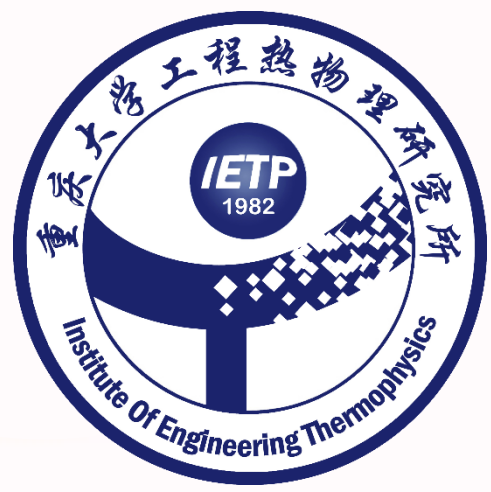




中低温含尘烟气余热深度回收及高效相变储热技术

一、中低温含尘烟气余热深度回收及高效相变储热技术简介

工业排放的中低温烟气往往含有大量飞灰、水蒸汽、酸性气体等，普遍存在能量密度低、烟道磨损腐蚀、飞灰沉积严重等问题，导致余热回收困难，所以急需适用于此类极端复杂工况下的高效换热技术；同时为了便于回收余热后续的多场景、多形式、多样化利用，高效储热技术的市场需求也越发强烈。重庆大学自主研发的具有三维拓展表面的三维肋管强化换热技术具有肋结构参数调整方便、传热布置灵活、近壁面流体扰动强烈等特点，其在强化换热的同时还可降低壁面的结垢，因此具有一定的抗积灰能力，是一种能够实现中低温含尘烟气余热连续高效深度回收的先进技术。而相变堆积床式和三维肋管管壳式相变储热器由于具有较大的换热面积、传热距离短、热损失小等特点，具有较高的储热效率，同时也适合于不同的应用场景，符合高效储热技术的发展要求。

二、中低温含尘烟气余热深度回收及高效相变储热技术研究思路

本课题组重点研究基于三维拓展表面强化换热技术的含尘烟气余热连续高效深度回收技术及高效相变储热技术。首先，通过研究不同条件下烟气在换热器表面的流动和换热过程，获得了多物理场耦合作用下换热表面磨损、腐蚀、流动和换热特性，建立了传热和流动特性关联式；提出了完整的三维内外肋管换热器设计理论计算方法；结合表面处理工艺和三维可调肋结构，研发了协同防积灰、抗磨损、耐腐蚀的三维肋管表面处理技术；提出了换热器一体化设计和制造加工工艺，形成了中低温含尘烟气高效连续余热深度回收利用技术。其次，通过对固体和相变堆积床储热装置的实验研究，获得了换热流体不同进口条件对堆积床储放热性能的影响规律；基于融化凝固和VOF模型对含有空穴堆积床单元颗粒相变过程的数值模拟研究，建立了考虑空穴影响的堆积床储热模型；同时针对PCM结合三维肋管管壳式相变储热单元及装置的融化、凝固过程进行了研究，获得了肋结构参数变化对储热装置性能的影响规律，揭示了三维肋管不同排布方式下管壳式储热装置的储放热特性，研究成果能够对高效相变储热技术的发展提供重要的理论和技术支撑。

