

含受损树状网络多孔介质气体扩散的分形模型

王培龙, 朱怀志, 肖波齐*, 刘明星,

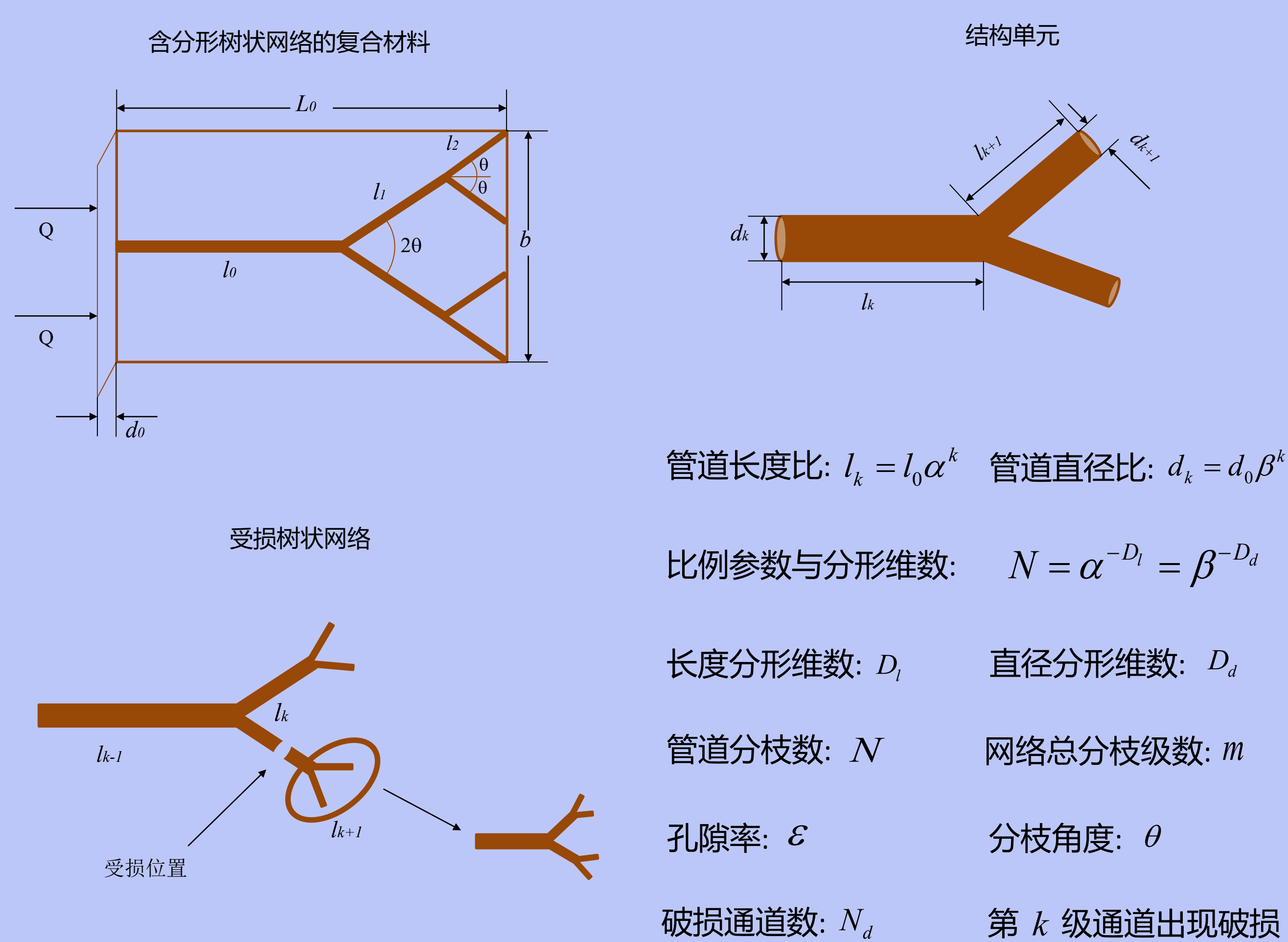
武汉工程大学机电工程学院, 湖北武汉 430205

摘要

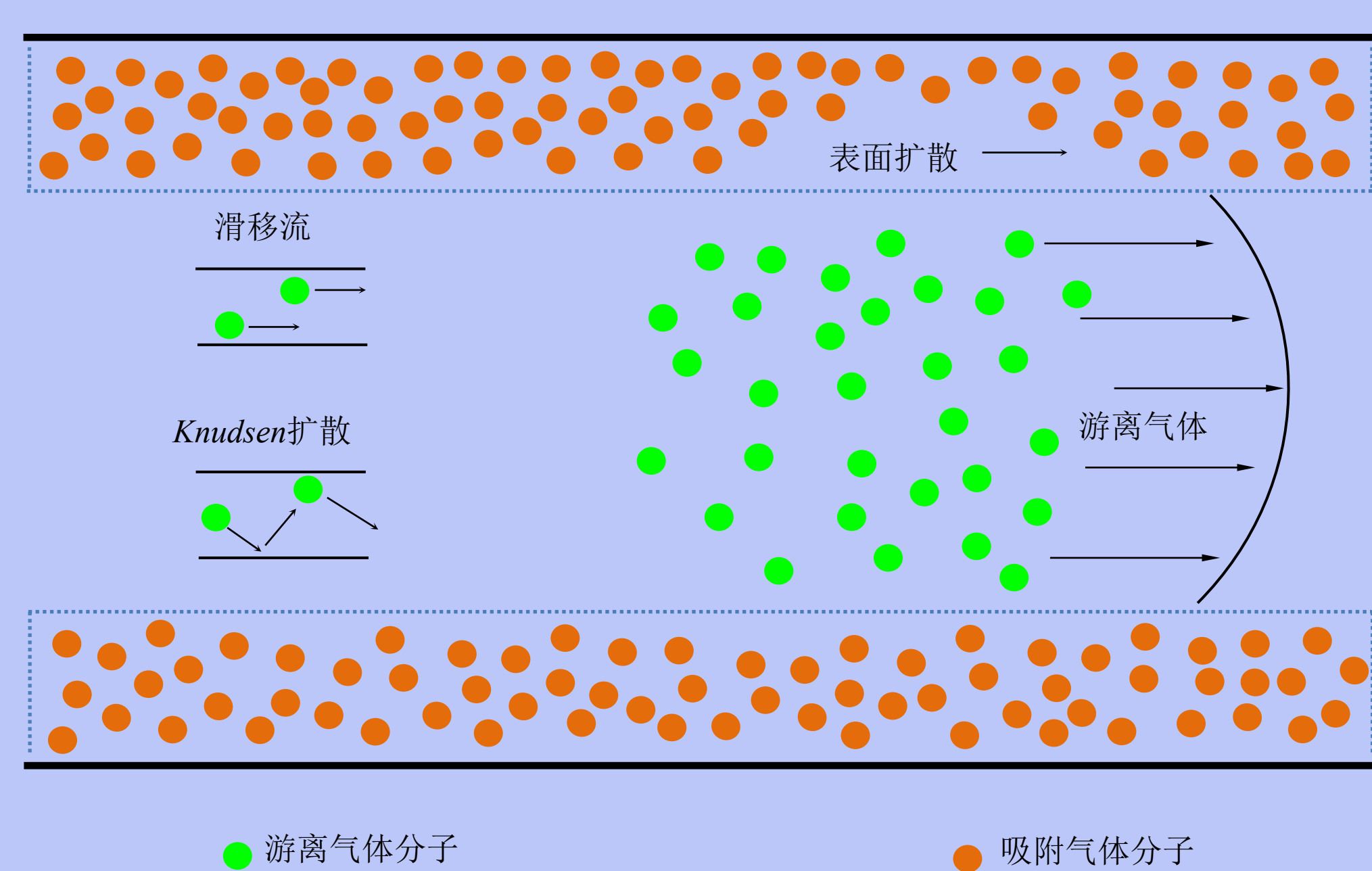
树状分叉网络是一种非常普遍的结构, 其特有的输运特性吸引了广泛的关注。作为在一定约束条件下的最优结构的结果, 树状网络的分层拓扑结构已被证明具有无尺度特性, 这是许多复杂网络的共同特征。树状网络作为一种高效的运输系统也给人工制品的设计带来了新的灵感。

