

# 带有偏置针肋和空腔的微通道热沉流动和传热性能

邵文琦<sup>a</sup> 孙博华<sup>\*b</sup>

<sup>a</sup>西安建筑科技大学，建筑设备科学与工程学院&力学技术研究院，西安710055

<sup>b</sup>西安建筑科技大学，土木工程学院&力学技术研究院，西安710055

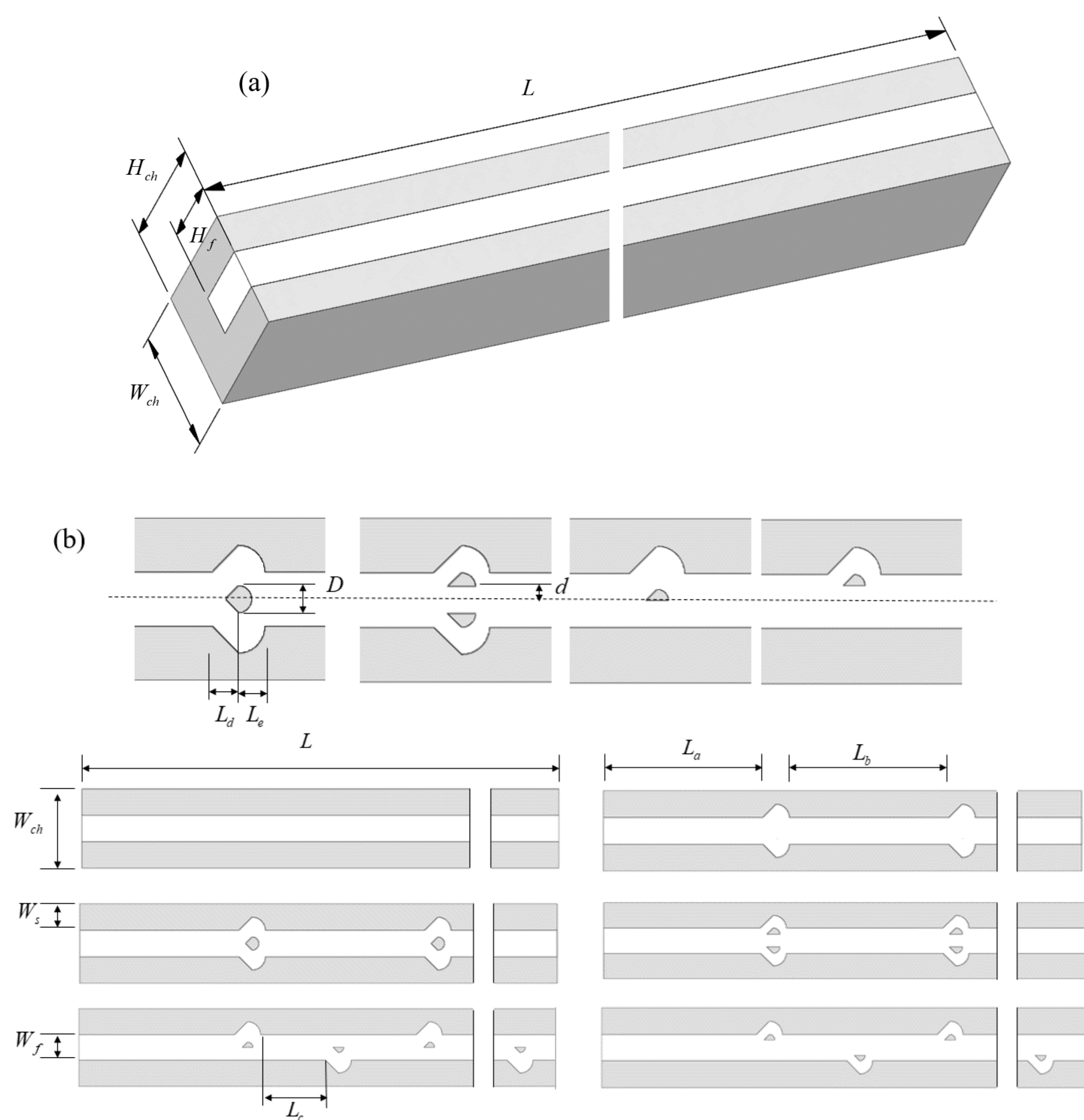
\*通讯作者 邮箱: imt@xauat.edu.cn

## 介绍/亮点

作为一种新兴的热设计技术，微通道热沉的体积微小，热阻很低，同时又可以直接作用于热源位置，换热效率很高，国内外学者认为微通道热沉（MCHS）是解决高功率密度设备冷却的有效方案。本文研究了半水滴形空腔和针肋组合微通道的流动和传热特性，对多种偏置和交错空腔/针肋组合结构三维模型的相关特性进行了数值模拟。