

2021 年度辽宁省自然科学奖提名公示信息

项目名称	表面内能失稳和界面变形耦合作用下热毛细对流的转渡行为研究
提名者	沈阳工程学院
提名意见	<p>我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目符合填写要求。按照要求，我单位和完成人所在单位都已对该项目进行了公示，目前无异议。微重力环境下 Marangoni 对流不稳定性以及流体毛细与界面运动研究已经列入我国载人空间站工程空间科学与应用项目指南，项目完成人前期参与了多项微重力流体物理领域的研究工作。在此背景下，完成人通过对浮区非等温液桥自由面动态响应变形、流动结构演化及其不稳定性的深入研究，开发了考虑表面内能失稳与动态自由面变形耦合作用下的热毛细对流数值模拟方法。通过施加外场作用（剪切气流、横向颤动），实验和数值研究了表面内能失稳与自由界面动态变形耦合效应下的浮区热毛细对流不稳定性、转渡过程和振荡机理。</p> <p>(1) 该项目开展的表面内能失稳与自由面变形耦合作用下浮区热毛细对流研究，同样的工作尚未有文献报道。在一定程度上填补了振荡热毛细对流的研究空白。</p> <p>(2) 该项目开展的外场作用下（剪切气流和横向颤动），角区自由面、速度场和温度场三相耦合振荡关系研究，角区与中间高振荡特性比较研究，同样的工作尚未有文献报道。项目为载人空间站环境下 Marangoni 对流不稳定性以及毛细对流与界面运动研究领域提供了必要的理论支持，为制备高质量、大尺寸半导体元件提供了技术参数，项目在学术与实际应用方面兼具重要价值。对照省自然科学奖授奖条件，提名该项目为 2021 年度辽宁省自然科学奖三等奖。</p>
项目简介	<p>我国面向 2030 年“深度”布局，围绕“深空”核心科技需求，一系列微重力流体物理与空间材料科学重大专项相继开展实施。2017 年，“天宫二号”搭建的液桥热毛细对流实验平台，为空间微重力环境下热毛细对流和界面科学研究创造了有力条件。如何掌握深空环境下半导体材料生长过程背后的微重力流体物理传热、传质与流动规律，成为多相流物理学基础研究中亟待解决的重要课题。</p> <p>近年来，国内外学者已充分认识到自由面变形在毛细对流转渡过程中所发挥的重要影响，但对考虑表面内能失稳与自由面动态变形耦合效应下的热毛细对流研究却鲜有报道。主要存在以下突出问题：</p> <p>(1) 缺少一种高精确、简单且易于操作的动态自由面跟踪与模拟数值方法。</p> <p>(2) 长期以来，表面内能变化对毛细对流不稳定性的影响被广泛忽视。在经典的界面能量守恒方程中，普遍采用表面张力梯度沿自由面积分项取代表面内能变化沿自由面的积分项。</p> <p>本项目利用高速摄像机、高分辨率热成像仪和自主开发的界面影像识别程序包，实验研究外场作用下（剪切气流、横向颤动）表面内能失稳对界面流特性的影响机制及热毛细对流流动结构的三维演化；采用改进的界面能量守恒方程结合质量完全守恒水平集法、计算网格分类再初期化法建立表面内能变化与动态自由面变形耦合的热毛细对流模型，数值研究外场作用下的浮区热毛细对流自由面动态响应规律、振荡机理和转渡过程。</p> <p>(1) 项目采用完成人提出的改进型水平集法和液桥自由面能量平衡修正方程，实现对动态自由面变形的实时跟踪与界面内能变化的耦合。这种考虑动态自由面变形与表面内能变化耦合作用的热毛细对流研究未见报道。</p> <p>(2) 项目通过研究外场作用下表面内能失稳对浮区振荡热毛细对流的作用机制，提出全面的、新颖的振荡热毛细对流受控机理，是对振荡毛细流动基础研究前沿课题的大胆尝试。</p> <p>本项目为揭示热毛细对流对晶体中杂质及掺杂偏析的作用规律，为全面阐明 Marangoni 对流流动结构特征、界面现象及</p>

		失稳机制，为深空环境下载人空间站微重力流体物理及空间材料制备技术提供了一定的理论依据。本项目研究受到国家自然科学基金委的连续资助，科技论文成果被“Physical Review Fluids”，“Journal of Fluid Mechanics”和“International Journal of Heat and Mass Transfer”等多家流体力学和传热传质领域公认的高水平专业期刊引用。							
主要完成人 (完成单位)		沈阳工程学院、东北大学							
代表性论文（专著）目录									
序号	论文（专著）名称/刊名/作者	年卷页码 (xx年xx卷xx页)	发表时间 (年月日)	通讯作者 (含共同)	第一作者 (含共同)	国内作者	他引总次数	检索数据库	论文署名单位是 否包含国外单位
1	International Journal of Heat and Fluid Flow	2016, 61:298-308	SCI	梁儒全	杨硕	杨硕、梁儒全、赫冀成	7	SCI	否
2	Microgravity Science and Technology	2015, 27(1):1-10	SCI	梁儒全	杨硕	杨硕、梁儒全、闫富生、高泰荫、冯玉涛	4	SCI	否
3	Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME	2017,139:122001-10	SCI	梁儒全	杨硕	杨硕、梁儒全、肖松、赫冀成、张硕	2	SCI	否
4	Experimental Thermal and Fluid Science	2018, 98: 662-673	SCI	杨硕	杨硕	杨硕、梁儒全、王国峰、高宇、马瑞、徐有宁、夏永放	2	SCI	否
5									
合 计							15		

注：专家提名项目还应公示提名专家的姓名、工作单位、职称和学科专业。