针对嵌有受损树状分叉网络的干燥多孔介质, 提出了一种新的气体扩散模型, 分析了过渡流状态下的气体扩散机理, 考虑了受损通道对气体扩散率的影响。进而系统研究了受损通道数、迂曲度、长度指数、直径指数等参数对无量纲气体扩散系数和气体浓度的影响。结果表明, 随着受损通道数的增加, 气体扩散能力下降, 而气体浓度降呈上升趋势。模型的预测值与实验数据相吻合, 验证了该模型的可靠性。研究结果很好地解释了受损树状网络中气体扩散的物理机制。

示意图

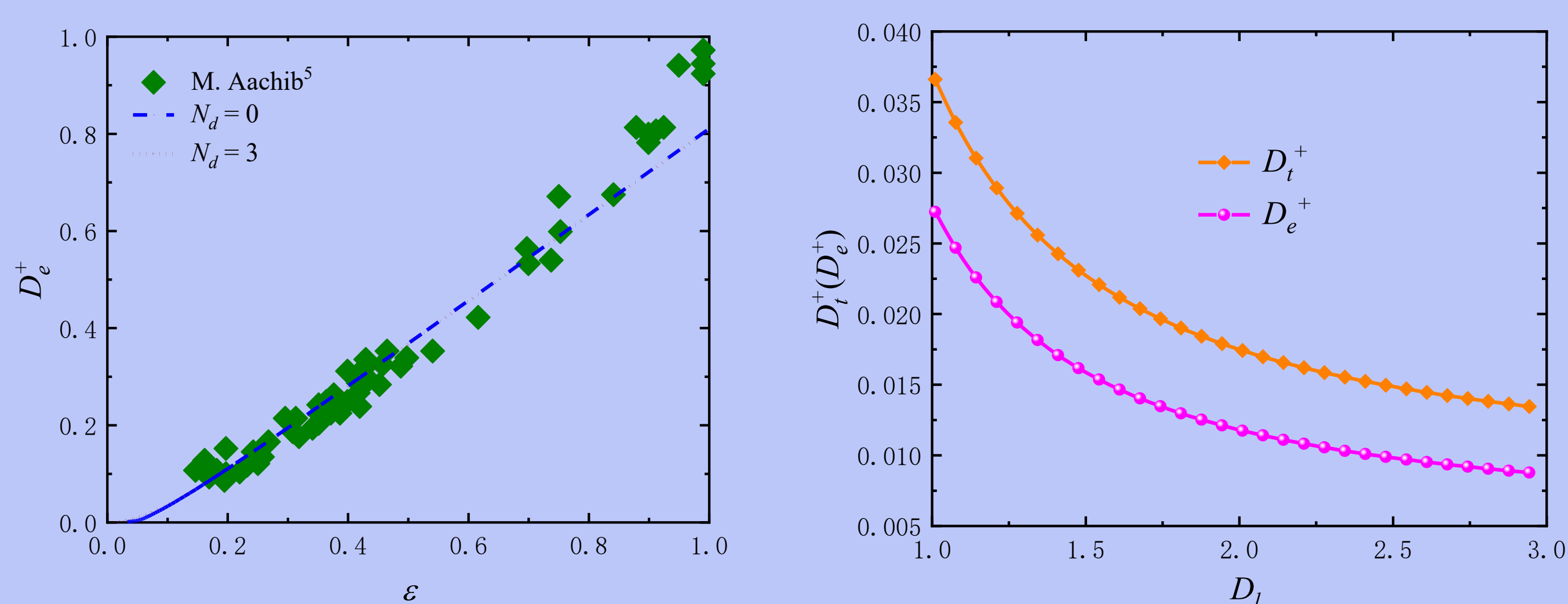


管道模型



实验数据对比

D_l^+ :含迂曲度 D_l^- :不含迂曲度



气体扩散类型

$kn = \lambda/d$ (kn : Knudsen 数)

