2026年中国工程热物理学会多相流学术会议

2026年10月31日-11月1日 @ 东南大学

并联双回路散热器内流动沸腾换热特性研究

作　者：　黄靖淇，方奕栋*，邓栩昌，陈铭思，朱菁

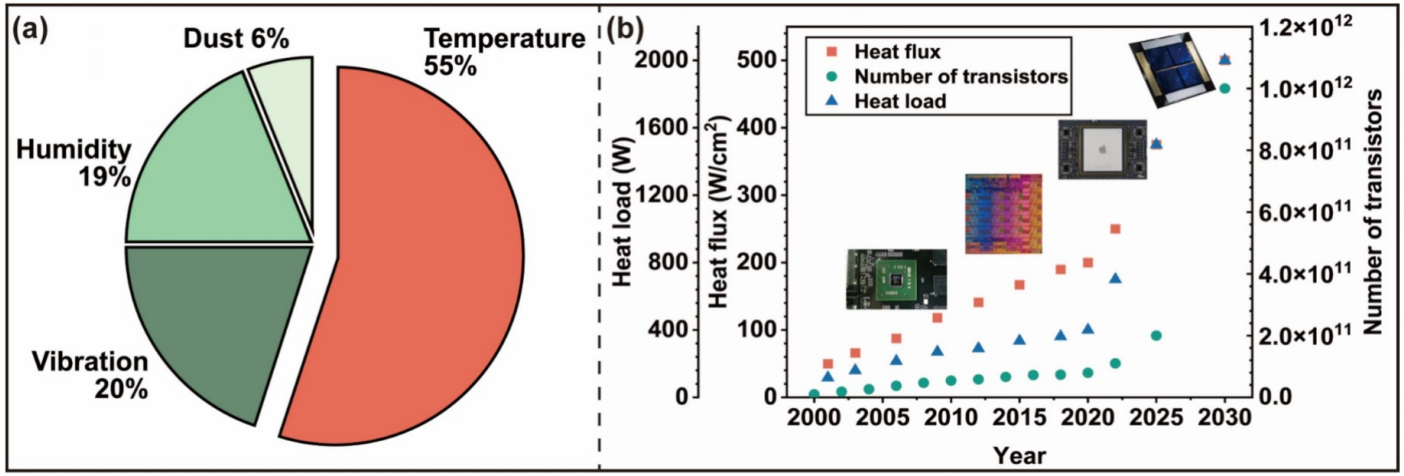
单　位：　上海理工大学 能源与动力工程学院

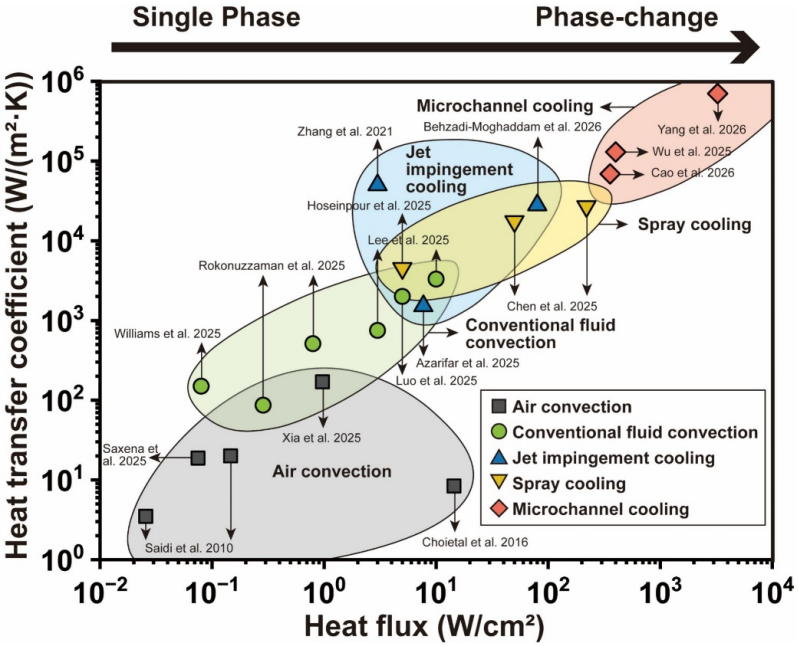
多相流智能测量与计算研究中心

2026 年 10 月 31 日

数据中心热管理的重大需求

- 数据中心规模日益提升，热管理需求凸显





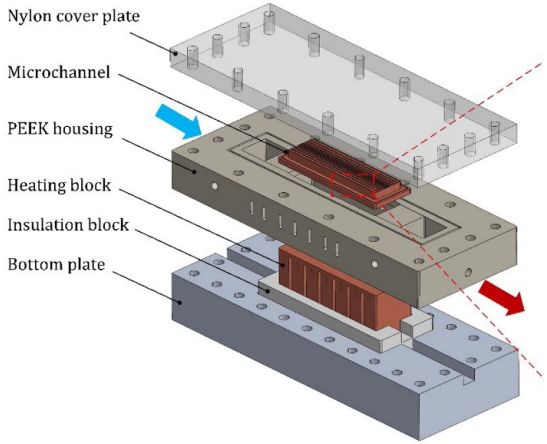
- 超过55%的芯片失效都是由**超温**引起，需采用更高换热效率的冷却技术
- **微通道两相流**冷却因其高换热效率逐渐引起关注

