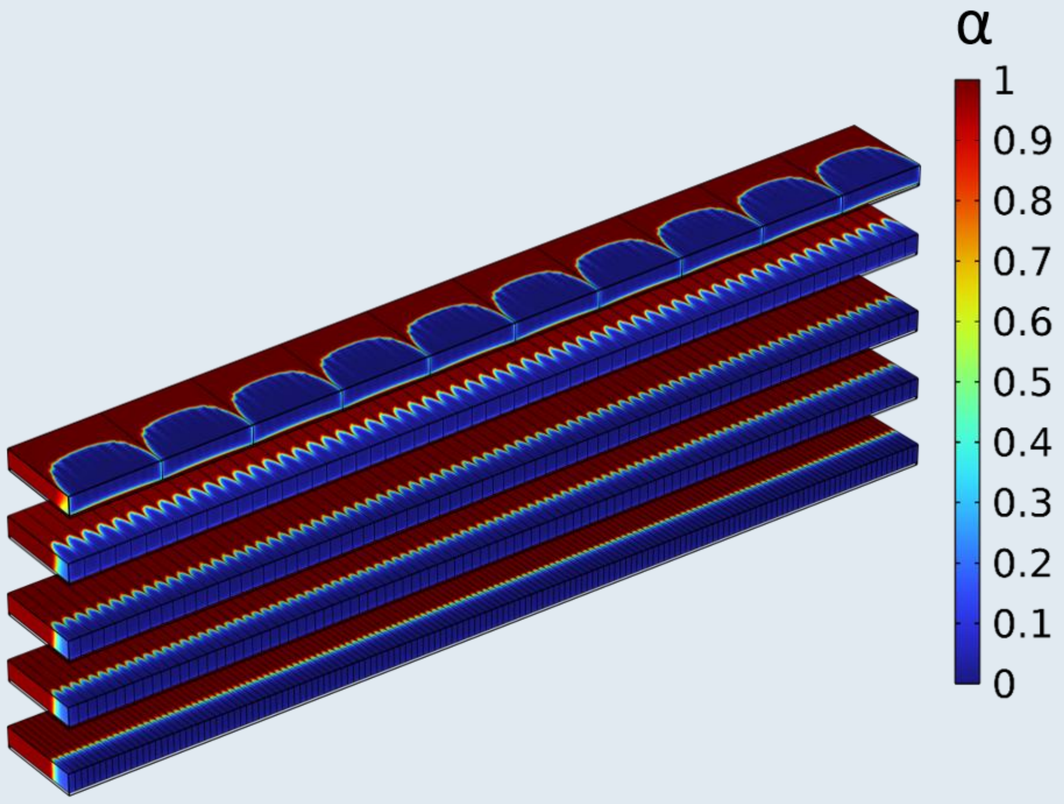


板翅式热化学反应器的设计优化数值研究

应用COMSOL Multiphysics®研究翅片及单元几何对板翅式热化学反应器的影响规律。

邓立生[1,2]，卢俊洁[1,2]

1 能源科学与技术学院，中国科学技术大学，广州，广东，中国

2 广州能源研究所，中国科学院，广州，广东，中国

摘要

热化学储能因其能量密度高且长期储存期间热损失可忽略不计等优势，在大规模和长时储能领域具有广阔的应用前景。然而，储能材料导热性较差，导致反应器内部传热受限，从而限制反应速率和储放热功率。板翅式结构通过引入高导热翅片增加传热面积、缩短热传导距离，为强化反应器传热提供了有效途径。因此，本研究建立了一个三维瞬态多物理场模型，用于研究板翅式热化学反应器中的水合过程。通过分析温度、浓度和流场的瞬态演变，阐明了传热传质与反应的耦合机制。研究使用COMSOL中的Darcy定律、固体和流体传热和非等温流动物理场接口完成传热传质的强耦合模拟，并通过域常微分和微分代数方程结合变量编写反应动力学方程构建反应模型。结果表明，增加翅片数量可增强传热并加速反应，但会减少有效储热体积，因此存在一个能使功率密度最大化的最优翅片数量；相比之下，翅片角度对反应器性能影响甚微。通过标准化回归系数分析确定了单元厚度、翅片数和单元长度是影响反应速率的主要的几何参数。这些发现为紧凑型板翅式热化学储能反应器的设计和优化提供了定量指导。

翅片对热化学反应器性能的影响

图1(A)展示了单位长度翅片数量对反应速率k和翅片体积惩罚因子χ的影响规律。可以看出，随着翅片数量的增加，反应速率随之增加，而增加幅度逐渐减小，反映出传热增强的递减效应。同时，翅片体积惩罚因子χ随着翅片数量的增加而减小，表明储能体积的有效利用率降低。综合考虑反应速率和储能体积利用率，可以看出在翅片数量较少时，传热增强效果显著，反应速率提升明显；而随着翅片数量的进一步增加，传热增强效果趋于饱和，而储能体积的损失却持续增加。因此，功率密度呈现先增加后减少的趋势，存在一个最优翅片数量，使得系统的整体性能达到最佳。如图1(B)所示，最优翅片数量为200个每米，此时功率密度达到最大值。相比之下，翅片角度对反应器性能的影响较小。

