

云南农业大学参与申报 2021 年度云南省科学技术奖项目的公示

根据《云南省科技厅关于 2021 年度云南省科学技术奖提名工作的通知》、《云南省科学技术奖励办法》（云南省人民政府令第 157 号）、《云南省人民政府办公厅关于印发云南省深化科技奖励制度改革实施方案的通知》（云政办函〔2018〕98 号）等文件的要求，现对云南农业大学参与昆明理工大学申报 2021 年度云南省科学技术奖项目“冶金炉窑热过程非线性强化基础理论”进行公示（详见附件）。公示期 7 天，公示时间为 2021 年 5 月 18 日至 2021 年 5 月 24 日（含法定节假日）。自公示之日起，任何部门或个人如对公示内容有异议，请向科技处实名提出书面报告，并提供相应的证明材料。

联系电话：0871-65227712

云南农业大学科技处
2021 年 5 月 18 日

云南省自然科学奖项目公示

一、项目基本情况

- 1、项目名称：冶金炉窑热过程非线性强化基础理论
- 2、主要完成单位：昆明理工大学、云南农业大学、云南财经大学
- 3、提名者：昆明理工大学
- 4、提名意见：

“冶金炉窑热过程非线性强化基础理论”项目以研发高效冶金炉窑热过程强化混合技术为目标，围绕冶金炉窑多相体系中连续相和分散相拓扑结构时空演化的协同性、混沌流混合特性与多物理场协同作用及其与传递性能的相关性等关键科学问题，国际上率先提出了非线性混沌强化混合的概念。建立了冶金炉窑熔池内气泡群时空混沌动力系统判据及多相体系混合效果拓扑表征方法，实现了多物理场均匀性的精准测度，揭示了气泡群结构特征演化及多相混沌混合特性与多物理场协同作用机制。构建了直接接触传热过程中分散相和连续相拓扑结构、多物理场均匀性与热质传递性能的耦合模型，解决了高温熔体湍流特性和冶金炉窑热过程强化难以协调的难题。发现了分散相和连续相拓扑结构演化过程的无序超均匀现象及其协同效应，建立了其与热质传递效能协同调控的数学模型，并将其发展为一种非线性的拓扑混合驱动分散相-连续相同步调控的混沌流过程强化方法。共发表 SCI 论文 40 篇，SCI 总引用 299 次，20 篇核心论文影响因子合计 138.606，总引 199 次。受邀在国际著名出版社 InTech 撰写英文专著 1 章，近三年下载量 2162 次。获授权发明专利 10 项，出版专著 1 部。培养全国创新争先奖状获得者 1 人、国家“高层次人才特殊支持计划”科技创新领军人才 1 人、省人才称号获得者 5 人。

同意提名该项目为云南省自然科学奖一等奖。

二、项目简介

冶金炉窑是金属冶炼和材料热加工过程的核心设备，对冶金产品的质量、产量和能耗起决定性作用。然而，由于传统热过程强化主要通过线性方式增大供热量为手段，缺乏系统的基础理论指导，导致生产过程不顺畅、产品质量不高、能耗高、设备寿命短等问题。该项目在国家自然科学基金和云南省科技厅项目等 13 项课题的资助下，围绕冶金炉窑热过程强化流场-热场的“协同性”和“均匀性”两大关键科学问题，经过 12 年的持续研究，在国际上率先提出了非线性混沌强化混合的概念，首次发现了分散相和连续相拓扑结构演化过程的无序超均匀现象及其协同效应，构建了热质传递效能协同调控的数学模型，提出了混沌流过程强化新方法，即：通过拓扑混合式喷枪诱发混沌流，同步调控分散相和连续相流型的拓扑结构，实现高效均匀混合和强化热质传递。主要科学发现如下：

（一）国际上率先在冶金炉窑热过程强化领域开展非线性强化传递的研究，

创立了混沌强化混合理论与方法。首次将拓扑不变量（贝蒂数）引入冶金炉窑热过程强化领域实现了复杂气泡流型的表征，建立了多相体系混沌混合效果的测度模型，发现了多相复杂流型拓扑结构与热质传递性能的耦合规律，解决了混合不均匀、混合效率低、多相混合效果无法量化、流型与热质传递无法协同的难题。贝蒂数法应用于铜熔池熔炼炉多相混合效果实时测控，混合效率提高了 50.6%，均匀度提升了 51.6%。

