项目负责人应当承诺遵守相关数据和资料管理与共享的规定，项目执行过程中应关注与本重大研究计划其他项目之间的相互支撑关系。

(2) 为加强项目的学术交流，促进项目群的形成和多学科交叉与集成，本重大研究计划将每年举办 1 次资助项目的年度学术交流会，并将不定期地组织相关领域的学术研讨会。获资助项目负责人有义务参加本重大研究计划指导专家组和管理工作组所组织的上述学术交流活动。

(四) 咨询方式。

国家自然科学基金委员会数学物理科学部力学科学处

联系人：雷天刚

联系电话：010-62327178