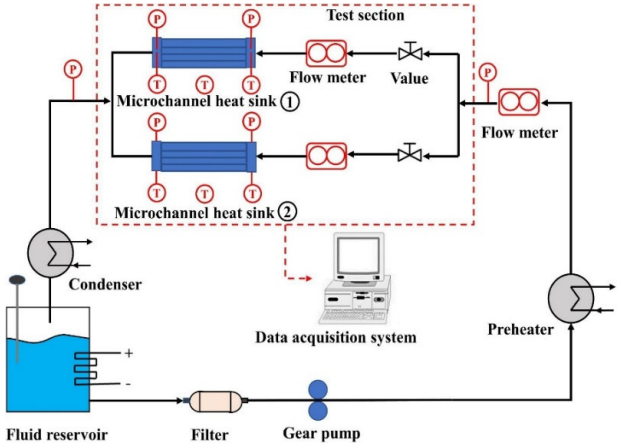
两相换热在工程应用的挑战

工程需求

数据中心机柜通常采用多热源配置，需兼顾不同热源的散热状态







研究重点

回路流量分配规律 → 流量在热源不均匀条件下合理分配

关键问题

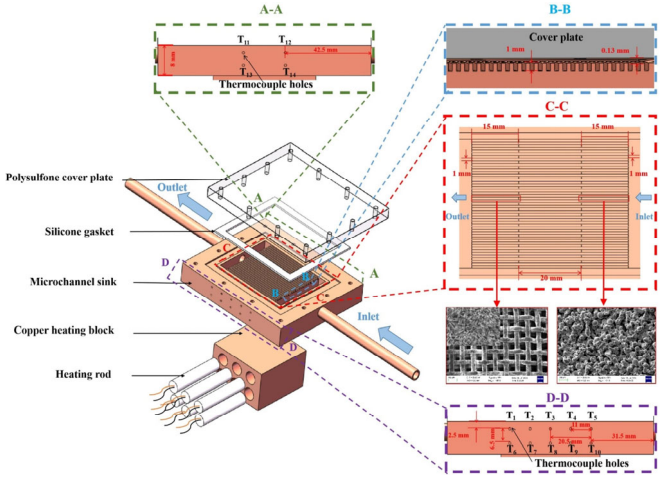
★ 不同散热器在非均匀热负荷下稳态及瞬态温度、压力响应

★ 在实际数据中心热管理应用中多热源并联回路流量自动调控方法

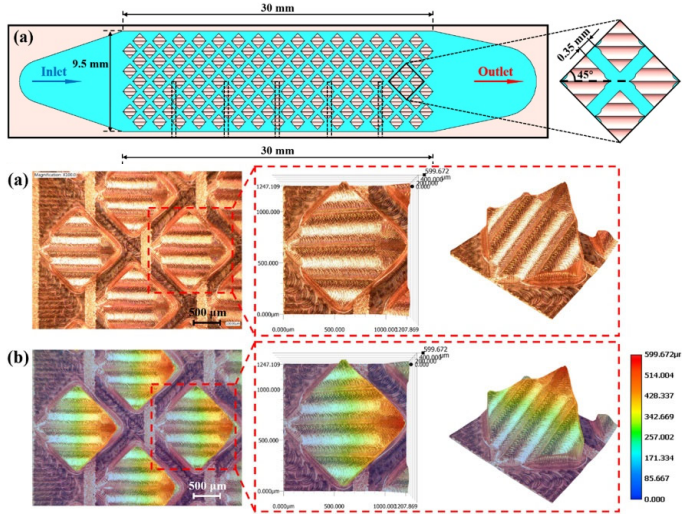
两相流散热技术的研究现状

研究指向

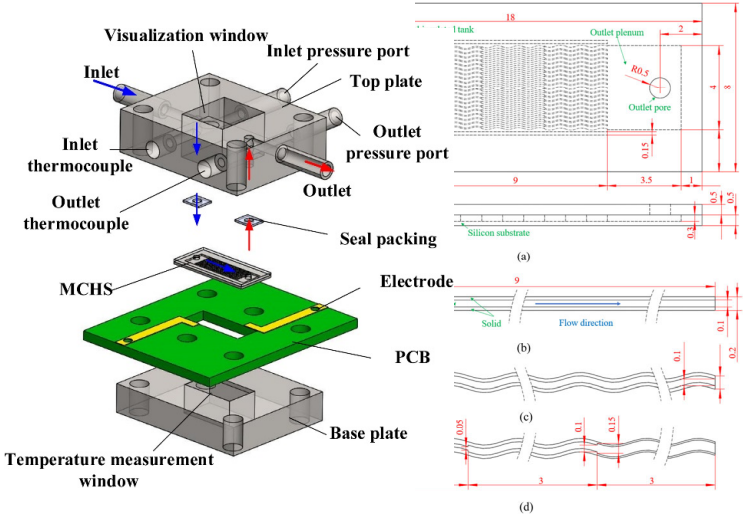
不同微通道结构的流动及强化换热效果



银了飞, 贾力, ATE, 2025



陈雪梅, 李强, IJHMT, 2024



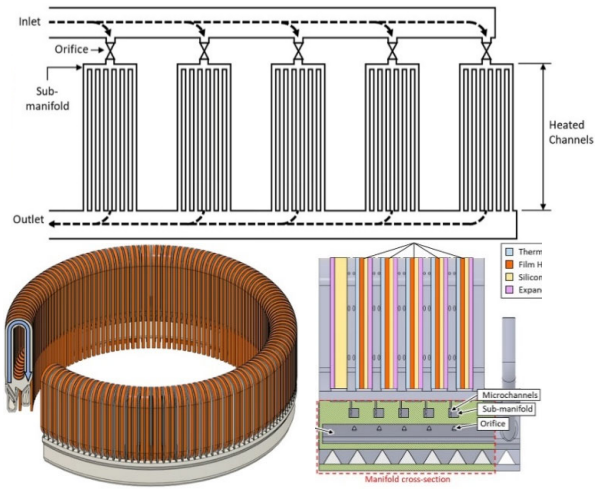
夏国栋, IJHMT, 2025

- 侧重点1：微通道结构/表面改性对流动沸腾传热性能的影响