（二）构建了非接触式多相混合混沌流与多物理场精准测度的数学模型，阐释了无序气泡群诱导下的多相混沌流强化混合特性与多物理场协同作用机制。提出了气泡群混沌行为强化混合-场均匀性提升热质传递效率以及多相流型拓扑耦合提高热质传递性能的冶金炉窑热过程复杂多相流型调控新思路，构建了混沌流与温度场-流场均匀性测度模型，阐明了混沌混合特性与场均匀性的耦合机理，解决了冶金炉窑强化过程流场-温度场难以协同以及气泡群搅动热质传递的强化效果无法精确描述的难题。温度场均匀性测度方法应用后，分别使加热炉炉温均匀性控制精度比国际先进水平提高了 33.3%、铜转炉吹炼造渣期预测精度达 98% 以上。

（三）发现了气泡群拓扑结构演化中无序超均匀现象以及分散相-连续相拓扑结构演化过程的协同效应。提出了无线跟踪实时测量多相混合效率的新思路，发现了气泡群无序超均匀现象，建立了描述连续相和分散相拓扑结构演化协同效应的数学模型，揭示了气泡群强化热质传递的机理，实现了流型演变与热质传递效能协同实时精准调控。应用于富氧顶吹铜熔池熔炼炉，传热效能提升了 13.1%。

在《国际传热与传质杂志》(Int. J. Heat. Mass. Tran.)《能源》(Energy)等国际著名期刊发表 SCI 论文 40 篇，SCI 总引用 299 次 (Web of Science)，其中 20 篇核心论文影响因子合计 138.606，总引 199 次。受邀在国际著名出版社 InTech 撰写直接接触换热 (Direct Contact Heat Exchanger) 英文专著 1 章 (p145-p174)，近三年下载量 2162 次 (占全书比例为 30%，排名第 1)。获授权发明专利 10 件，出版专著 1 部。中美英等多国同行院士及学者在《应用热力工程》(Appl. Therm. Eng.) 和《流体物理》(Phys. Fluids.) 等权威期刊对项目成果进行了重点评述。在世界范围内本团队在气泡群直接接触强化传热领域的学术影响力排名第 1 (数据来源 Web of Science 核心合集)。培养全国创新争先奖状获得者 1 人、国家“高层次人才特殊支持计划”科技创新领军人才 1 人、省高层次人才称号获得者 5 人。

三、代表性论文专著目录

- [1] Huang, J., Xu, J., Sang, X., Wang, H., & Wang, H. (2014). Quantifying the synergy of bubble swarm patterns and heat transfer performance using computational homology. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 75, 497-503.
- [2] Fei, Y., Xiao, Q., Xu, J., Pan, J., Wang, S., Wang, H., & Huang, J. (2015). A novel approach for measuring bubbles uniformity and mixing efficiency in a direct contact heat exchanger. *Energy*, 93, 2313-2320.
- [3] Xu, J. X., Xiao, Q. T., Chen, Y., Fei, Y., Pan, J. X., & Wang, H. (2016). A modified L2-star discrepancy method for measuring mixing uniformity in a direct contact heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 97, 70-76.
- [4] Xu, J., Xiao, Q., Fei, Y., Wang, S., & Huang, J. (2016). Accurate estimation of

- mixing time in a direct contact boiling heat transfer process using statistical methods. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 75, 162-168.
- [5] Xiao, Q., Pan, J., Lv, Z., Xu, J., & Wang, H. (2017). Measure of bubble non-uniformity within circular region in a direct-contact heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 110, 257-261.
- [6] Xiao, Q., Zhai, Y., Lv, Z., Xu, J., Pan, J., & Wang, H. (2017). Non-uniformity quantification of temperature and concentration fields by statistical measure and image analysis. *Applied Thermal Engineering*, 124, 1134-1141.
- [7] Xiao, Q., Yang, K., Wu, M., Pan, J., Xu, J., & Wang, H. (2018). Complexity evolution quantification of bubble pattern in a gas-liquid mixing system for direct-contact heat transfer. *Applied Thermal Engineering*, 138, 832-839.
- [8] Huang, J., Xiao, Q., Liu, J., & Wang, H. (2019). Modeling heat transfer properties in an ORC direct contact evaporator using RBF neural network combined with EMD. *Energy*, 173, 306-316.

四、主要完成人基本情况

序号	姓名	工作单位（完成单位）	职称	职务
1	王华	昆明理工大学（昆明理工大学）	教授	校长/实验室主任
2	徐建新	昆明理工大学（昆明理工大学）	教授	无
3	肖清泰	昆明理工大学（昆明理工大学）	讲师	无
4	黄峻伟	云南农业大学（昆明理工大学、云南农业大学）	副教授	无
5	费宇	云南财经大学（云南财经大学）	教授	副院长