

交变压力波强化传热

张东伟, 蒋二辉, 周俊杰*

郑州大学 化工与能源学院 热能系统节能技术与装备教育部工程研究中心, 河南 郑州 450001

摘要

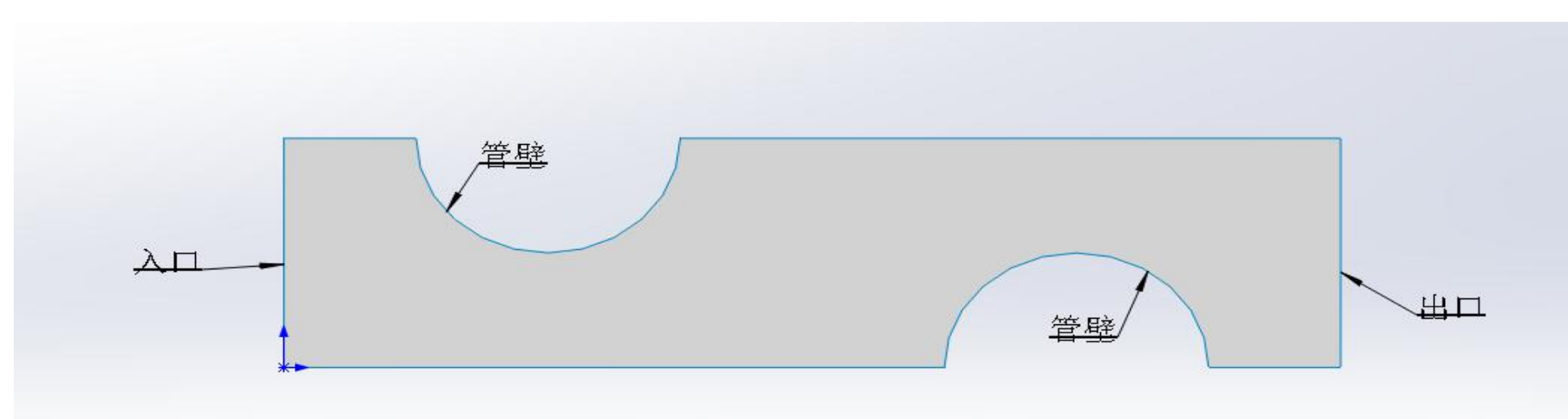
节能、高效、紧凑已经成为制冷空调行业的发展趋势, 其中强化换热技术尤为关键。因此, 本文采用COMSOL软件对微型错排管换热器进行了建立二维模型, 基于瞬态模型, 采用流动和传热模块进行有无交变压力波的数值模拟分析。结果发现随着交变压力波的添加大大增加了速度场、压力场及温度场的波动情况, 使得管内工质边界层受到破坏, 从而降低了传热的热阻综合“空化链式理论”, 交变压力波能够起到强化传热的作用, 提高了制冷效率, 有利于推动制冷行业的发展。

引言

换热器作为一种广泛应用于石油化工、低温制冷、热力发电等领域的冷热流体的换热设备, 对其实行强化换热能够满足制冷行业走向节能、高效、紧凑的发展趋势。目前, 强化换热的方式主要包括, 有源强化和无源强化, 其中无源强化因其注重于结构的优化, 虽改变了工质的流型, 起到了强化换热效果, 因其额外面积的增加而限制其行业的发展。因此, 本文提出以交变压力波来进行主动强化, 采用COMSOL软件进行, 数值模拟研究工作, 探究随着交变压力的添加, 对换热效率的影响机制。