- 侧重点2：创新结构对流动不稳定性及压降特性的改善作用

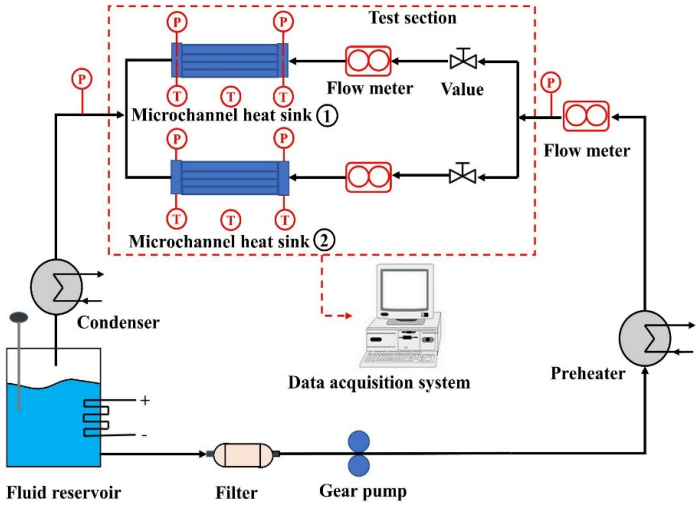
多热源应用场景下的两相换热研究

研究指向

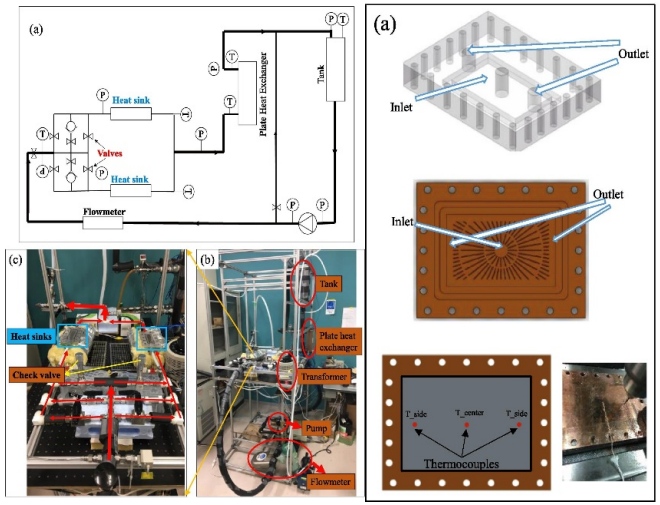
多热源两相散热系统的流动分配与换热特性



J. A. Weibel, IJHMT, 2026



胡成玉, 魏进家, ATE, 2024

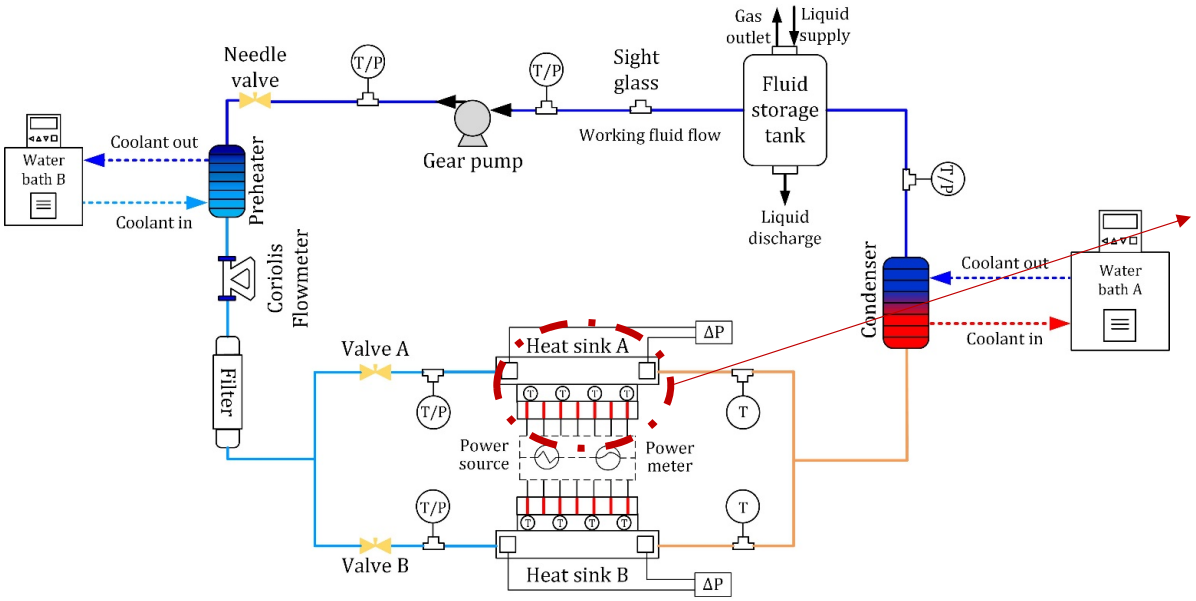


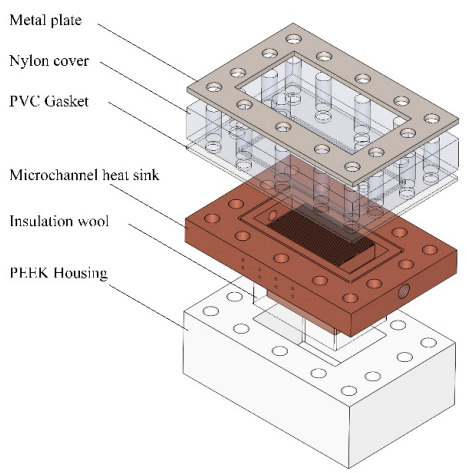
洪思慧, 党超镔, ATE, 2024

- 侧重点1：多热沉串/并联连接对散热性能的影响
- 侧重点2：非均匀热负荷分布下的流动分布与稳定性

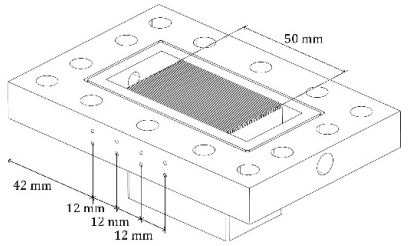
双回路两相换热特性实验研究

□ 根据数据中心实际散热需求，设计双回路散热系统

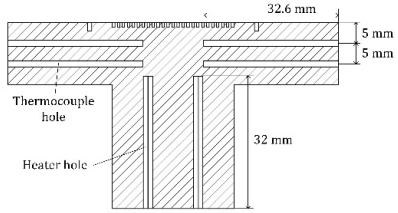




(a)



(b)