详细分析了结构形式和雷诺数的大小对微通道的流动特性和压降特性的影响，从传热特性和综合换热因子的角度对微通道的综合热工性能进行了研究。结果表明：与传统矩形直通通道相比，增加空腔和针肋有效改善了微通道的换热性能，这种提升归因于流体边界层减薄、二次流形成、壁面区和中心区流体的混合。低雷诺数下，在通道中心布置针肋以显著增加的压降损失为代价获得了较高的努赛尔数，在高雷诺数下，偏离通道中心对称布置针肋的微通道热沉具有更好的传热和综合换热性能。

## 研究方法

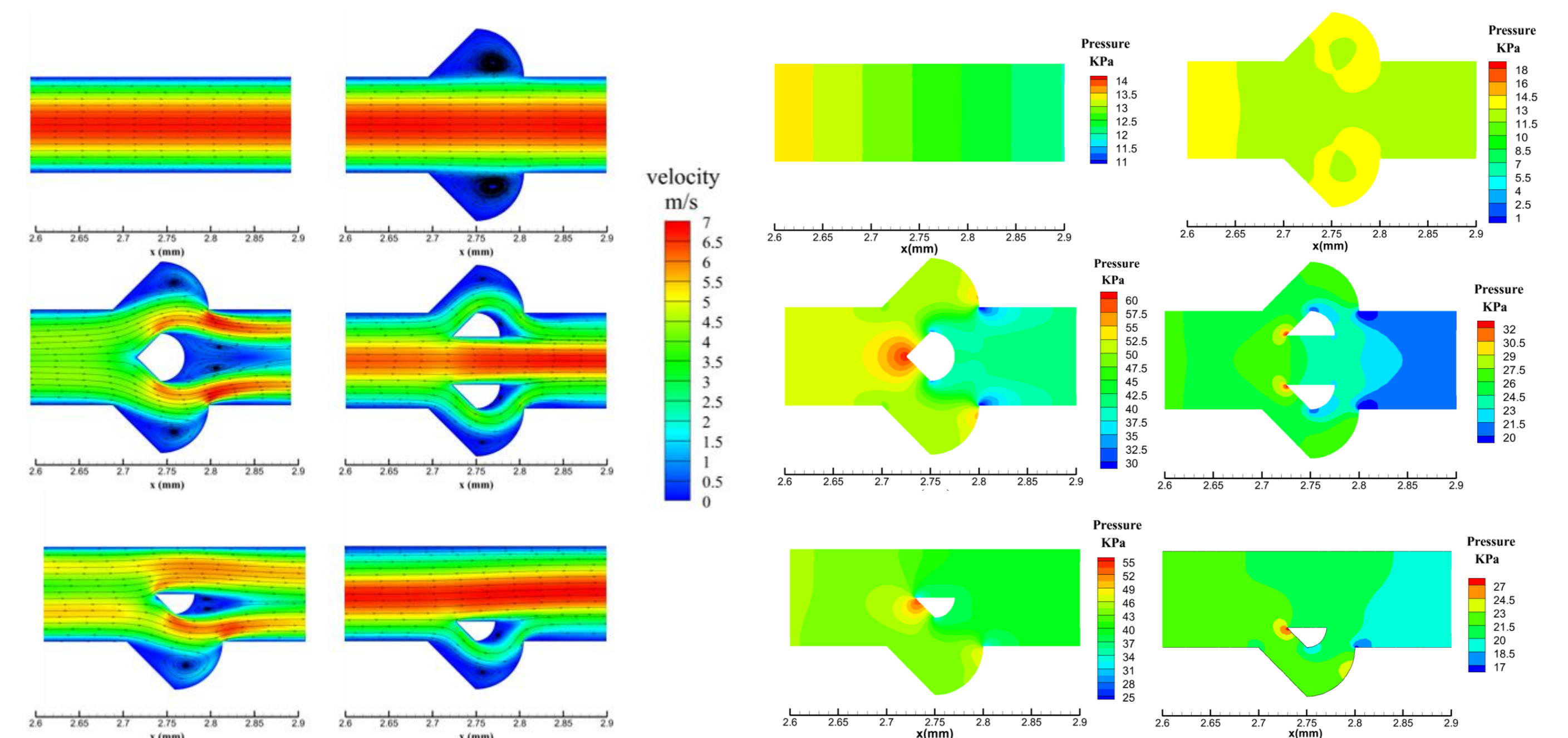
本文首先对空腔和针肋组合型微通道进行了新的设计，设计了半水滴形针肋和空腔组合结构，对底面定热流密度的硅基MCHS的流动、传热和压降特性进行了三维数值模拟。然后通过对传统矩形微通道的压降和传热特性，详细分析了新结构微通道的传热强化性能，讨论了不同结构微通道的综合性能。



