

刘公平-未来三年研究计划

研究背景

由高性能无机膜材料与易加工的有机膜材料复合而成的混合基质膜是极具潜力的新一代高性能分离膜，已被证明可以突破有机膜的分离性能上限，然而目前为止仅有极少数混合基质膜真正实现了应用，主要瓶颈是制备超薄无缺陷混合基膜仍面临巨大挑战。尤其是在气体分离膜方面，目前报道的绝大多数混合基质膜为均质膜，几十微米甚至上百微米的膜厚使得膜的渗透性（通量）极低，无法满足实际分离需求。随着膜层厚度的降低，特别是为了满足实际应用需求降低至亚微米级别，基于混合基质膜的传统微结构设计及制备方法，难以避免地在混合基质膜层中引入缺陷，导致分离选择性远低于均质膜。因此，设计制备超薄皮层的高性能混合基质膜具有重要的科学意义和实用价值。

本项目在前期研究高性能混合基质膜材料的基础上，针对混合基质膜超薄化的关键问题，开展超薄混合基质复合膜的设计制备与应用研究，设计制备兼具高渗透性和高选择性的超薄混合基质膜，可望实现高效的气体分离过程，为混合基质膜的工业应用奠定基础，也为发展高性能超薄分离膜提供理论参考。

研究内容

1、超薄混合基质材料的传质通道设计：在聚合物基质中引入超薄二维纳米片或原位生长超细纳米粒子，构筑高度分散且具有快速选择性传质效应的分子通道，实现致密无缺陷混合基质膜层理论厚度的有效降低。

2、超薄混合基质膜的形成及厚度调控：在多孔支撑体表面修饰纳米缓冲层，调控混合基质涂膜液的界面润湿和铺展行为，同时构筑外部力场诱导，精确控制混合基质皮层的形成和厚度，实现超薄高性能混合基质复合膜的制备。

3、超薄混合基质膜的放大制备与应用：引入具有高生产效率和装填密度的非对称中空纤维结构，采用干-湿法纺丝技术，放大制备超薄混合基质膜，实现混合基质膜在天然气纯化、烯烃/烷烃分离等气体分离过程的应用示范。

研究特色与创新性

(1) 在聚合物基质中原位生长 MOF 或金属配合物超细纳米粒子，在构筑亚纳米传质通道的同时，在混合基质膜中引入对二氧化碳或烯烃分子的促进传递通道，设计适于制备超薄皮层的混合基质膜材料，是本项目材料设计的创新。

(2) 通过预沉积纳米线牺牲层调控混合基质涂膜液在多孔支撑体上的界面润湿和铺展，并引入外部力场精确调控混合基质材料的沉积量，实现超薄、无缺陷的高性能混合基质膜的制备，是本项目制备方法的创新。

(3) 将超薄混合基质复合膜用于高压条件下的天然气纯化和烯烃/烷烃分离，并研究操作条件对膜性能和稳定性的作用规律，揭示超薄混合基质膜的气体分离机理，是本项目应用过程的创新。