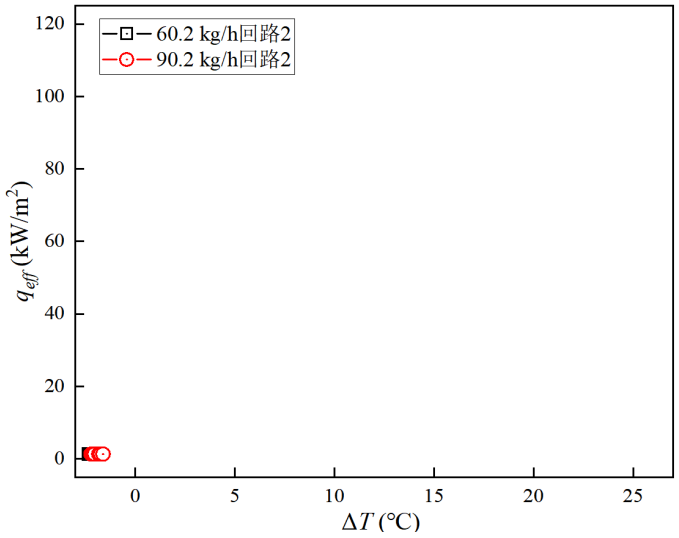


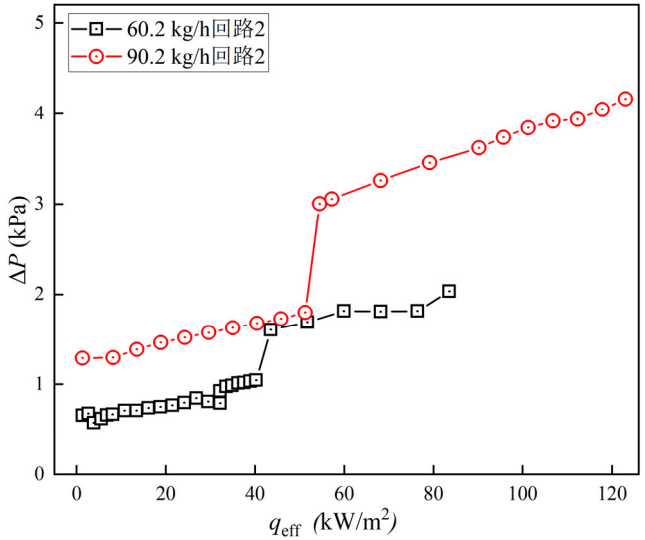
(c)