几何模型

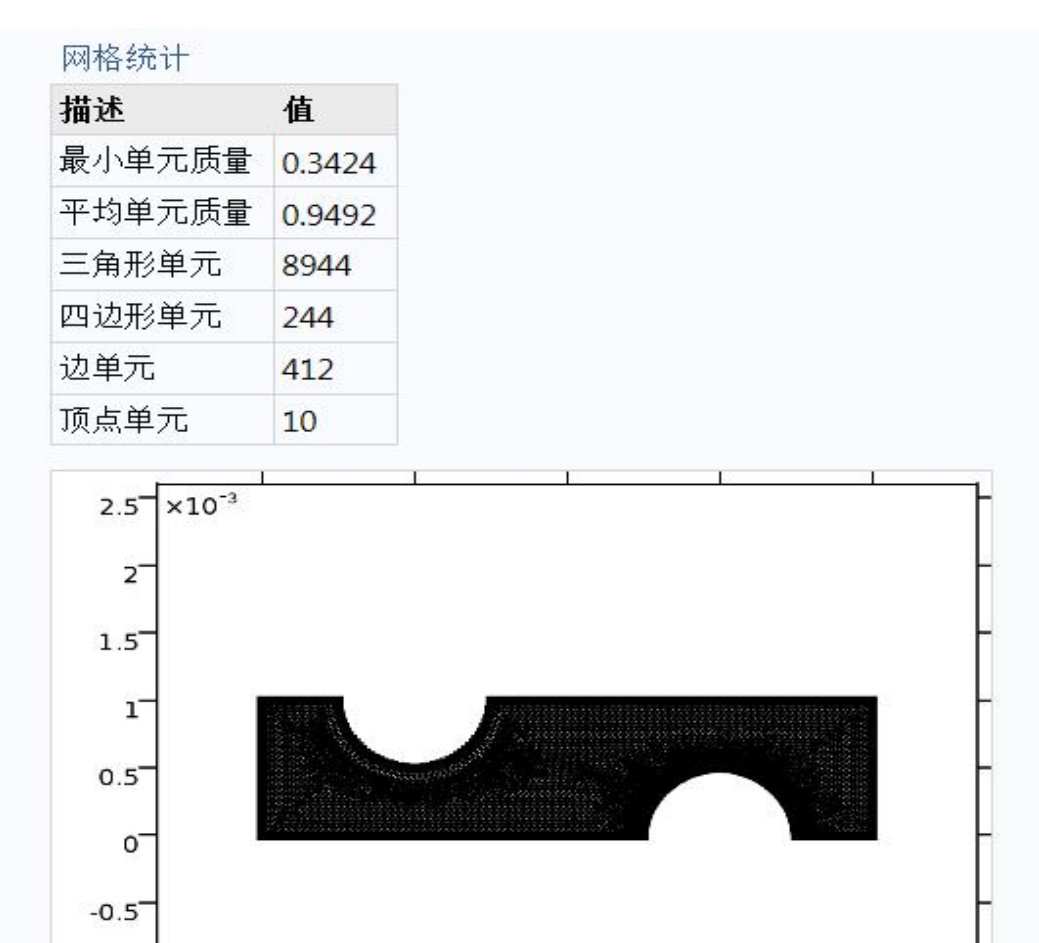
错排管换热器模型的建立在SOLODWORKS中进行, 其几何模型及尺寸如下所示:



符号	含义	数值	单位
W	宽度	4	um
H	高度	1	um
R	半径	0.5	um

几何模型

数值前处理



网格划分

网格与边界

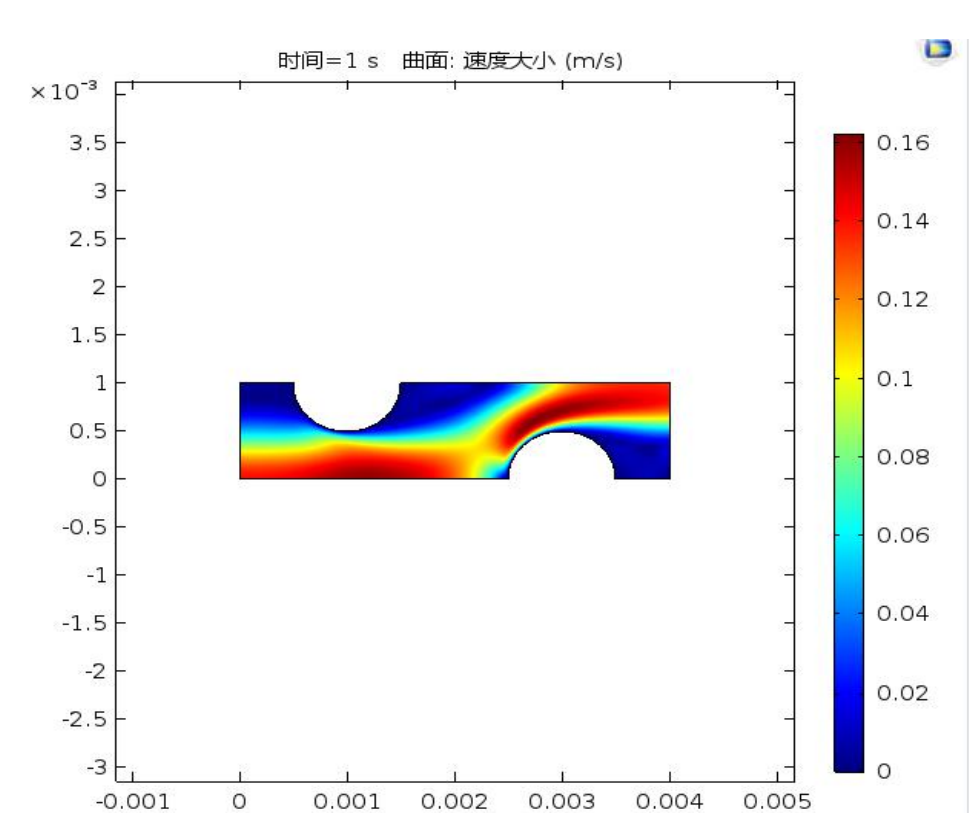
模型的进口温度为300K, 进口压力为500Pa, 管壁的温度选择为400K

T_{in}	进口温度	300	K
P_{in}	进口压力	$5000\sin(w*t)$	Pa
T_{wall}	管壁温度	400	K
q_{in}	进口质量流量	0.006	Kg/s
w	频率	30000	Hz