λ : 气体平均自由程

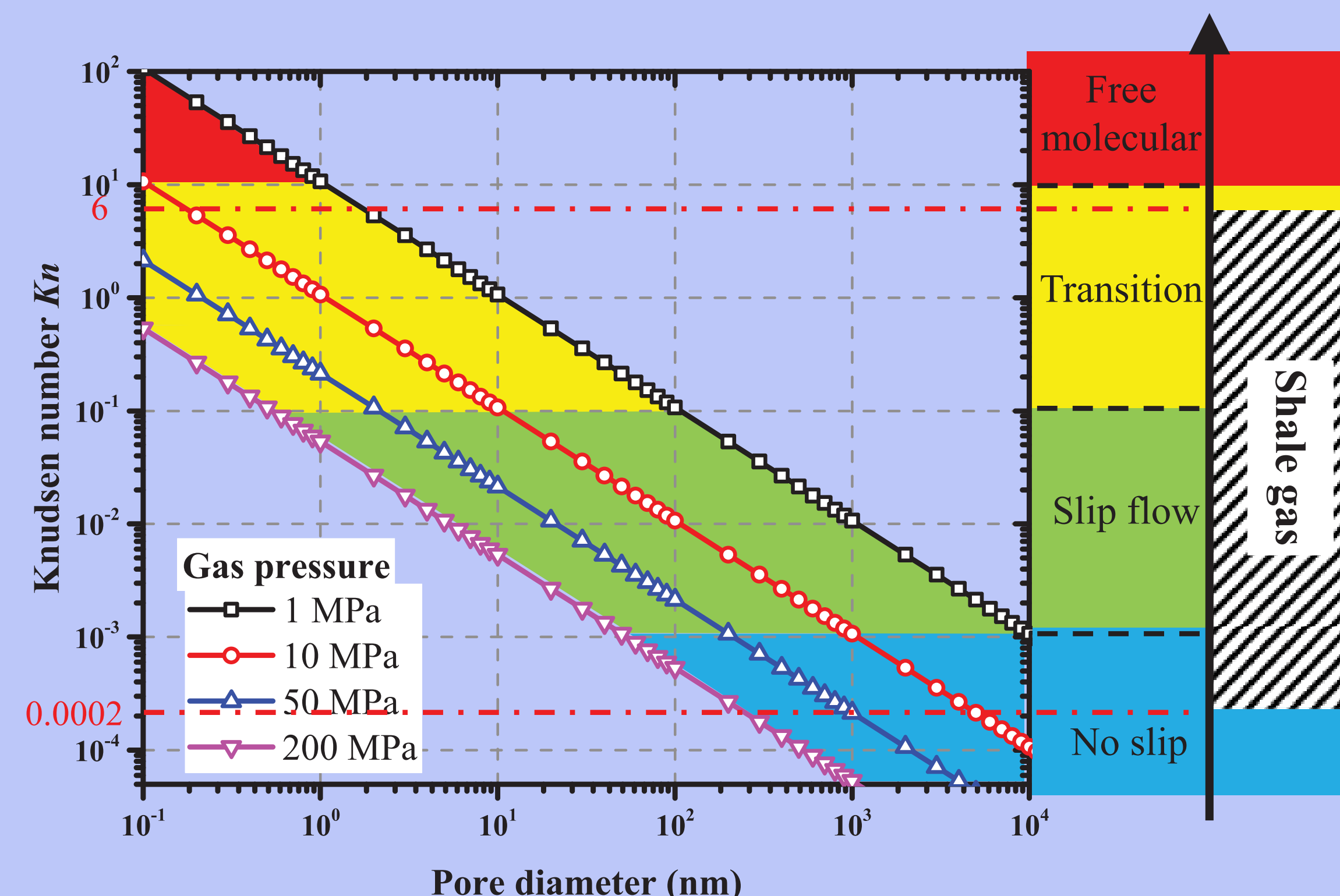
d : 管道直径

$kn > 10$: 自由分子流区

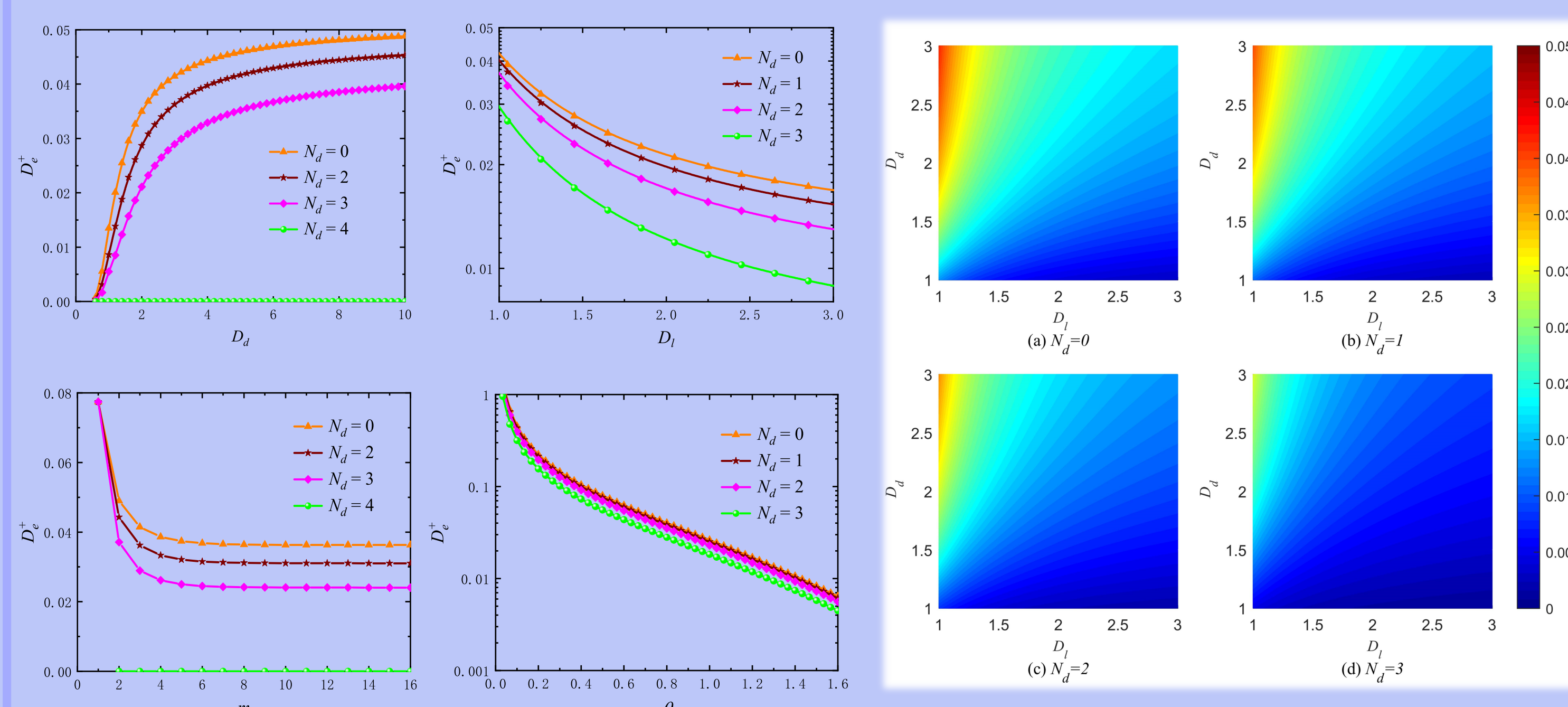
$10 > kn > 0.1$: 过渡区

$0.1 > kn > 0.001$: 滑移区