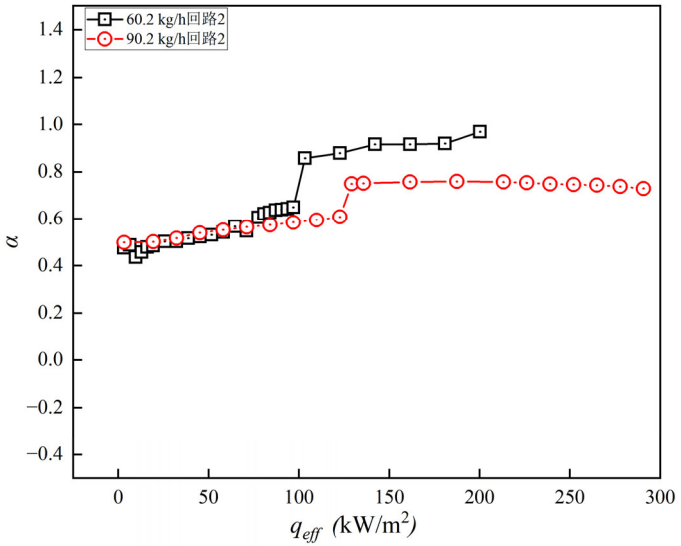
□ 对并联配置微通道散热器，开展两相流型分布、换热特性及压降振荡分析

并联双回路散热器换热特性

□ 沸腾曲线、压降及流量分配

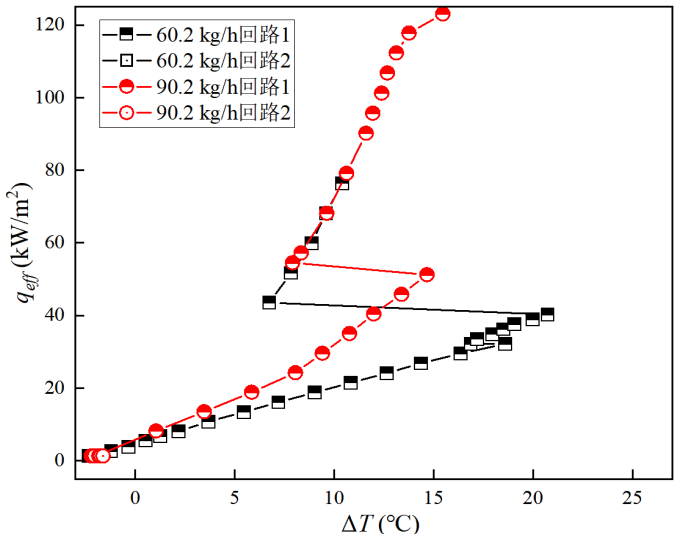


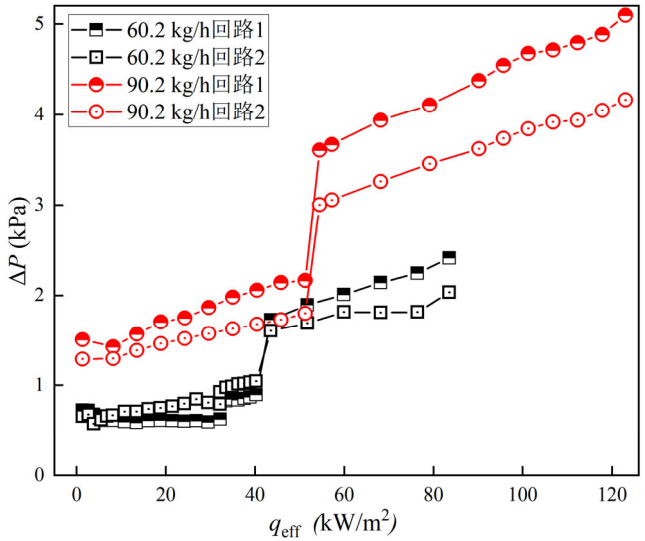


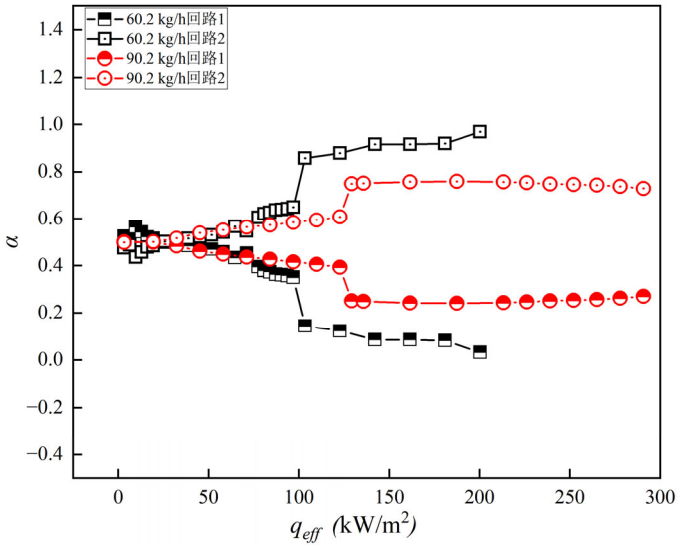


并联双回路散热器换热特性

□ 沸腾曲线、压降及流量分配





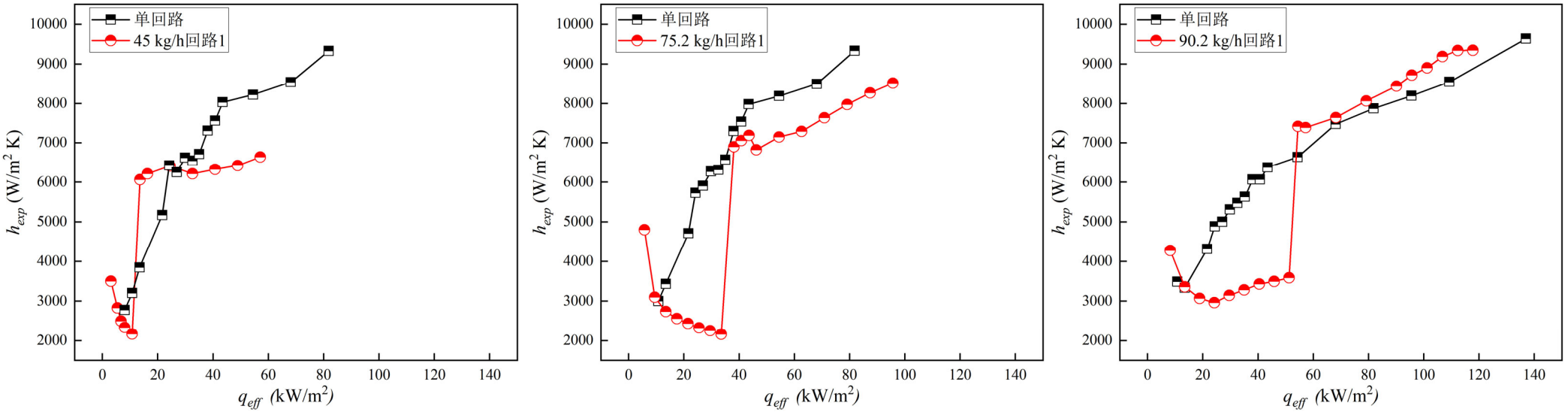


□ 特定热流下回路1压降突增引发流量再分配，回路2随之改变，符合已有规律

□ 低流量下出现“流量掠夺”，系统无法自发性抑制，且会随着热流密度增大而加剧

并联双回路散热器换热特性

□ 单、双回路换热系数



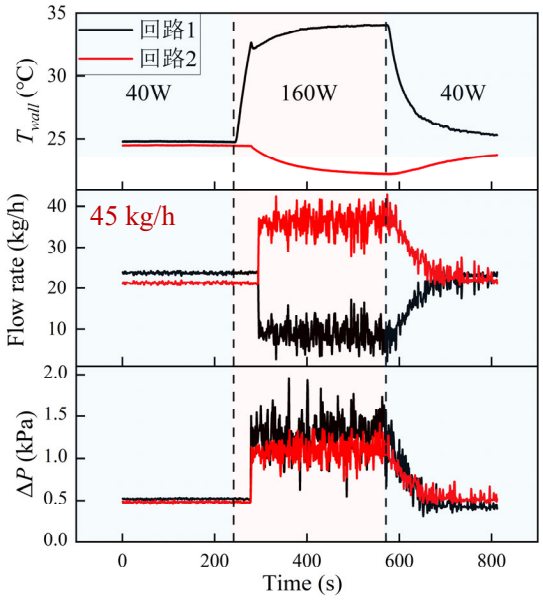
□ 单回路HTC：仅受热流密度影响，呈快速升高—缓慢变化的趋势