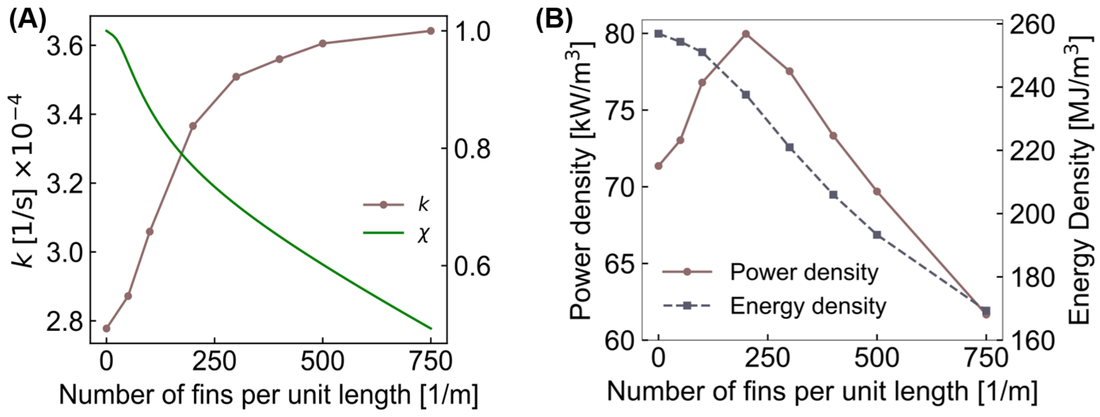


图1 单位长度翅片数量与 (A)反应速率、翅片体积惩罚因子 (B)功率密度、能量密度的关系

几何参数对热化学反应器性能的影响

图2(A)展示了单元长度对反应速率和反应时间的影响规律。可以看出单元长度增长，速率显著下降。由于反应物增多，而其他条件基本不变，导致反应时间成倍增加。图2(B)展示了单元厚度对反应速率的影响规律。可以看出单元厚度增加，速率呈线性下降。这是由于单位体积导热油所吸收的反应热同步增加，传热能力变差，温度升高，导致反应速率变慢。通过标准化回归系数分析确定了单元厚度、翅片数和单元长度是影响反应速率的主要的几何参数，且影响程度相当。单元厚度和单元长度均应尽可能小以提升速率。单元厚度应匹配预期的导热油温差，单元长度应匹配预期的反应总时长。

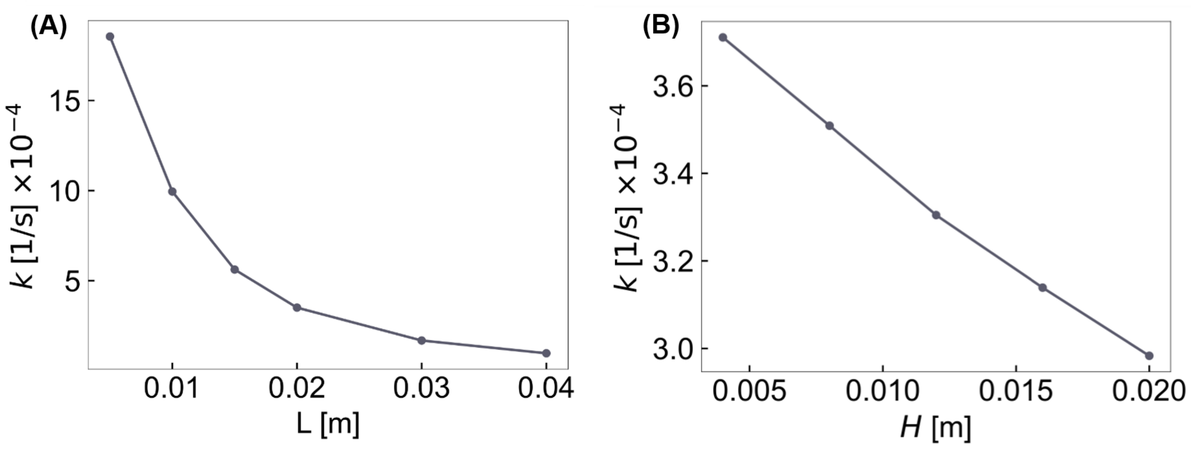


图2(A)单元长度(B)单元厚度与反应速率的关系

参考文献

[1] ESAKI T, YASUDA M, KOBAYASHI N. Experimental evaluation of the heat output/input and coefficient of performance characteristics of a chemical heat pump in the heat upgrading cycle of CaCl2 hydration. Energy Conversion and Management [J], 150: 365-374.

[2] LIN J, DENG L, LI J, et al. Dimensionless principle of closed thermochemical energy storage reactor: Heat–mass–reaction coupling and coordination. Energy Conversion and Management [J], 349: 120767.