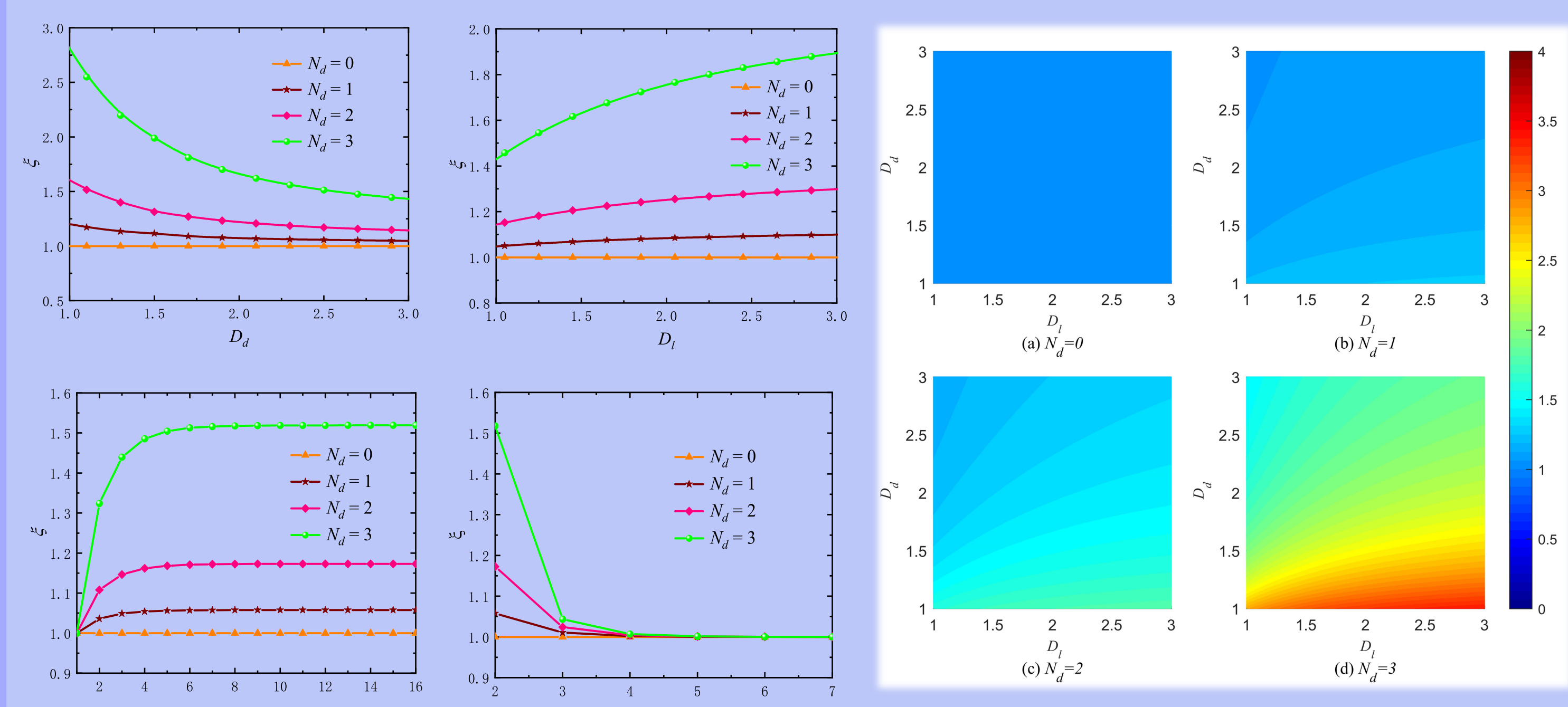
$0.001 > kn$: 连续介质区



D_e^+ :含迂曲度的无量纲气体扩散系数



ξ :受损网络中浓度降与完整网络中浓度降的比值



结论

- ❖ 破损通道数的增加会使无量纲气体扩散率减小, 同时会使无量纲浓度降增加。
- ❖ 增加直径分形维数有助于提高无量纲气体扩散率, 同时可以减小无量纲气体浓度降。
- ❖ 长度分形维数对复合材料中气体扩散能力的影响效果与直径分形维数相反。
- ❖ 随着分支层数的增加, 复合材料中的无量纲气体扩散率和无量纲浓度降都趋于稳定。
- ❖ 树状网络中迂曲度的影响不容忽视。

基金资助项目: 国家自然科学基金(No. 51576114)

email: xiaoboqi2006@126.com