□ 双回路HTC：受热流密度与流量分配共同影响，出现“下降—突增”的变化趋势

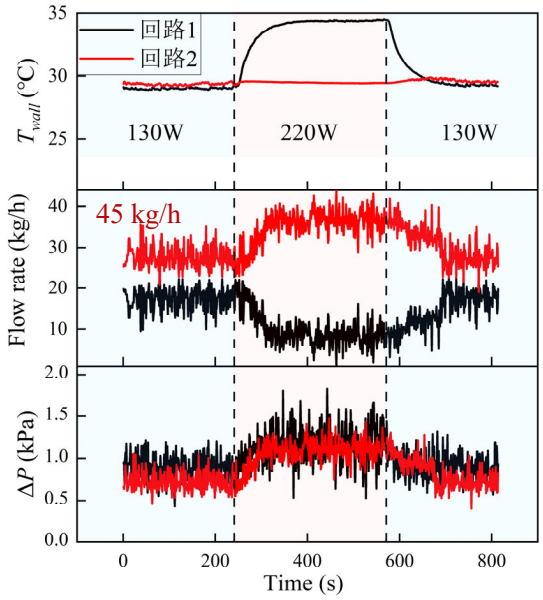
突变热负荷下瞬态换热性能及流量振荡特征

□ 阶跃热负荷下的换热及流动特性

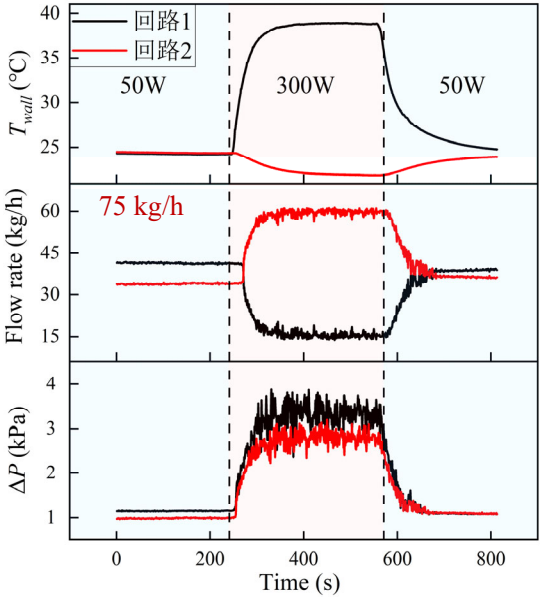
单相-两相-单相



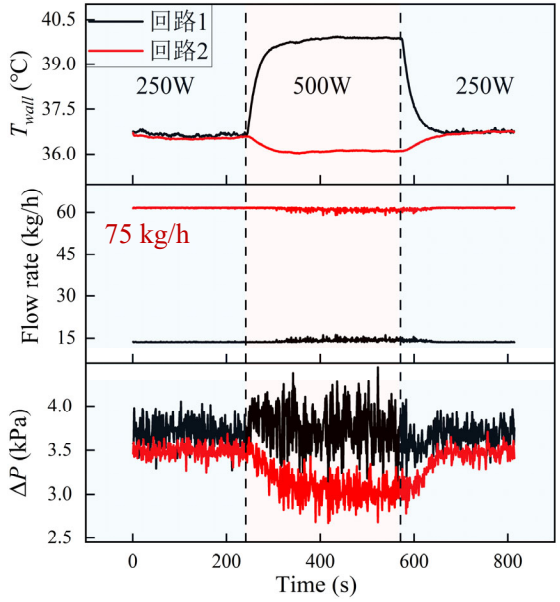
两相-两相-两相



单相-两相-单相



两相-两相-两相

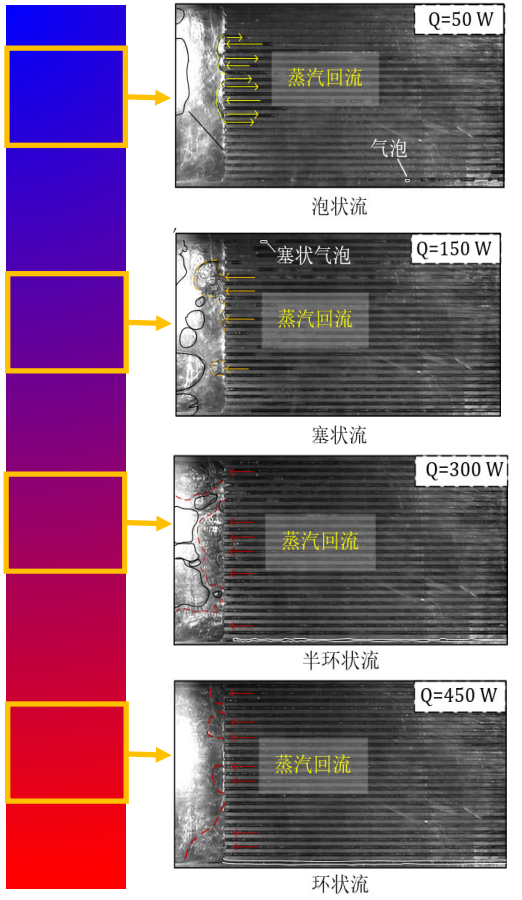


□ 突变热流会导致系统为平衡压降而增大流动分布的不均匀性

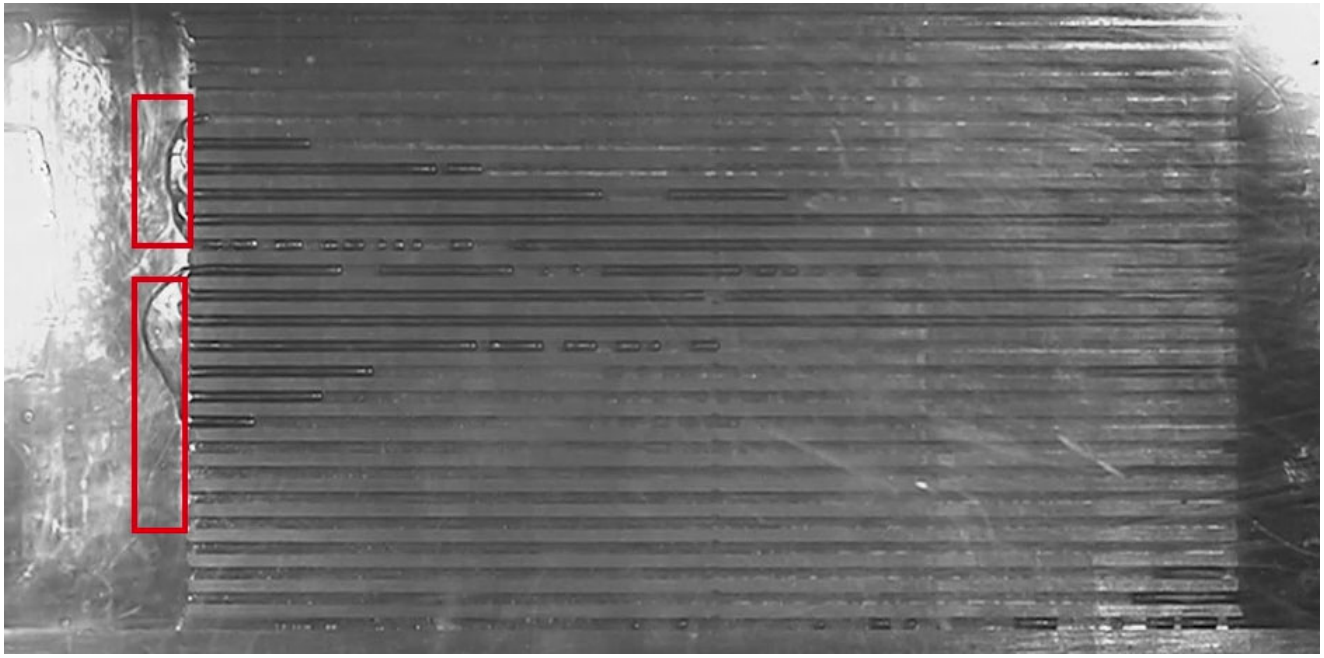
□ 在大流量情况两相初始状态下，热负荷突增引发的流量再分配现象不明显

单回路下微通道两相流型和流动不稳定性

□ 流型演变规律及分布特征



瞬态分析

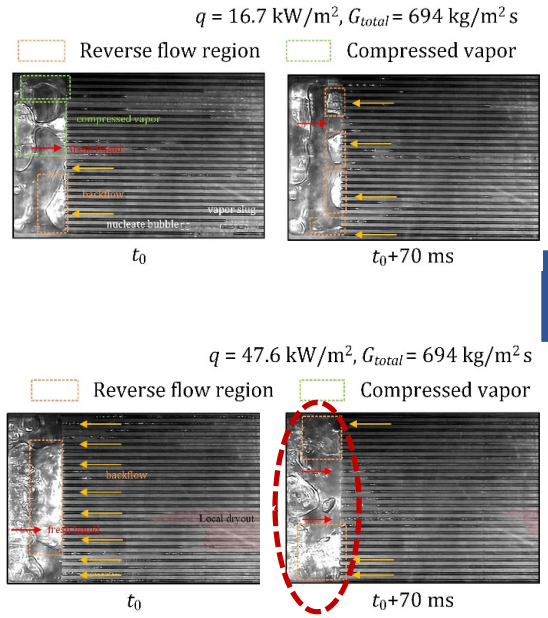