三、主要研究内容

1. 空气/烟气横掠三维肋管研究

空气横掠三维肋管流动阻力及换热特性研究



图1 实验系统实物图

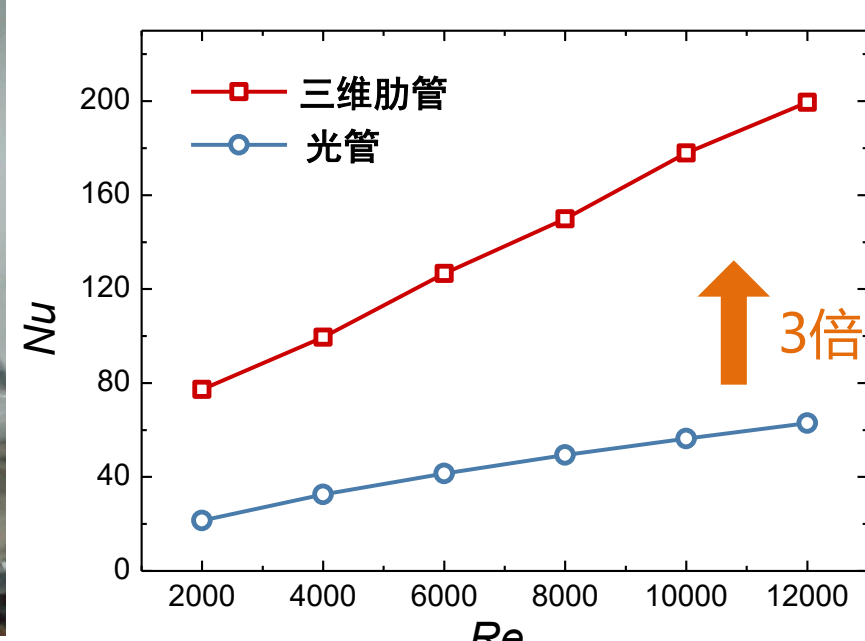


图2 三维肋管强化换热特性

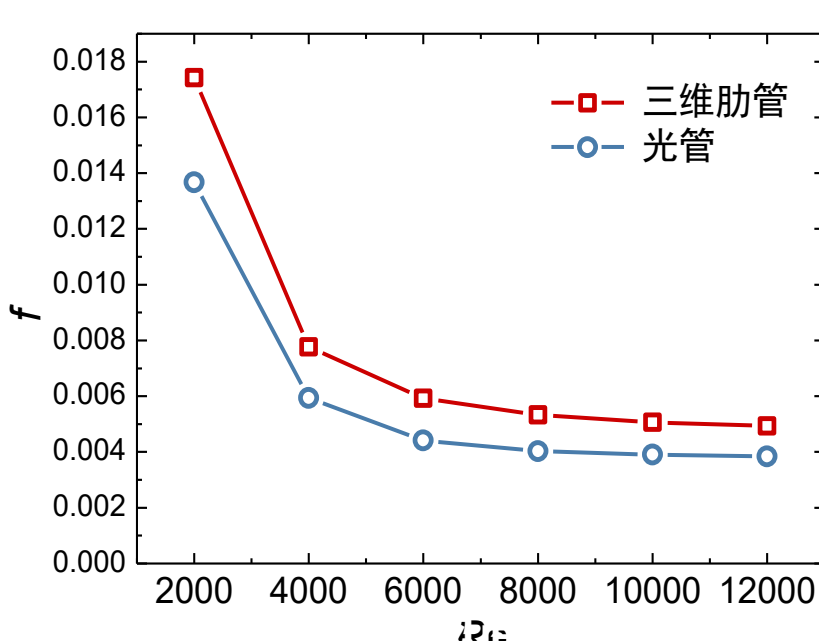


图3 三维肋管流动阻力特性

烟气横掠三维肋管磨损和积灰特性研究



图4 不同位置飞灰沉积量

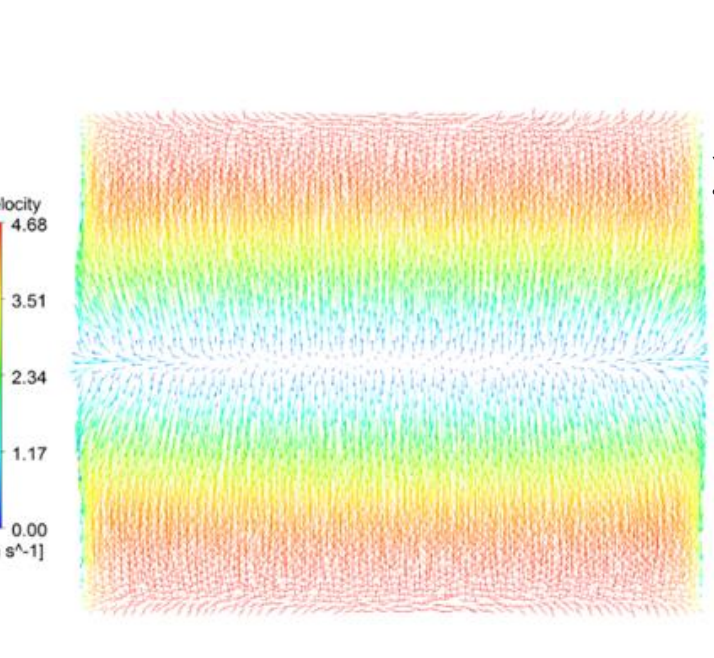


图5 迎风侧速度矢量图