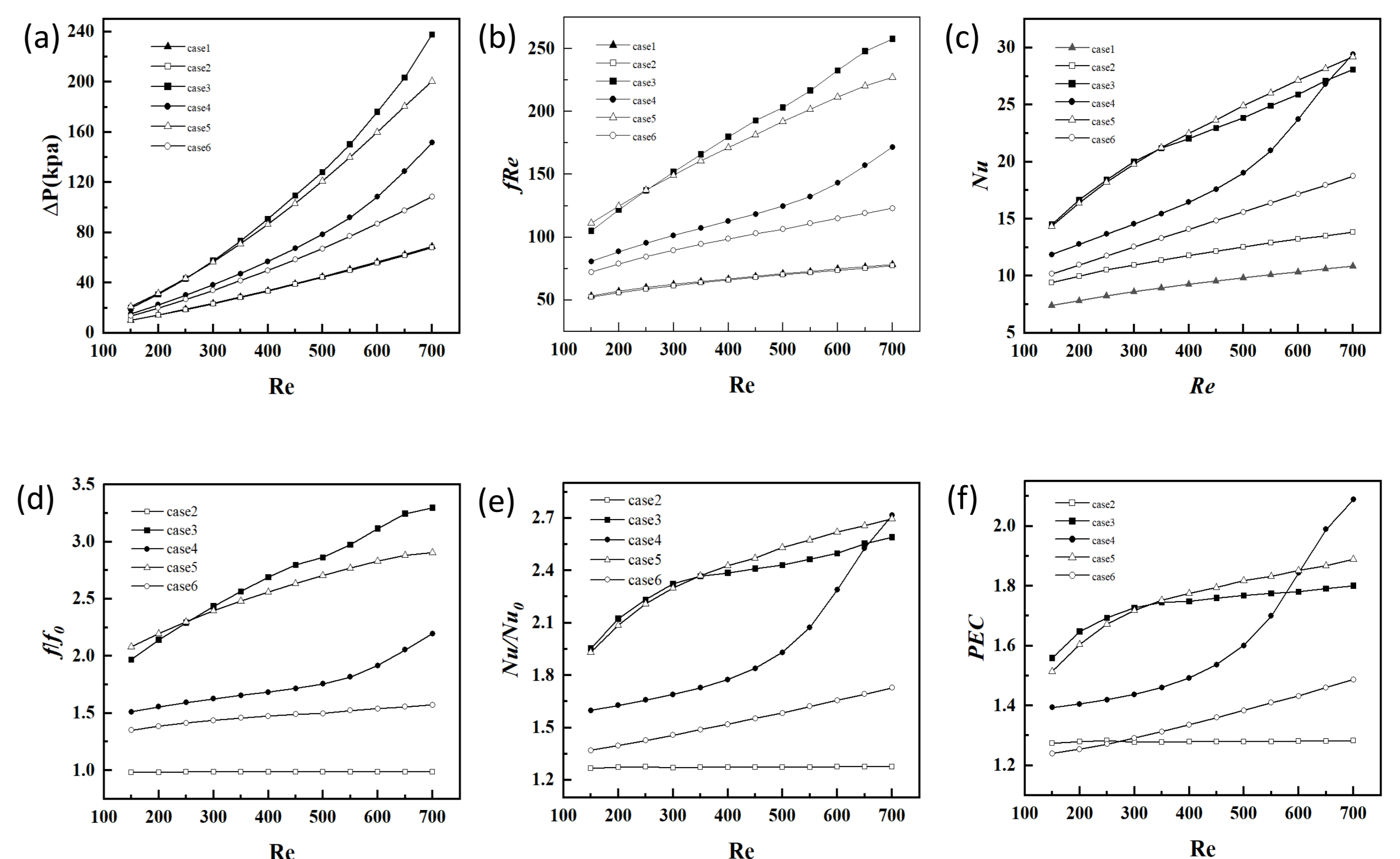
本文以一个通道作为数值计算区域，该区域包括流体域和相邻两侧固体域，通道固体材料为硅，以去离子水作为冷却介质。整个计算域长度为5.5mm，宽0.3mm，高0.35mm。展示了本文设计的六种MCHS结构，通道侧壁设置七对空腔，空腔深度为0.2mm，空腔膨胀段与收缩段长度均为0.05mm，针肋与空腔位置一一对应，所有针肋高度与通道高度相同为0.2mm。

