

推荐国家自然科学基金项目公示

项目名称	粘弹性流体的流动和传热传质研究
推荐单位	教育部
推荐单位意见： <p>我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。</p> <p>该项目首次提出了根据本构关系计算多孔介质内粘弹性流体流动阻力的新方法，建立了粘弹性流体在多孔介质内非定常流动的新模型，丰富了非牛顿流体力学的新理论；发现了多物理场耦合效应下粘弹性流体在多孔介质内对流发生的新模态、新判据，揭示了粘弹性流体在多孔介质内自然对流的演化规律；将分数阶微积分引入到粘弹性流体力学的研究中，首次构建了粘弹性流体广义分数阶单元的网络表述模式，建立了粘弹性流体力学问题的新理论；建立了钙火花空间反常扩散的力学模型，成功解释了“钙火花峰宽”悖论，发现了钙离子在细胞内反常扩散的新机制，填补了空间次扩散的空白。</p> <p>对照国家自然科学基金授奖条件，推荐该项目申报 2017 年度国家自然科学基金二等奖。</p>	

项目简介:

本项目属于流体力学领域的核心关键基础问题。现实中许多化学流体、生物流体、智能流体等都是典型的粘弹性流体，粘弹性流体的流动问题与石油开采、地下水污染修复、心血管疾病防治等工程应用密切相关，是我国能源、环保、健康领域重点关注的关键力学问题。同时，由于粘弹性流体的本构关系复杂且具有多样性，其流动特征更加具有复杂性、非线性、不稳定性，因此，粘弹性流体力学一直是流体力学的研究热点和难点之一。本项目对粘弹性流体的流动与传热传质进行了系统深入的研究，做出了一系列原创性贡献，获得了一批创新性成果：

1、首次提出了根据本构关系计算多孔介质内粘弹性流体流动阻力的新方法，克服了以往用 Darcy 定律估算流动阻力时没有考虑流体弹性特征的缺点，建立了粘弹性流体在多孔介质内非定常流动的新模型，发现了速度震荡、速度阶跃和速度超射等新现象；

2、发现了多物理场耦合效应下粘弹性流体在多孔介质内热对流发生的新模态和新判据，阐明了其发生的物理机制，得到了粘弹性流体在多孔介质内对流传热效率的标度律，揭示了粘弹性流体在多孔介质内自然对流的演化规律；

3、将分数阶微积分引入到粘弹性流体力学的研究中，首次构建了粘弹性流体广义分数阶单元的网络表述模式，提出了离散求分数阶拉普拉斯逆变换的方法，发现了粘弹性流体启动流的涡量函数依赖于速度剖面的时间历程，而这种时间历程是可以分数阶微积分来刻画的；

4、考虑了细胞液的粘弹性，建立了钙火花反常扩散的力学模型，成功解释了“钙火花峰宽”悖论，发现了钙离子在细胞内扩散的新机制；同时，首

次提出了空间次扩散的新概念,与 Lévy 飞行引起的空间超扩散形成了鲜明对照,填补了空间次扩散的研究空白。

本项目的科学价值在于:不仅创新建立了粘弹性流体力学的新理论、新方法和新判据,丰富了非牛顿流体力学的基础理论,而且,也促进了生物工程、石油化工、地下水污染修复等工程技术的应用。该项目的研究特点体现为:1)研究内容的创新性,多次发表了在国际范围内首次报道的研究成果,获得大量引用和好评;2)研究内容的学科交叉性,本项目的研究内容涉及流体力学、生物力学、传热传质学等多个学科分支;3)研究内容的系统性,本项目包含了粘弹性流体的分数阶本构关系表述、非定常流动、热对流、生物传质及其在实际工程中的应用。

项目执行期间,在流体力学国际一流期刊 *Physics of Fluids*, *Applied Physics Letters*, *International Journal of Non-Linear Mechanics* 等期刊上发表 SCI 论文 70 余篇,有多名国内外院士、ASME Fellow 给出了高度评价,获得广泛关注和大量引用,8 篇代表性论文 SCI 他引 838 次,单篇最高 SCI 他引 222 次,其中 3 篇论文入选 ESI 高被引用论文。课题组成员主持了国家杰出青年科学基金项目、教育部“长江学者”特聘教授奖励计划、教育部新世纪优秀人才计划等科研项目十几项。本项目 2015 年获得高等学校科学研究优秀成果奖自然科学奖一等奖。