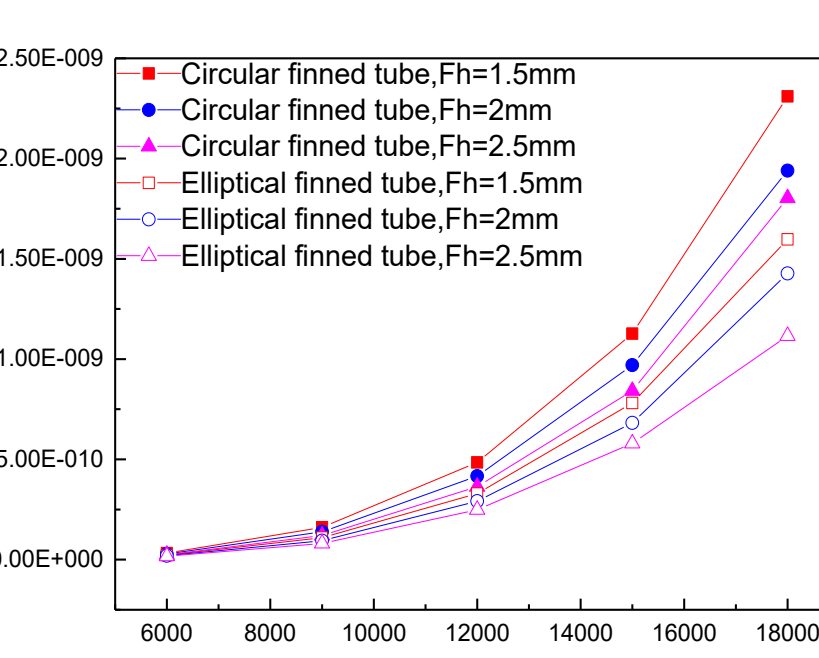


图6 肋高对磨损率的影响

2. 高不凝性气体含量下烟气余热深度回收研究

不凝性气体对水蒸气凝结换热影响实验

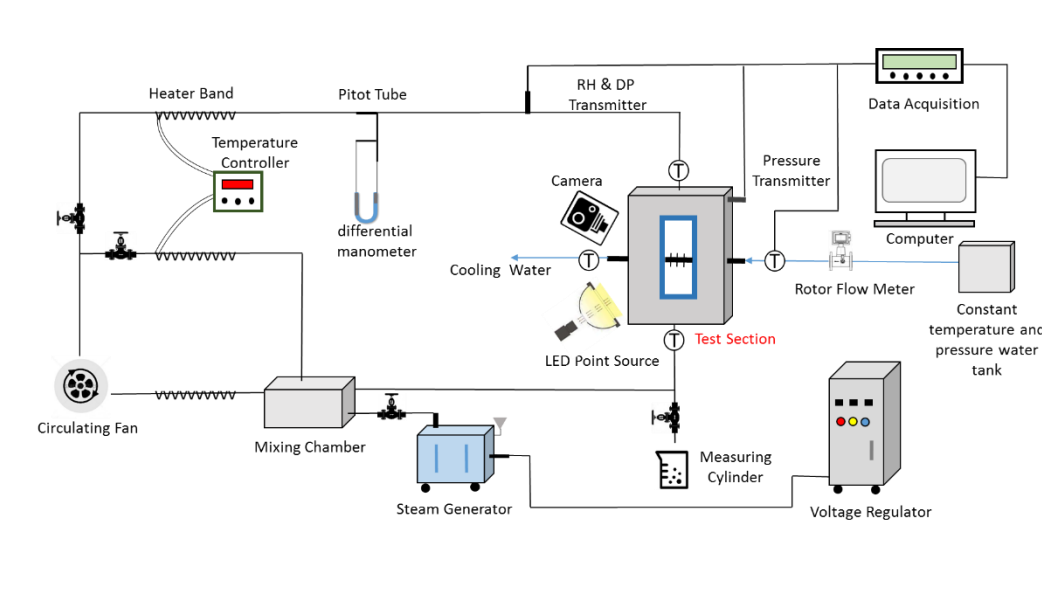


图7 实验系统示意图



图8 实验系统实物图

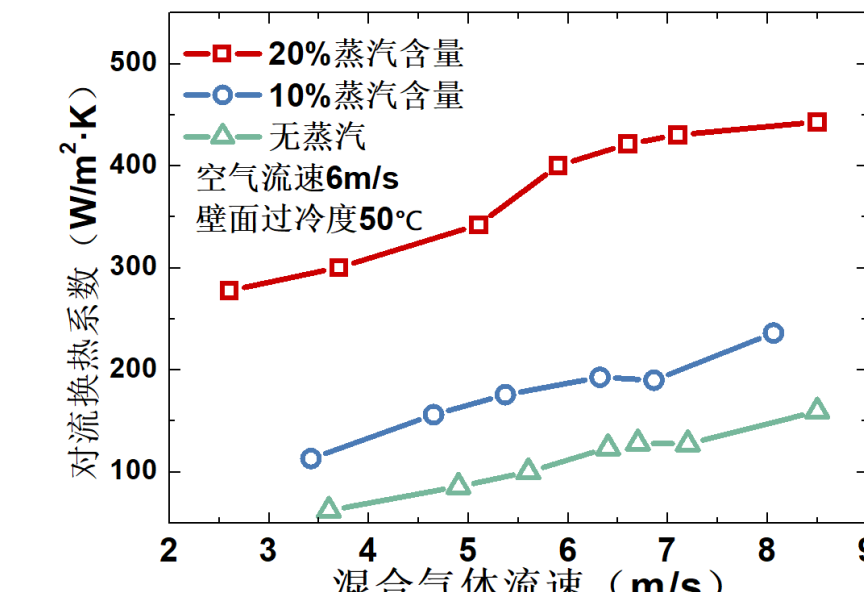
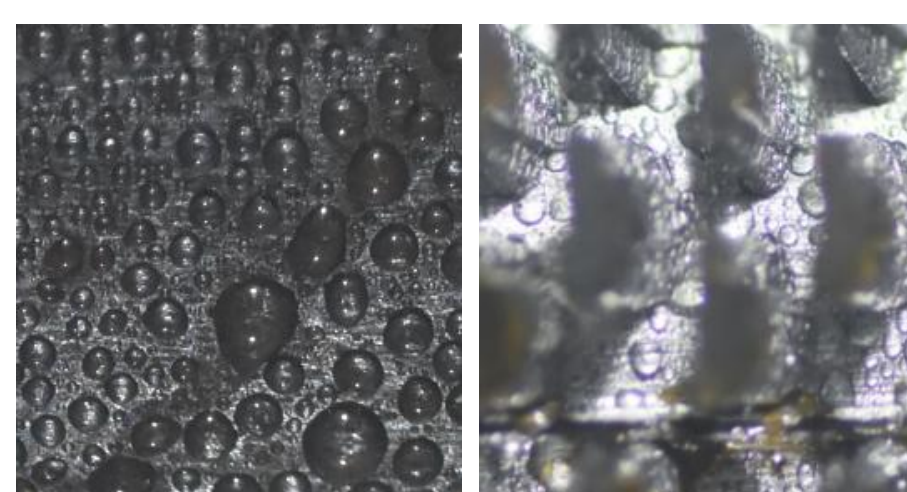
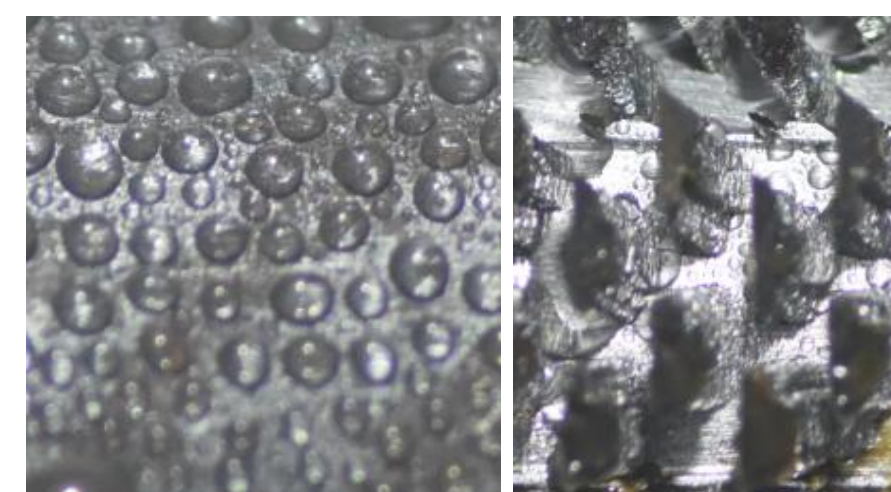