□ 流型发展：泡状流-塞状流-半环状流-环状流

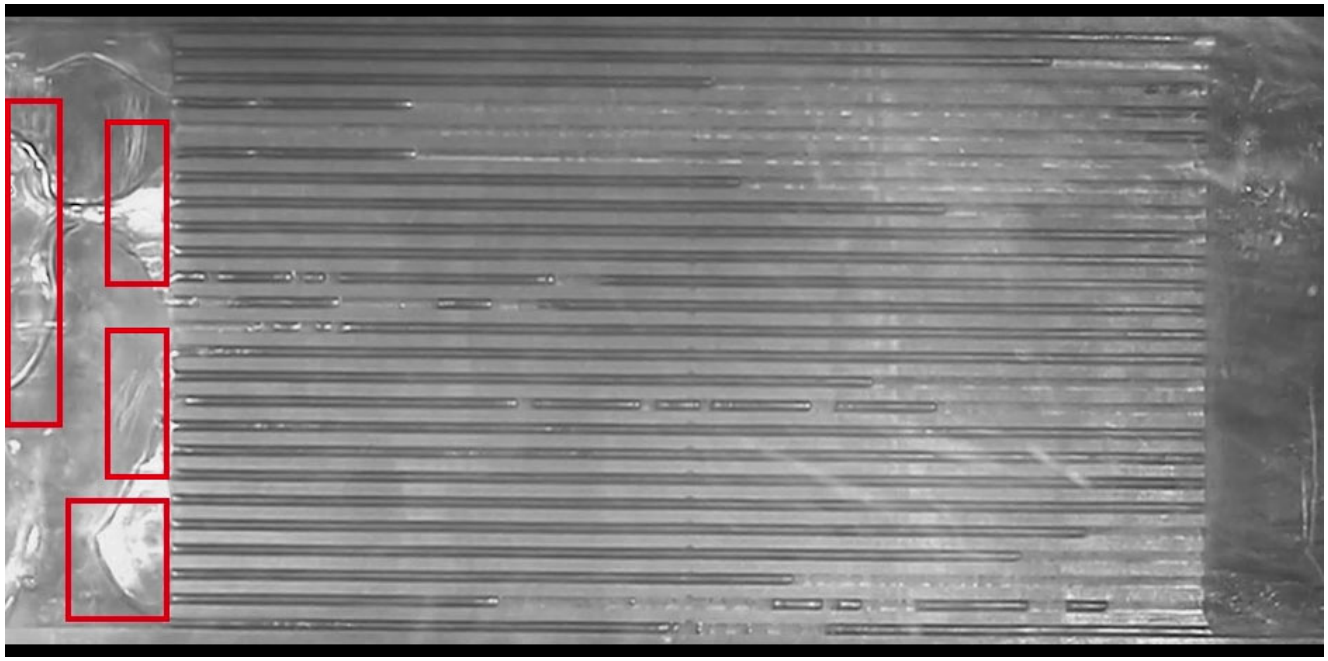
□ 微通道蒸汽回流由**并联通道失稳**和**可压缩容积**共同引发

双回路下微通道两相流型和流动不稳定性

□ 流型演变规律及分布特征



瞬态分析

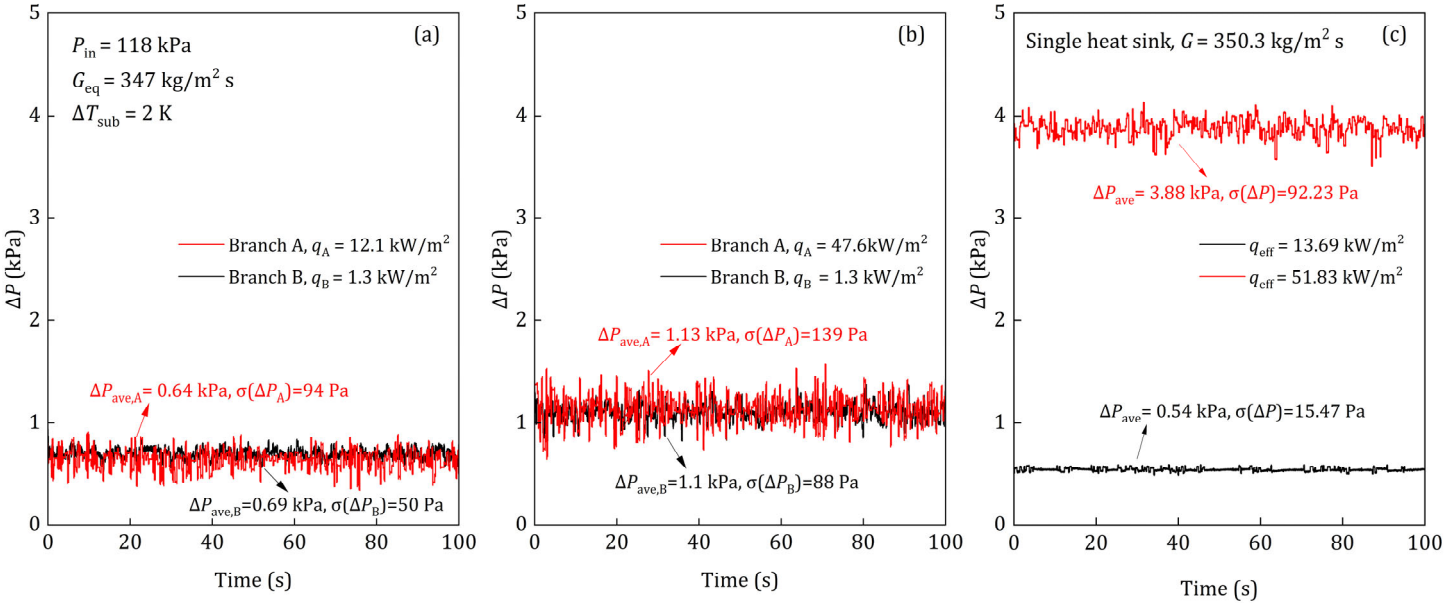


□ **非均匀热负荷**致高热流支路流量减小，单相区消失，蒸汽回流区增多且更剧烈

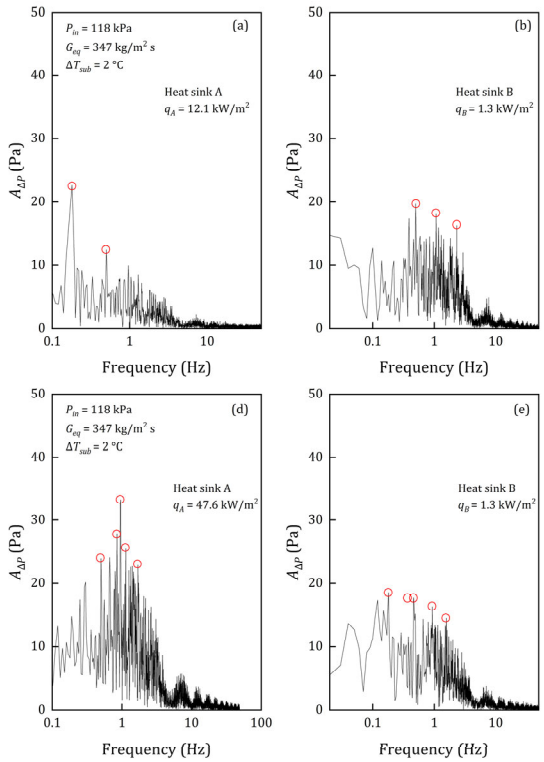
□ 来流惯性力削弱致回流波及广、持续长，但入口压缩蒸汽堆积受限

双回路两相流动压降振荡特征

□ 时域振荡



□ 频域振荡

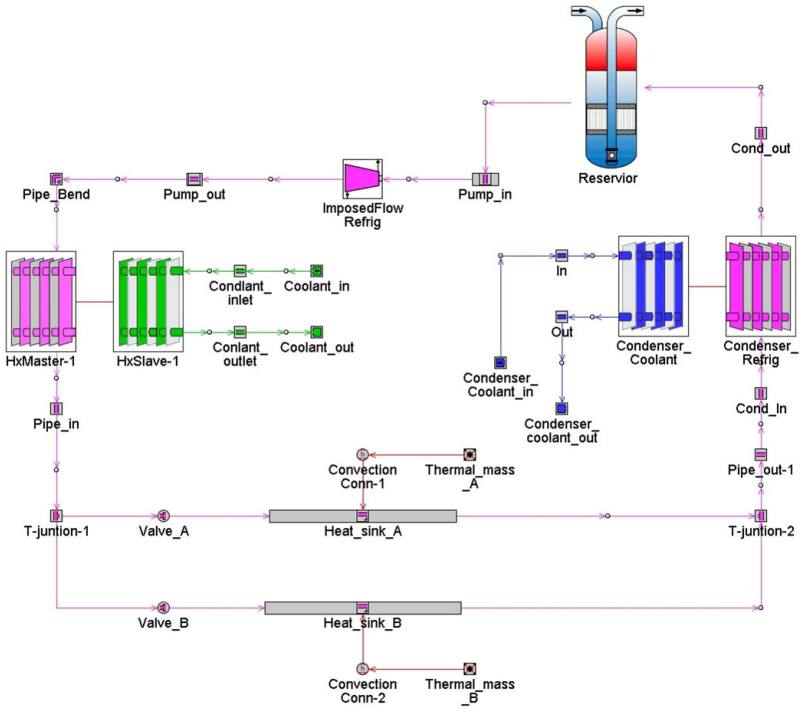


□ 高热负荷热沉的压力振荡更加显著

□ 热沉A在存在明显主峰，高热流时频带拓宽至0.3-3Hz；热沉B受扰动呈多峰响应

多热源泵驱两相冷却回路的控制策略

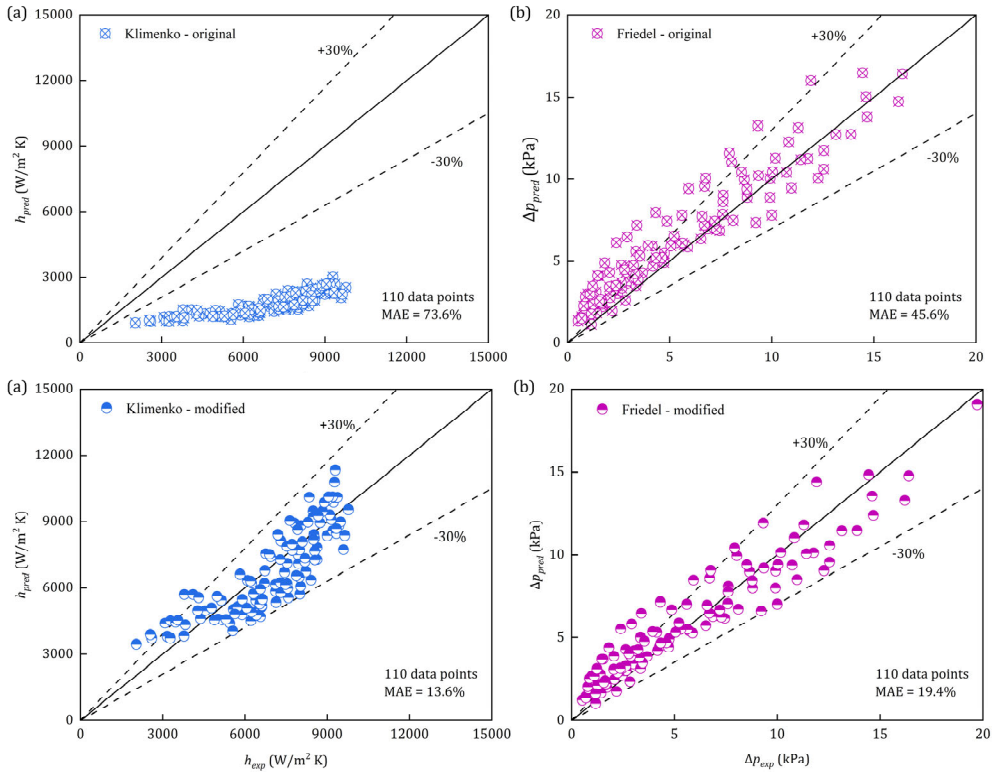
基于GT-SUITE建立仿真模型



设定控制指令，调节每个支路阀门开度

根据支路的热负荷进行开度自动调节

模型校验结果



修正后模型计算值与实验数据良好吻合

研究总结

- 针对数据中心两相热管理场景，设计并搭建了**并联双回路**微通道散热实验系统
- 对并联双回路散热系统的**稳态和瞬态**换热特性进行了初步分析，明确了非均匀热负荷下各回路的换热特性与流量分配规律
- 观察到双回路之间的**“流量掠夺”**现象，高热负荷支路由于压降升高，导致工质持续向低热负荷支路迁移，进而进一步加剧相变过程
- 借助高速可视化手段，获得了双热源**非均匀热负荷**条件下流型演变规律，发现双回路条件下流动不稳定性的范围有所扩大，持续时间延长
- 对单/双回路条件下的压降**时域及频域**信号进行了对比分析
- 基于一维仿真软件搭建了并联双回路散热系统模型，完成了换热与压降关联式的校验，为控制策略研究提供了模型基础

2026年中国工程热物理学会多相流学术会议

2026年10月31日-11月1日 @ 东南大学

感谢关注，敬请批评指正！