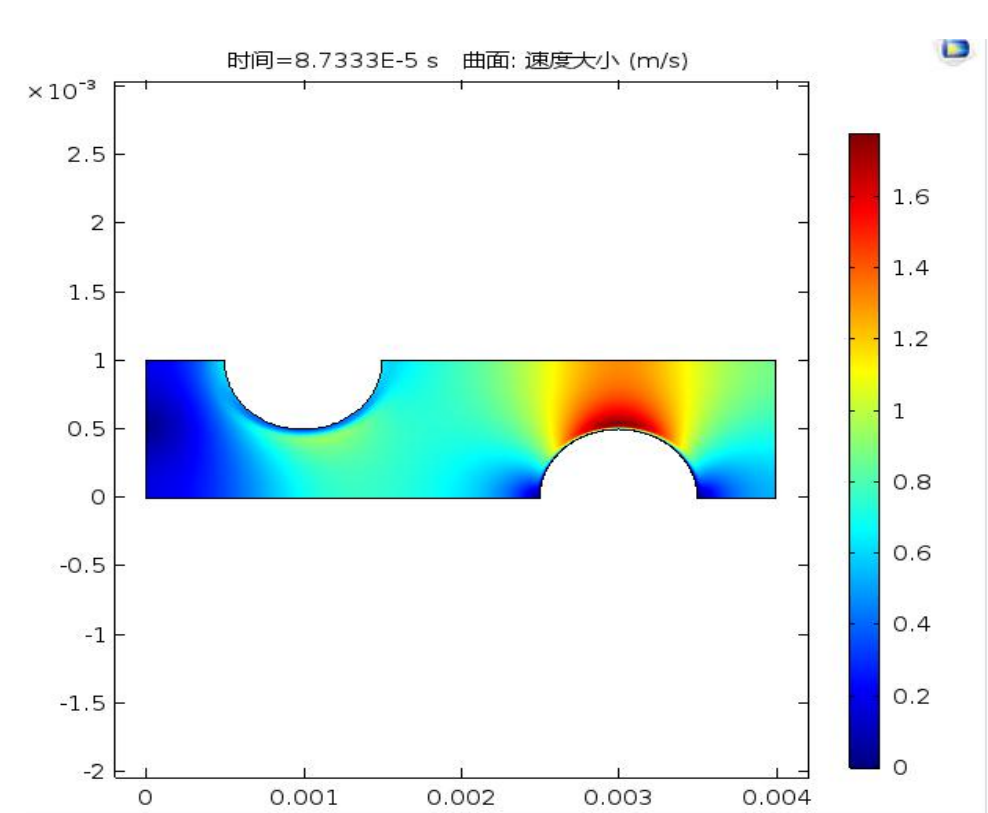
边界设置

结果分析

速度分析



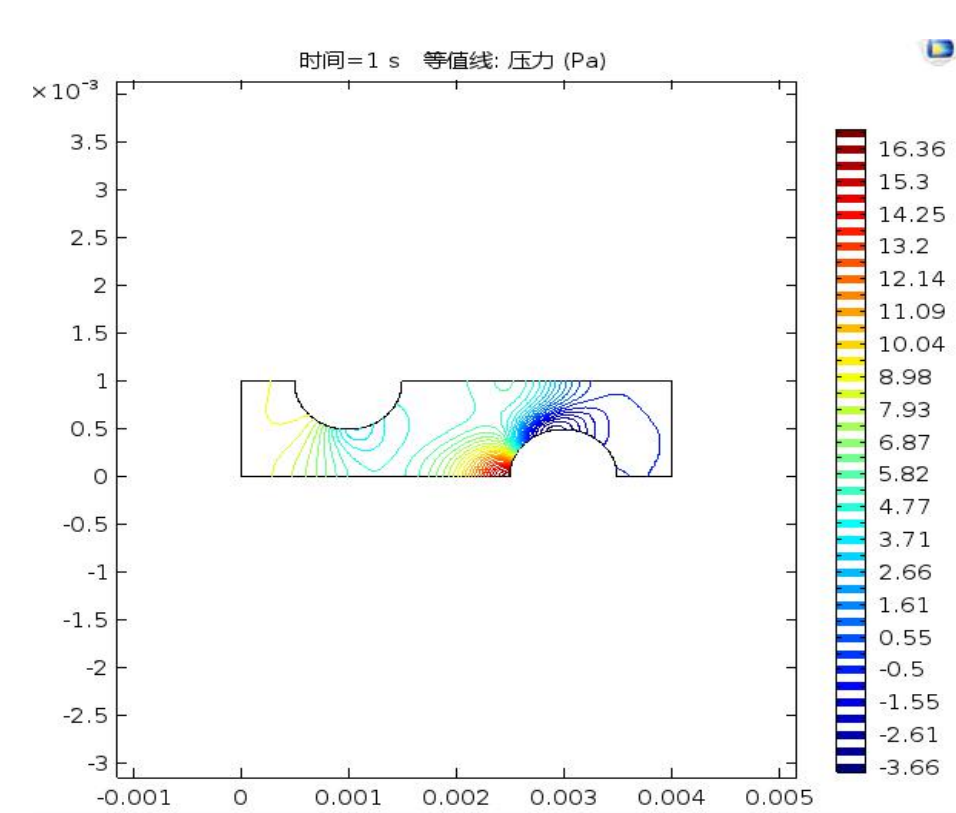
(a)不加压力波



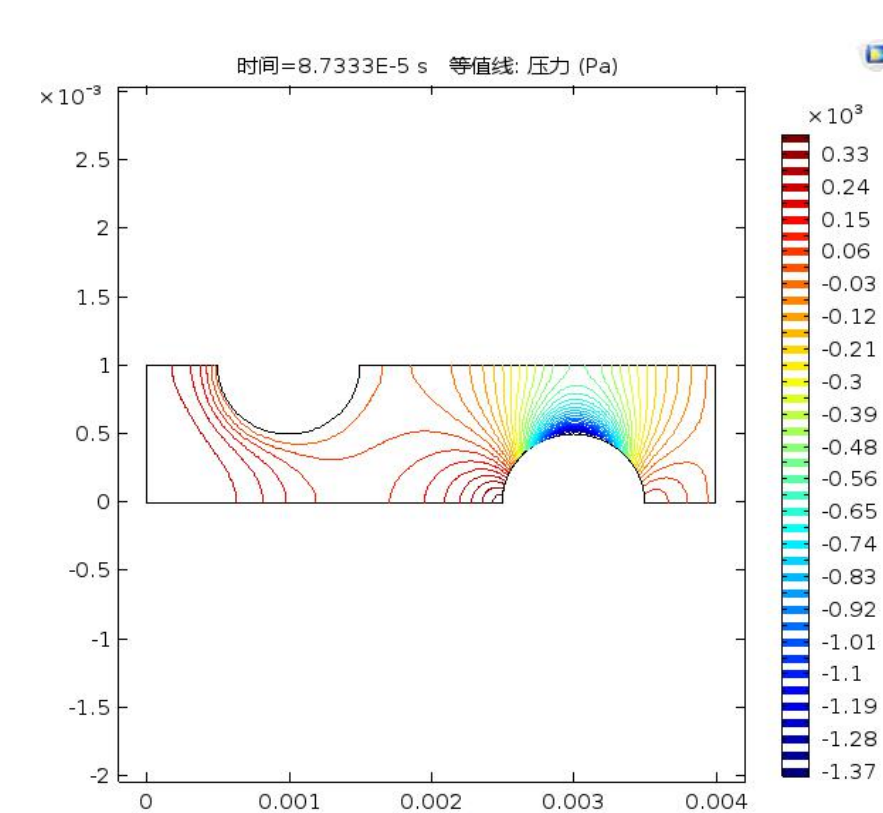
(b)入加压力波

未加入交变压力波时, 速度沿法线方向逐渐增大, 且由于管壁的影响, 使得出口流速较小; 而随着压力波的加入会发现管壁处的速度最大, 改变了流场的速度分布, 有利于强化整个流场的换热。