图9 蒸汽含量的影响

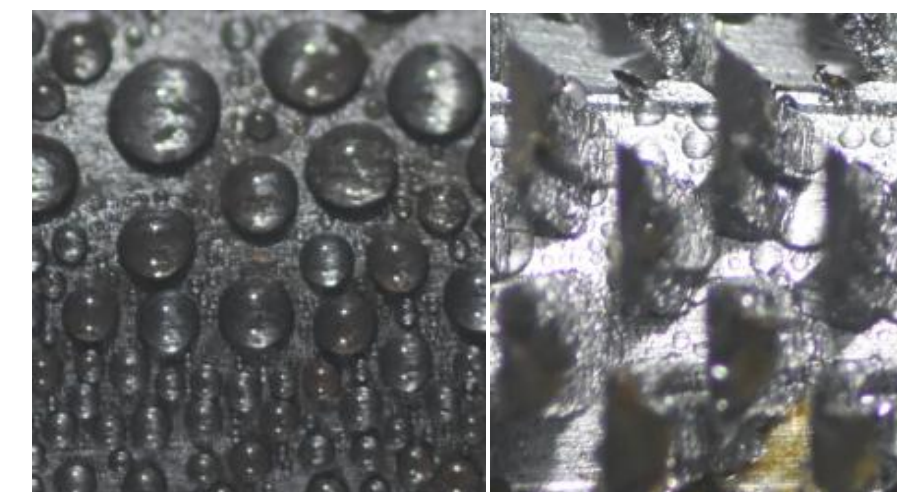
含不凝性气体的水蒸气凝结换热可视化实验



蒸汽含量10%



蒸汽含量20%



蒸汽含量30%

图10 不同蒸汽含量下凝结情况

3. 非共沸不互溶二元混合工质凝结换热特性研究

非共沸不互溶二元混合液体壁面流动特性研究

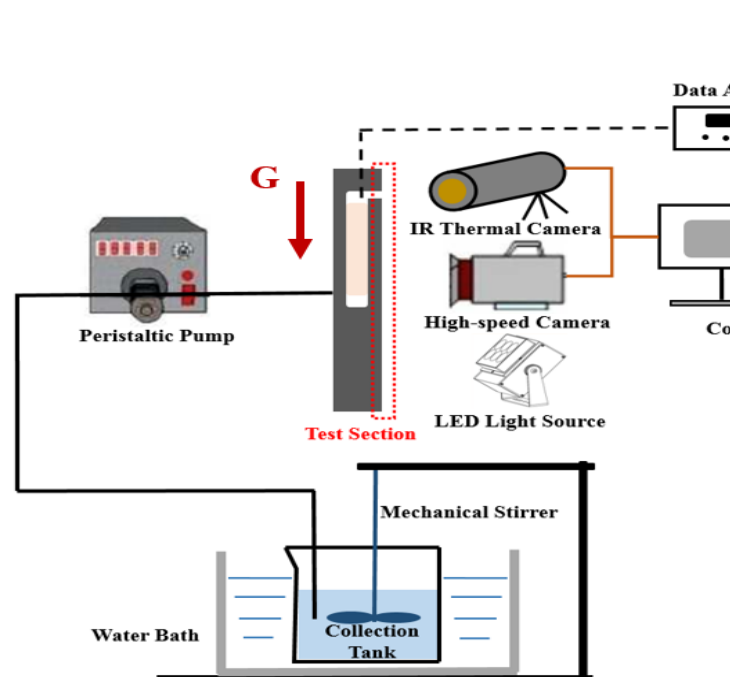