客观评价：

本项目的研究成果具有原创性，不仅建立了粘弹性流体力学的新理论、新方法和新判据，推动了非牛顿流体力学基础理论的创新，而且，也促进了生物工程、石油化工、地下水污染等工程技术的应用。多次发表了在国际范围内首次报道的研究成果，获得广泛引用和好评，8 篇代表性论文 SCI 他引 838 次，单篇最高 SCI 他引 222 次，第一完成人在国、内外重要学术会议上作大会邀请报告或 Keynote 报告共 16 次。

丹麦科学院院士Thomsen指出：“Tan等人给出了计算流动阻力最好的近似公式 (the best approximation is given by Tan)”；Ouarzazi等人 (Physics Letters A, 2010) 指出：“Tan等人的工作在非多孔介质粘弹性流体热对流和致密多孔介质中粘弹性流体热对流间架起了一座桥梁 (bridges the gap between nonporous cases and densely packed porous cases)”；Bhadauria等人 (Int. J. Non-Linear Mechanics, 2011) 指出：“Tan等人基于modified Darcy Maxwell模型发现了震荡对流发生的判别准则 (found the criterion for onset of oscillatory convection)”。Swamy等人 (Fluid Dyn. Res., 2013) 则评价我们给出了一个热对流稳定性的精彩分析 (made an excellent analysis of linear and nonlinear thermal convection)。白俄罗斯著名学者Zhuravkov在综述长文中 (Mathematics and Mechanics of Solids, 2014) 引用了我们的7篇论文，指出“中国力学学派在分数阶微积分应用领域发挥了积极作用 (This research line is actively developed by, for example, the Chinese mechanics school)”。Leighton等人 (J. Mol. Cell. Cardiol., 2013) 指出：“Tan等人利用反常扩散方法解决了钙火花的半高宽问题，他们的工作不仅能够帮助人们深入理解细胞液内钙离子的扩散机制，而且对理解细胞内所有分子和离子的扩散机制都很重要”。Silva等人 (Physical Review E, 2011) 评价我们的工作证实了 (evidenced) 细胞内的钙离子遵循反常扩散。美国生理学会 Fellow、国际著名电生理专家Jederer在Physiological Review (2008) 上撰写综述文章，回顾钙火花15年来的发展，利用近1/4页的篇幅介绍了我们提出的钙火花反常扩散机制，指出：“Tan等人创新地提出了钙火花的空间反常扩散模型”，评价我们的模型是与实验吻合最好的 (The spark data are best depicted by a subdiffusion model in the milieu of the cytoplasm.)。

代表性论文专著目录:

1. The impulsive motion of flat plate in a general second grade fluid/ Mechanics Research Communication/Tan Wenchang,Xu Mingyu / 影响因子: 1.502 / 年卷页码: 2002, 29(1):3-9/ 发表时间: 2002-02-01 / 通讯作者: 谭文长 / 第一作者: 谭文长 / 国内作者: 谭文长, 徐明瑜 /SCI 他引次数: 63 /国内完成
2. A note on unsteady flows of a viscoelastic fluid with the fractional Maxwell model between two parallel plates/ International J. Non-Linear Mech./Tan Wenchang, Pan Wenxiao, Xu Mingyu / 影响因子: 1.977 / 年卷页码: 2003, 38 (5):645-650/ 发表时间: 2003-07-01 / 通讯作者: 谭文长 / 第一作者: 谭文长/ 国内作者: 谭文长, 潘文潇, 徐明瑜 /SCI 他引次数: 135 /国内完成
3. Stokes' first problem for an Oldroyd-B fluid in a porous half-space/ Physics of Fluids/TanWenchang,TakashiMasuoka/ 影响因子: 2.031 / 年卷页码: 2005, 17,023101/ 发表时间: 2005-02-01 / 通讯作者: 谭文长 / 第一作者: 谭文长/ 国内作者: 谭文长 / SCI 他引次数: 198 /国内完成
4. Stokes' first problem for a second grade fluid in porous half-space with a heated plate/ International J. Non-Linear Mechanics/TanWenchang,TakashiMasuoka/ 影响因子: 1.977 / 年卷页码: 2005, 40, 515-522/ 发表时间: 2005-05-01 / 通讯作者: 谭文长 / 第一作者: 谭文长 / 国内作者: 谭文长/ SCI 他引次数: 222/国内完成
5. Stability Analysis of a Maxwell fluid in a porous medium heated from below/Physics Letter A/TanWenchang, Takashi Masuoka / 影响因子: 1.683 / 年卷页码: 2007,360 (3):454-460/ 发表时间: 2007-01-01 / 通讯作者: 谭文长 / 第一作者: 谭文长 / 国内作者: 谭文长/ SCI 他引次数: 68/国内完成
6. An anomalous subdiffusion model for calcium spark in cardiac myocytes/ Applied Physics Letters/TanWenchang, Fu Chaoqi, Fu Ceji, XieWenjun, Cheng Heping/ 影响因子: 3.302 / 年卷页码: 2007, 91, 183901 / 发表时间: 2007-10-01 / 通讯作者: 谭文长 / 第一作者: 谭文长 / 国内作者: 谭文长, 付超奇, 符策基, 谢文俊, 程和平/ SCI 他引次数: 37 /国内完成
7. Stability analysis of double-diffusive convection of Maxwell fluid in a porous medium heated from below/Physics Letters A/Wang Shaowei, Tan Wenchang/ 影响因子: 1.683 / 年卷页码: 2008, 372, 3046-3050 / 发表时间: 2008-04-01 / 通讯作者: 谭文长 / 第一作者: 王少伟 / 国内作者: 王少伟, 谭文长/ SCI 他引次数: 57 / 国内完成
8. Stability analysis of solet-driven double-diffusive convection of Maxwell fluid in a porous medium/International Journal of Heat and Fluid Flow/ Wang Shaowei, Tan Wenchang/ 影响因子: 1.596 / 年卷页码: 2011, 32,88-94 / 发表时间: 2011-02-01 / 通讯作者: 谭文长 / 第一作者: 王少伟 / 国内作者: 王少伟, 谭文长/SCI 他引次数: 58/ 国内完成

主要完成人情况:

1、谭文长, 排名 1, 教授, 工作单位: 北京大学, 完成单位: 北京大学, 是该项目的负责人, 对发现点 1、2、3、4 均有贡献, 具体贡献为: 提出了计算粘弹性流体在多孔介质内流动阻力的新方法, 建立了研究粘弹性流体在多孔介质内非定常流动的新理论; 系统研究了粘弹性流体在多孔介质内的热对流问题, 揭示了粘弹性流体在多孔介质内自然对流的演化规律; 将分数阶微积分引入到粘弹性流体力学的研究中, 构建了分数阶微积分在粘弹性流体力学中应用的理论框架; 提出了钙离子在细胞内遵循空间反常扩散的物理机制, 开辟了钙火花生物力学研究的新方向。

2、符策基, 排名 2, 副教授, 工作单位: 北京大学, 完成单位: 北京大学, 是该项目的主要完成人, 对发现点 2、4 均有贡献, 具体贡献为: 提出了 Oldroyd-B 流体在多孔介质内静态和震荡热对流的启动临界条件, 给出了粘弹性流体在多孔介质内自然对流的传热效率随 Rayleigh 数变化的标度律; 研究了 Coriolis 效应对旋转多孔介质内粘弹性流体的热对流的影响, 给出了静态和振荡热对流两种失稳模态随粘弹性参数和 Coriolis 效应的演化规律; 研究了纳米流体在微管中的流动和传热过程, 给出了流体的非牛顿效应、壁面滑移对微管流体流动和传热的影响规律。

3、王少伟, 排名 3, 副教授, 工作单位: 山东大学, 完成单位: 山东大学, 是该项目的主要完成人, 对发现点 2、3 均有贡献, 具体贡献为: 系统地研究了 Maxwell 流体在多孔介质中的 Rayleigh-Bénard 热对流问题, 分析了粘弹性流体的松弛时间及迟滞时间等物质参数对热对流演化过程的影响; 研究了带分数阶导数的粘弹性流体的流动问题, 发展了求解分数阶粘弹性流体非定常流动问题的几种数学方法 (Laplace 变换法, Green 函数法等)。

完成人合作关系说明：

谭文长教授是北京大学非牛顿流体力学研究组的责任教授，符策基副教授是北京大学非牛顿流体力学研究组的年轻骨干教师，王少伟博士是谭文长教授的博士后。

知情同意证明：

项目完成人是代表论文的第一作者及通讯作者。