## 结果/讨论

传统矩形通道具有非常稳定的流动边界层，其他结构通道流线呈现周期性分布。在针肋两侧存在较大的速度梯度，针肋对流动起到阻碍作用，尖端将流体推向两侧空腔及壁面，破坏腔体内涡流流动，提高空腔内流动速度。case3和case5空腔内平均流速更大可以归因于表面膨胀在管道中心处分流，流体进入空腔的速度更大。case4和case6偏离中心布置针肋减小了收缩段和膨胀段的截面面积，由于对来流的阻碍作用，针肋前缘压力增大，前缘区域都出现高压区。case3出现了大量的低压区，主要集中在针肋两侧及空腔末端拐角处，两侧压差增大，肋周围速度梯度剧烈变化增加了剪切应力，产生较大的摩擦阻力。



下图分别不同通道结构压降、Po数、Nu数和PEC随雷诺数的变化情况。Re>350靠近通道侧壁布置针肋的换热性能优于中心端布置，在Re>500之后，换热性能明显提升，随着雷诺数的提高，两侧半水滴形针肋来流速度升高，发生流动分离形成附着涡并向后方生长，在靠近壁面形成再循环区，再循环区内的涡流增强了壁面附近流体的扰动，极大地破坏了壁面热边界层，使其再发展。另外针肋分布在通道两侧，使流体更容易流向空腔，减少空腔内滞流区，加强侧壁与空腔内部流体的热量交换。



为了评价空腔和扩展表面结构对MCHS整体性能的影响，采用性能评价系数(PEC)对新设计通道的整体性能进行了评价，在所有情况下，PEC值均大于1，表明空腔和针肋能够有效提高微通道热沉的综合换热性能。case2的综合换热性能在不同雷诺数下基本保持不变，Re<300时，case3的综合换热性能优于case5，雷诺数高于300时发生后者大于前者。随着雷诺数的升高，两种情况综合性能的提升效率逐渐下降，case4的提升效率与雷诺数成正比，当Re<600时，case4性能评价系数最高。

## 结论

本文对不同形状和组合结构的微通道热沉进行了数值模拟研究。分析讨论了其流体流动特性和换热特性，对通道的整体性能进行了详细的分析和评价。结论如下：

(1) 通过增加两侧空腔和内部针肋，通道努赛尔数明显提高，换热能力增强。空腔和针肋增大了换热面积，空腔内部和针肋尾流区存在涡流，流动混合增强，有利于冷热流体的混合，提高对流换热。针肋使主流流向两侧，空腔内流体流速增大，冲击收缩段壁面，破坏滞留区，进一步提高换热能力。(2) 研究了针肋在不同位置对微通道流动特性及热性能的影响。针肋使通道压降明显提高。在通道中心增加针肋对通道压降影响最大，其压降明显高于其他情况。低雷诺数下，在通道中心增加针肋可以有效增加流体扰动，增强流动换热，高雷诺数下，两侧针肋尾流区附着涡生长，有效破坏壁面附近的流动边界层，整体热性能明显提高。(3) 考虑了通道的综合传热性能进行节能评价。增加空腔和针肋都可以有效提高通道的综合换热能力。