图11 实验系统示意图

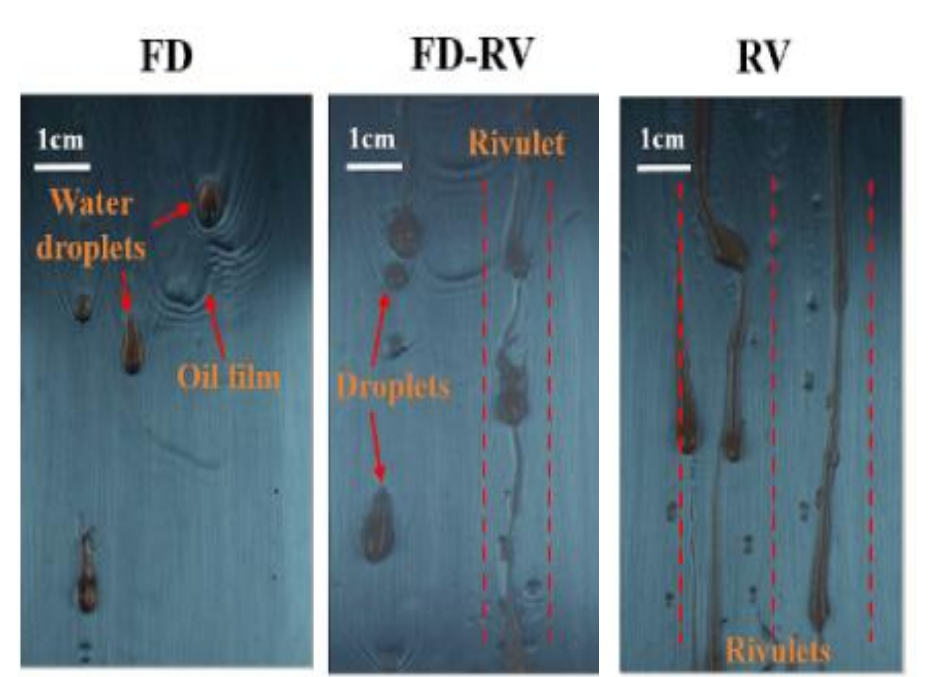


图12 不互溶两相混合物壁面流型

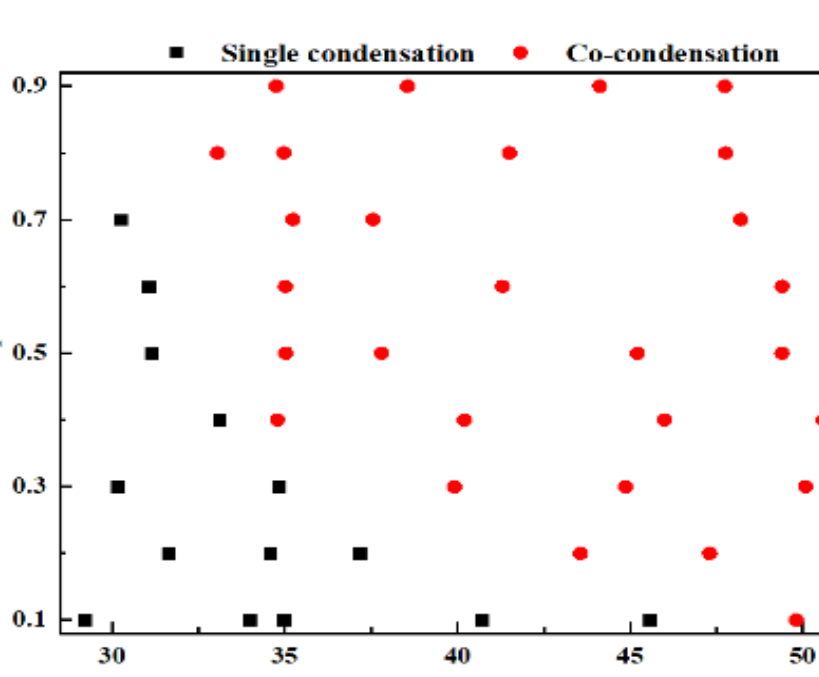


图13 凝结模式图

非共沸不互溶二元混合工质凝结热质传递理论模型建立

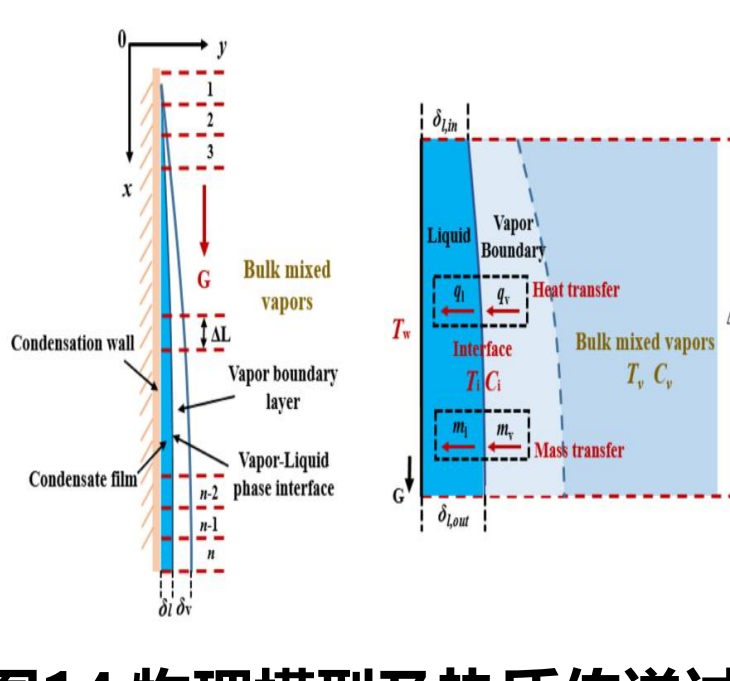


