

教育部科学研究优秀成果奖（自然科学奖）公示情况表

项目名称	膜式热质传递过程性能调控原理
提名单位	华南理工大学
项目简介	<p>本项目属工程热物理学科。膜式热质传递过程能同时实现热量传递和质量的的选择性传递，在节能和环保产业有重大需求。但它存在传质效率不高，所需膜面积大，成本高、耐久性差等瓶颈问题，其根本原因在于膜流道、膜组件、膜系统的性能调控手段匮乏，传统的金属换热器理论不再适用于膜式热质传递过程，流道-组件-系统之间的热力学耦合关系不明，亟待建立新型膜式热质传递性能调控原理。在国家自然科学基金重点、杰青等项目的长期资助下，针对膜式热质传递过程的性能调控原理开展研究，突破其基于经典换热器的理论瓶颈，阐明了膜式热质传递过程性能调控原理，重要科学发现包括：</p> <p>(1) 揭示了膜流道的传热传质规律。揭示了膜参数对膜流道热质传递边界层的影响规律，推翻了经典的等壁温或等热流密度边界条件假设，揭示并澄清了经典的 j 比拟在平行板和板翅式膜流道上发生失效的根本原因。发现了翅片导温和导湿因子对膜流道传热传质性能的影响规律，建立了膜流道在膜耦合边界条件下的传热传质准则方程。提出了采用强化气液扰动解决膜流道极化问题的新方法，实现了膜流道主体与壁面热质扩散的匹配。</p> <p>(2) 首次提出了描述膜组件性能调控方法的效率-传递单元数解析解。发现了随机分布的中空纤维膜流道的分形特征，提出了随机分布的中空纤维膜膜组件平均膜流道传热传质系数的分形计算公式。在此基础上，建立了膜组件的热质交换数学模型，将热湿耦合、影响因素众多的组件变量，归纳为一对互相独立的传热和传质单元数，并首次得出其性能解析解，预测精度比传统经验公式提高 45%，提供了一种指导中空纤维膜组件设计的数学工具。</p> <p>(3) 阐明了太阳能驱动膜加湿-除湿系统热力学匹配特性与膜流道-膜组件-膜系统的热力学耦合关系。建立了太阳能驱动膜加湿-除湿实验系统和热力学模型，揭示了膜流道-膜组件-膜系统之间的热力学耦合关系，阐明了系统各核心部件性能匹配和不可逆损失产生的原理，实现了整个系统的热力学优化。</p> <p>5 篇代表作发表在本领域内顶刊 Int. J. Heat Mass Tran.、Desalination、ASME J Heat Trans.、Appl. Energy 等期刊上，编写教材及专著 3 部（其中英文专著 2 部）。按此理论研制的高效透湿膜已在美的等业内知名企业产业化，相关专利获 2022 年粤港澳大湾区高价值专利培育布局大赛银奖，中国发明协会发明创业奖银奖。项目负责人任本领域顶级期刊 Energy & Buildings 副主编，负责人获得国家杰青资助。成果获中外院士、国际学会 Fellow、顶级期刊主编等知名学者多次好评为"first"、"novel"、"in depth"、"fundamental"等。获陶文铨院士编著、国家级规划教材《传热学（第五版）》引用；获意大利数学家 Cattani 教授编著数学教材引用。所提出的准则方程和解析解被多个国际团队连续反复采用并被评价为"excellent agreement"、"reliable"等，促进了膜式热质传递的新学科建设。</p>

主要完成人情况表	姓名	排名	职称	工作单位	完成单位	对本项目重要科学发现的贡献
	张立志	1	教授	华南理工大学	华南理工大学	项目学术负责人，负责整个项目的设计与规划、研究方向与研究内容的确定、指导与实施。提出了膜流道传热传质准则式，发现了翅片导热和导湿因子对膜流道的影响规律，首次提出了膜组件性能的解析解。对项目发现点 1, 2 和 3 作出了主要贡献。是代表性论文[1-3]的第一作者和通讯作者，是代表性论文[4-5]的通讯作者。
	董传帅	2	副教授	华南理工大学	华南理工大学	项目主要学术骨干，协助第一完成人研究了膜性能调控原理，协助研究了膜流道内气液两相流动与热质传递规律。对项目发现点 3 作出了贡献。是代表性论文[4]的第一作者。
	李国培	3	讲师	郑州轻工业大学	华南理工大学	项目主要学术骨干，协助第一完成人研究了膜系统的热力学匹配特性，协助研究了膜流道-膜组件-膜系统的热力学耦合关系。对项目发现点 3 作出了贡献。是代表性论文[5]的第一作者。
主要完成单位		华南理工大学				
代表性论文（专著）目录（不超过 5 篇）						
序号	论文专著名称			刊名	作者	
1	Heat and mass transfer in a cross-flow membrane-based enthalpy exchanger under naturally formed boundary conditions			International Journal of Heat Mass Transfer	Lizhi Zhang	
2	Heat and mass transfer in a randomly packed hollow fiber membrane module: a fractal model approach			International Journal of Heat Mass Transfer	Lizhi Zhang	
3	An analytical solution to heat and mass transfer in hollow fiber membrane contactors for liquid desiccant air dehumidification			ASME Journal of Heat Transfer	Lizhi Zhang	

4	Performance intensification and anti-fouling of the two-phase flow enhanced direct contact membrane distillation for seawater desalination	Desalination	Chuanshuai Dong, Yang Huang, Haojiang Lin, Lizhi Zhang
5	Investigation of a solar energy driven and hollow fiber membrane-based humidification-dehumidification desalination system	Applied Energy	Guopei Li, Lizhi Zhang