压力分析



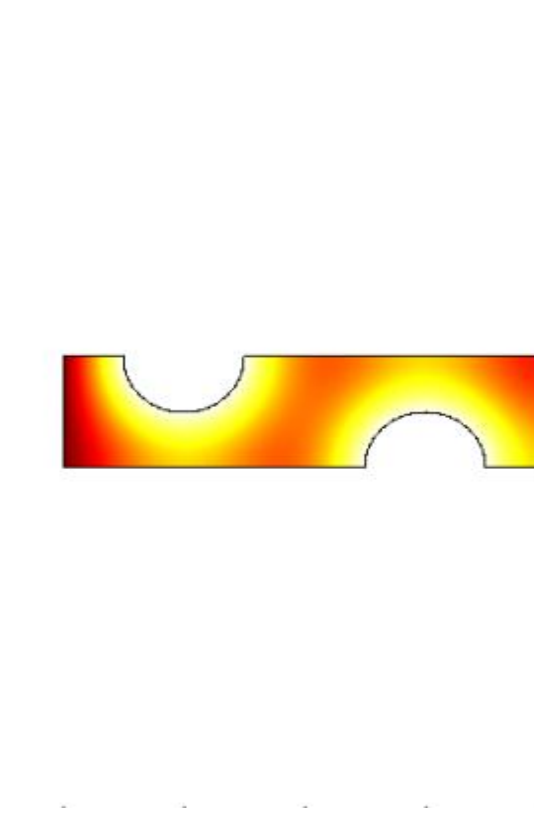
(a)不加压力波



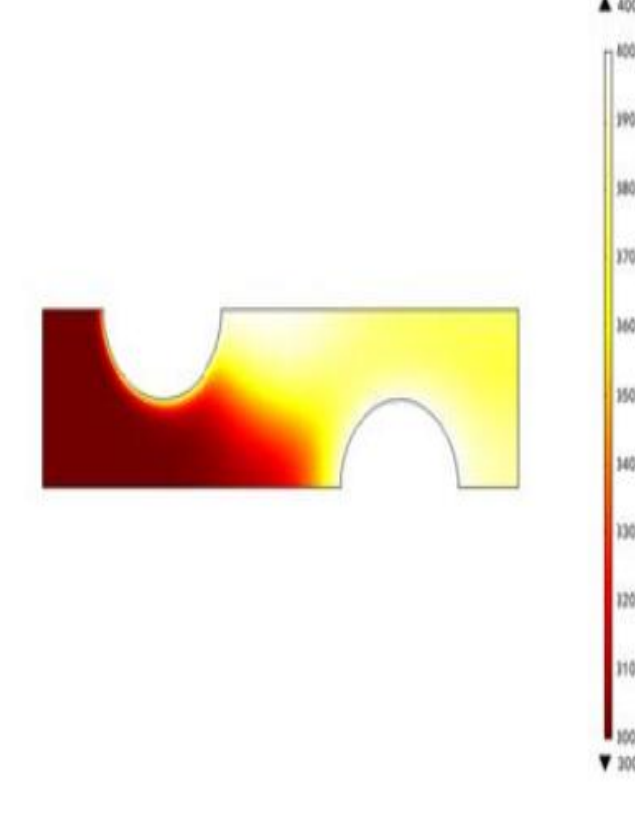
(b)入加压力波

未加入交变压力波时, 管壁迎风面压力迅速增加, 背风侧出现死区压力为零的现象, 增加了流动阻力, 使得出口压力降低; 而随着压力波的加入会弥补管壁两侧压差, 激活空化核心, 触发链式反应, 强化换热。

温度分析



(a)不加压力波



(b)入加压力波

未加入交变压力波时, 流体从进口到流体出口, 来流冲刷管壁, 受到高温管壁的影响, 温度逐渐上升, 出口温度达到最大值; 而随着压力波的加入, 促进空化泡的拉伸和湮灭, 使得局部产生高温, 提高出口温度, 提高换热。

结论

交变压力波强化传热, 主要原因在于交变压力波破坏了层流边界层, 减少了边界层的传热热阻, 另一方面, 交变压力波的扰动使得流体内部发生了空化现象, 空化作用加速了流体的扰动, 根据空化泡链式反应的原理, 这种促进作用进一步加强了流场的传热效果。