图14 物理模型及热质传递过程

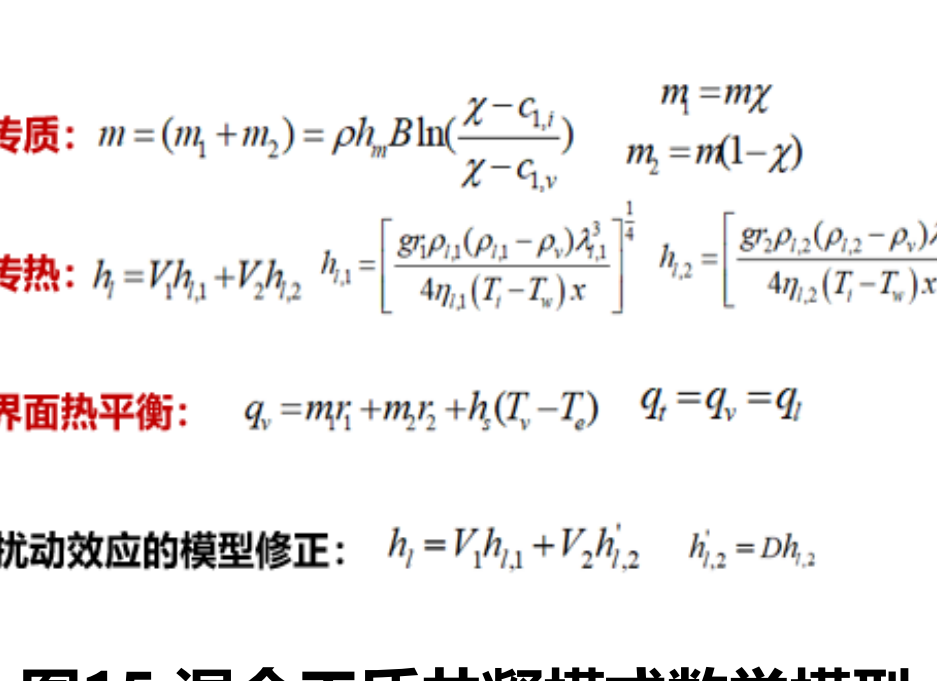


图15 混合工质共凝模式数学模型

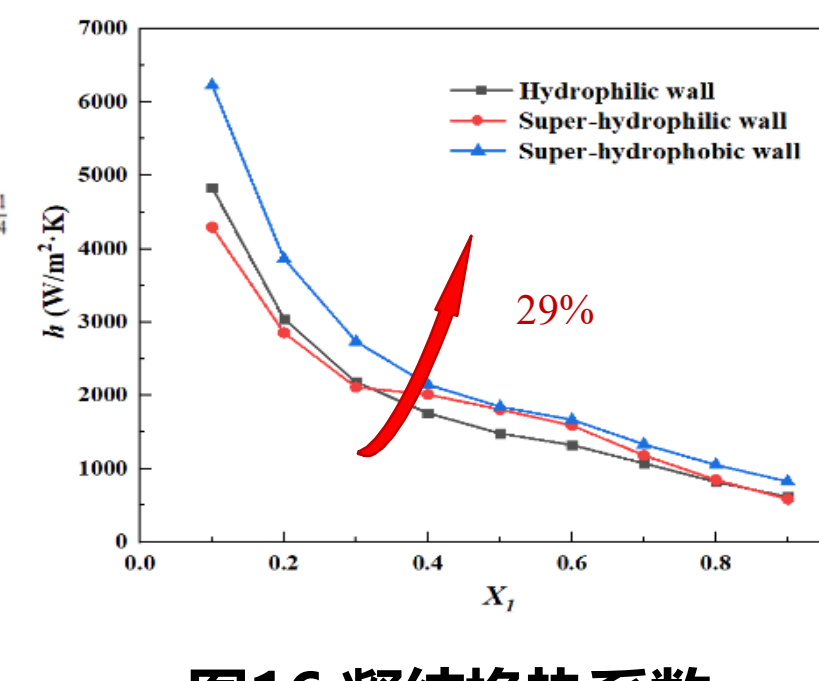


图16 凝结换热系数

4. 高效相变储热技术研究

高功率相变堆积床储热技术



图17 堆积床装置实验平台

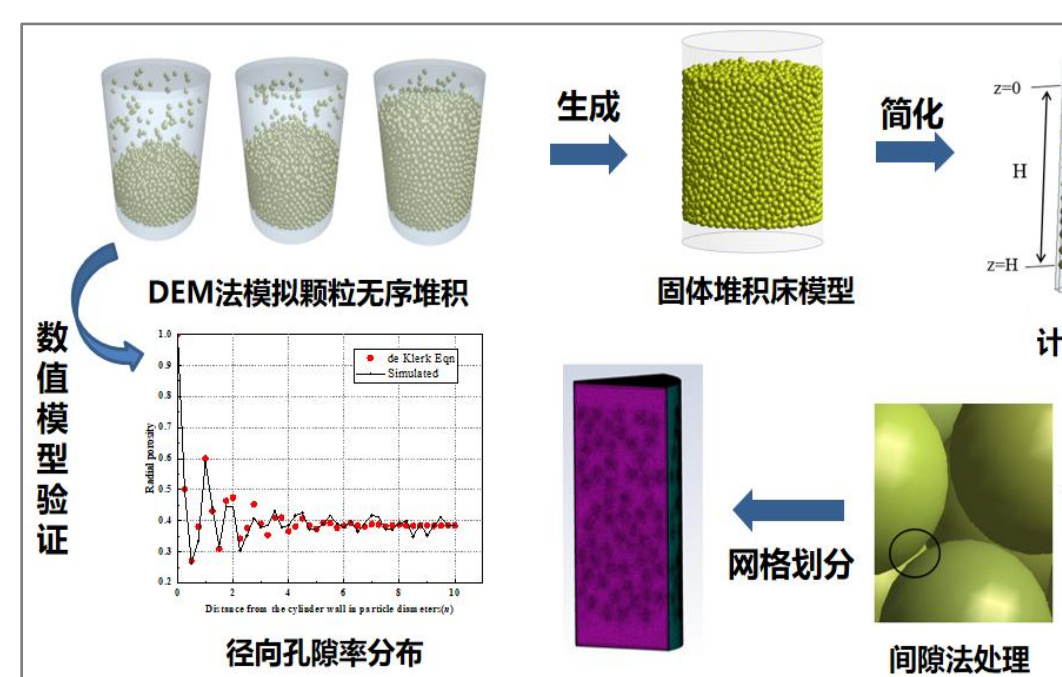


图18 DEM-CFD结合ETC模型

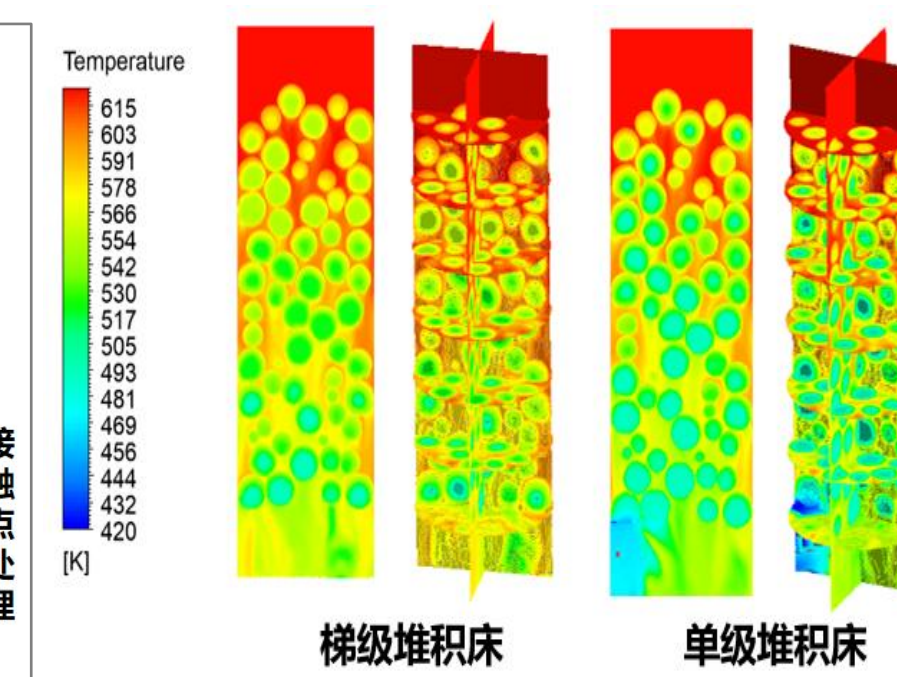


图19 堆积床布置方式优化研究

结合PCM的三维肋管管壳式相变储热技术

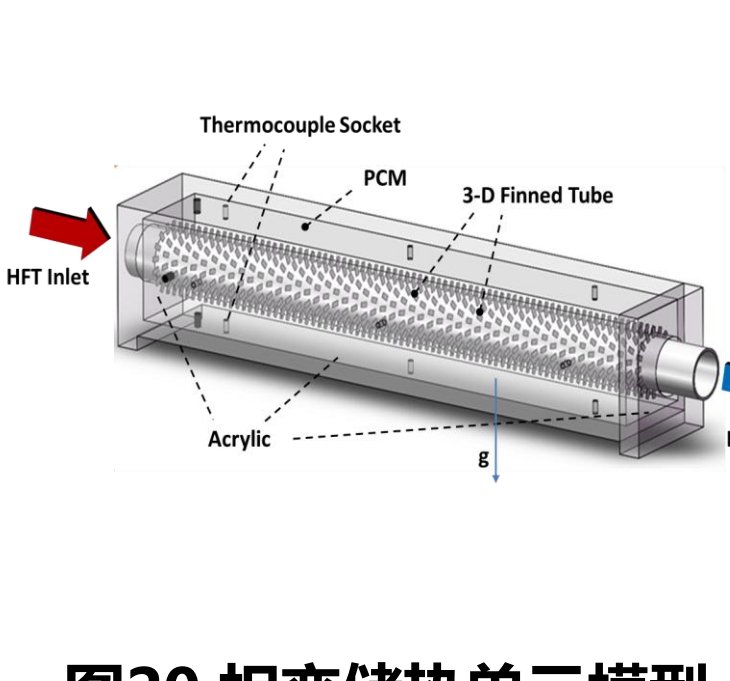


图20 相变储热单元模型

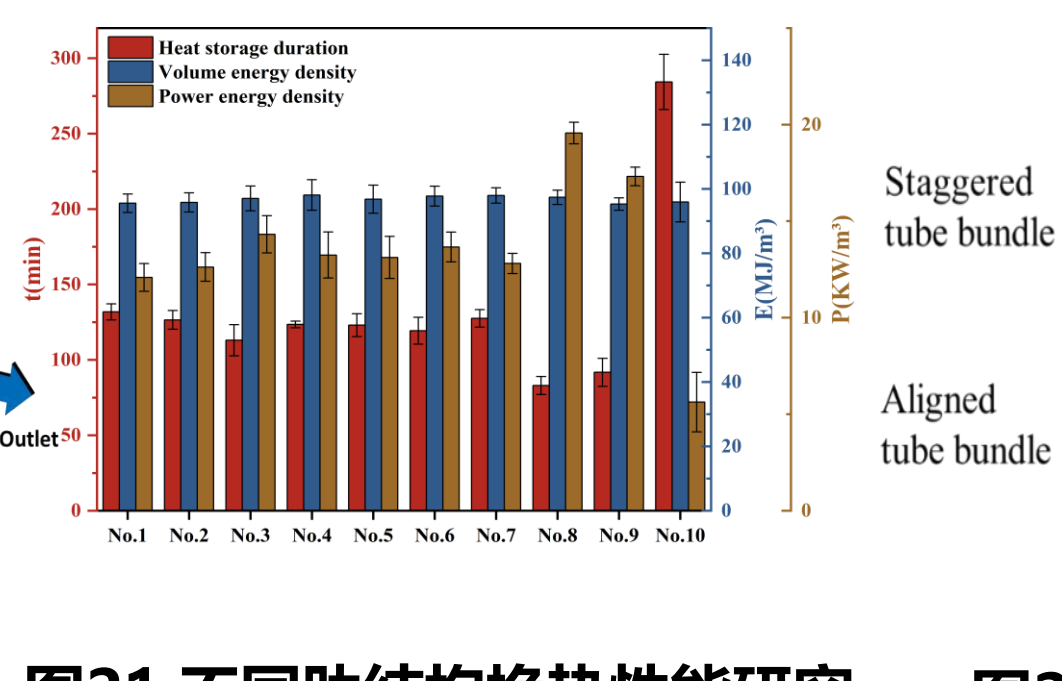


图21 不同肋结构换热性能研究

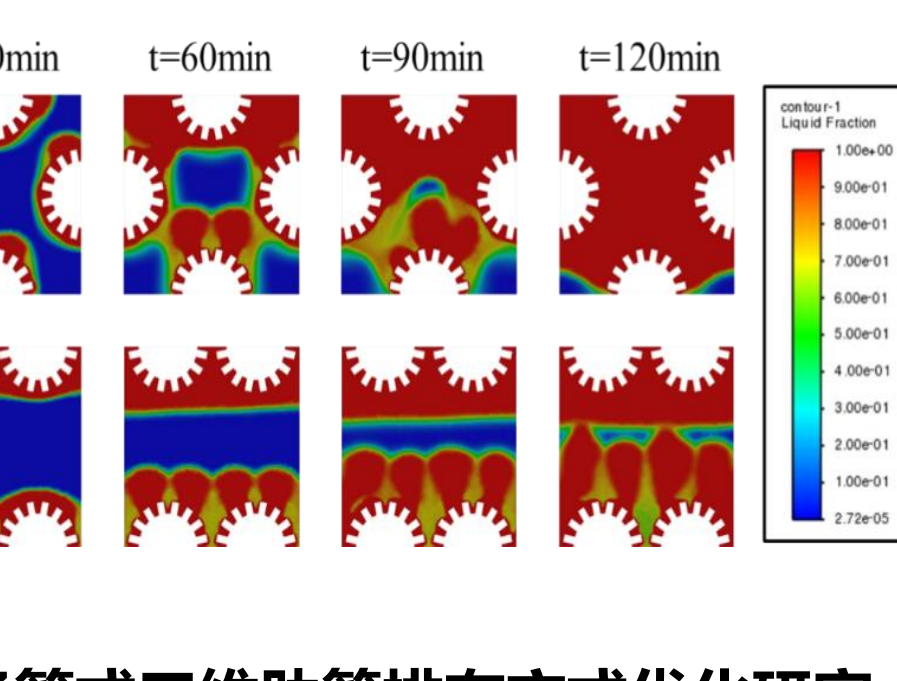
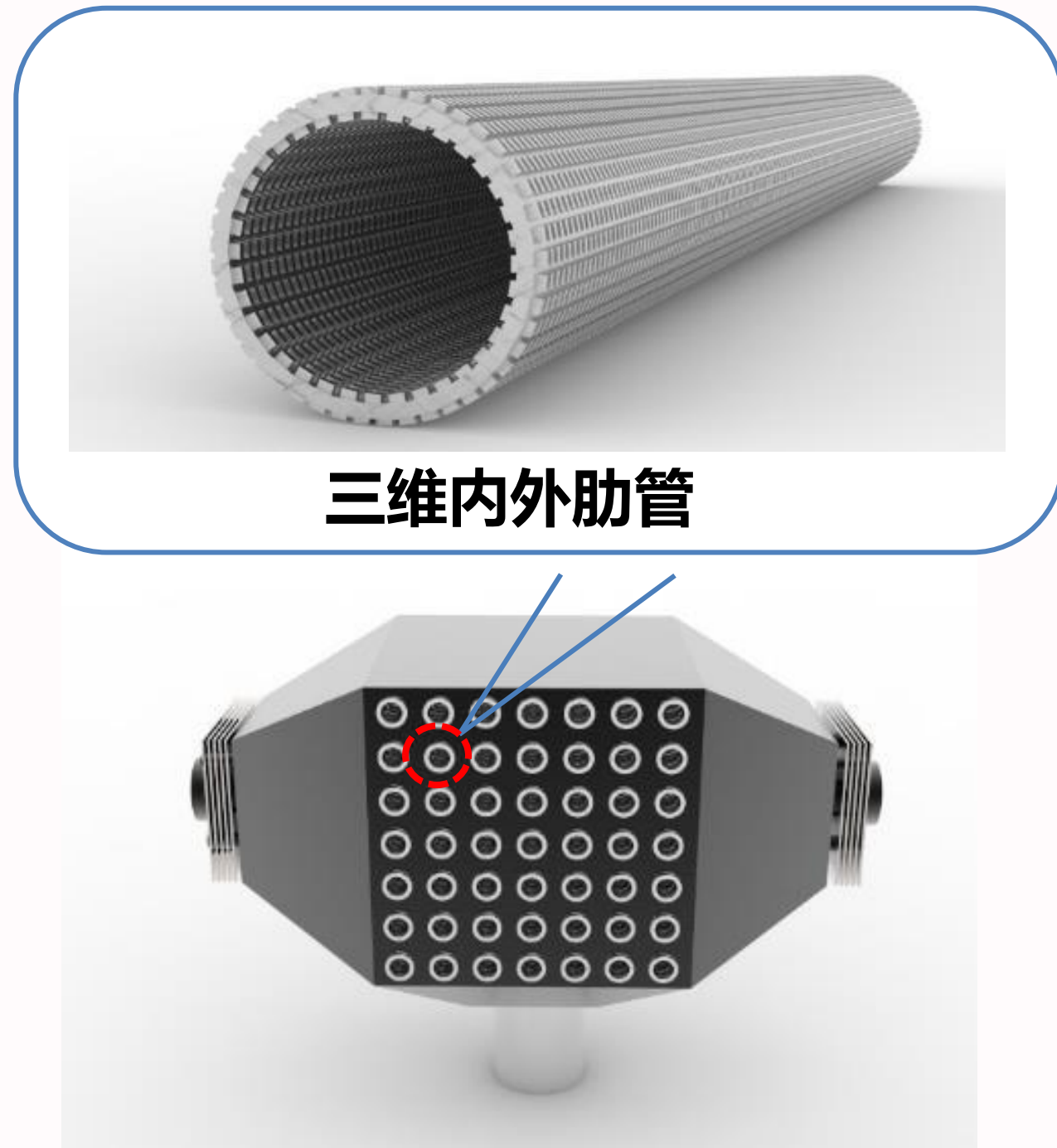
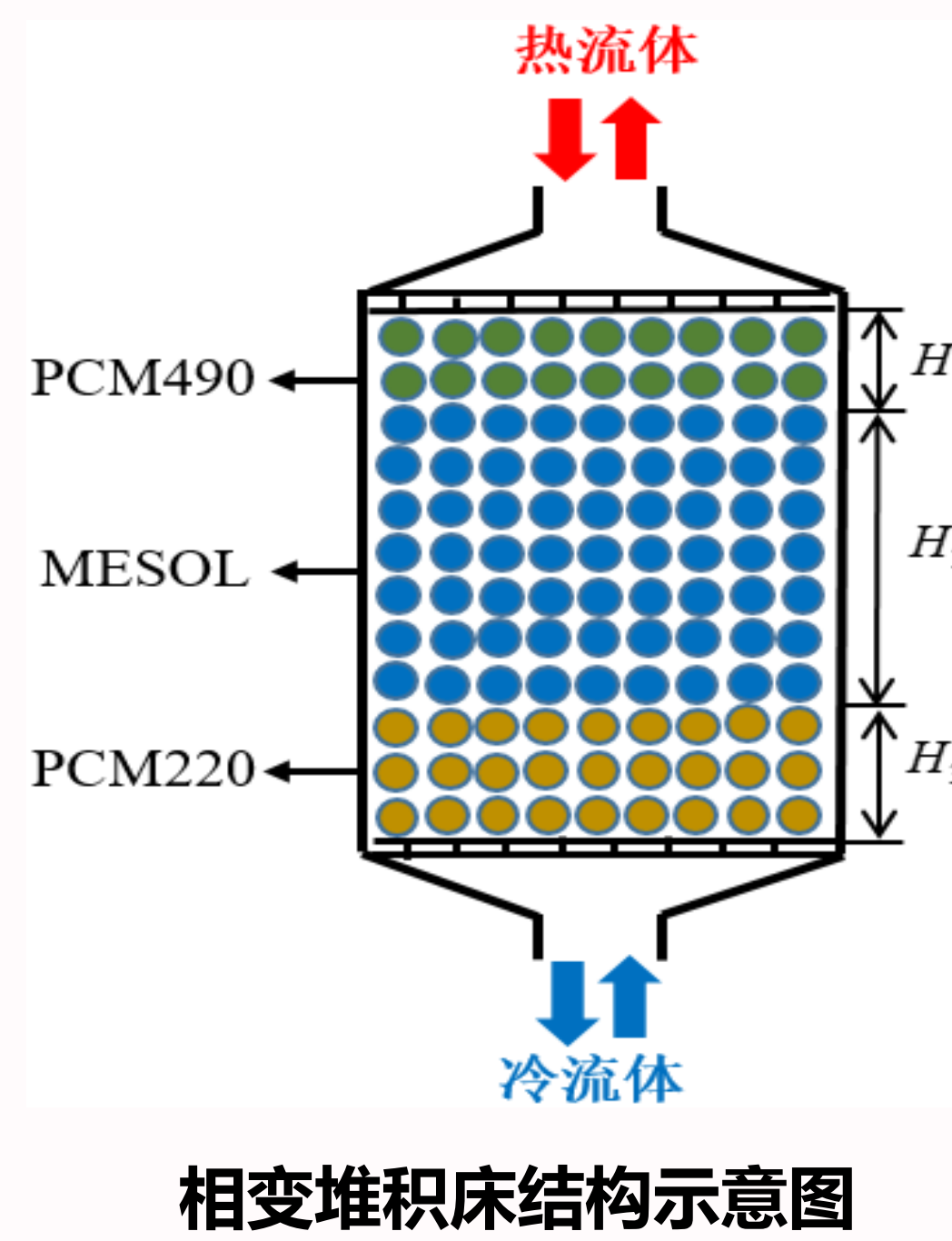


图22 多管式三维肋管排布方式优化研究



三维内外肋管

气-气换热三维肋管换热器



相变堆积床结构示意图