

# 膜蒸馏

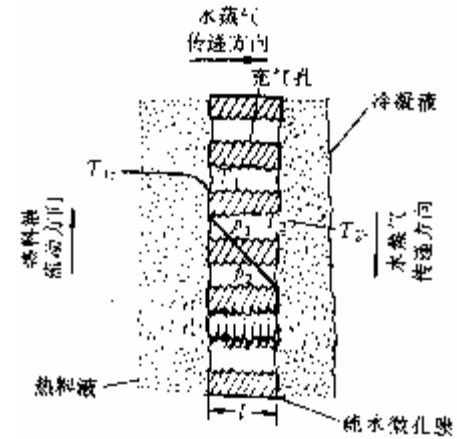
膜蒸馏于 60年代中期由M E Findley提出，80年代发展起来的一种新型膜分离技术。以其能常压低温操作、可利用废热、适于小规模淡化和浓缩等一系列优点，被用于海水淡化、超纯水的制备、非挥发性物质水溶液的浓缩和结晶、挥发性物质水溶液的浓缩和分离等方面，可望成为一种廉价、高效的分离手段。

# 膜蒸馏原理

膜蒸馏是膜技术与蒸发过程相结合的膜分离过程，其所用的膜为不被待处理的溶液润湿的疏水微孔膜。膜的一侧与热的待处理的溶液直接接触（称为热侧）（膜憎水的本性使得水溶液不能渗透过孔，而在每个孔入口处形成气液接触），另一侧直接或间接地与冷的水溶液接触（称为冷侧），热侧溶液中易挥发的组分在膜面处汽化通过膜进入冷侧并被冷凝成液相，其他组分则被疏水膜阻挡在热侧，从而实现混合物分离或提纯的目的。与渗透汽化过程一样，膜蒸馏是热量和质量同时传递的过程，是有相变的膜过程，传质的推动力为膜两侧透过组分的蒸汽压差。因此，实现膜蒸馏需要有两个条件：(1)膜蒸馏必需是疏水微孔膜（对分离水溶液而言）；(2)膜两侧要有一定的温度差存在，以提供传质所需的推动力。

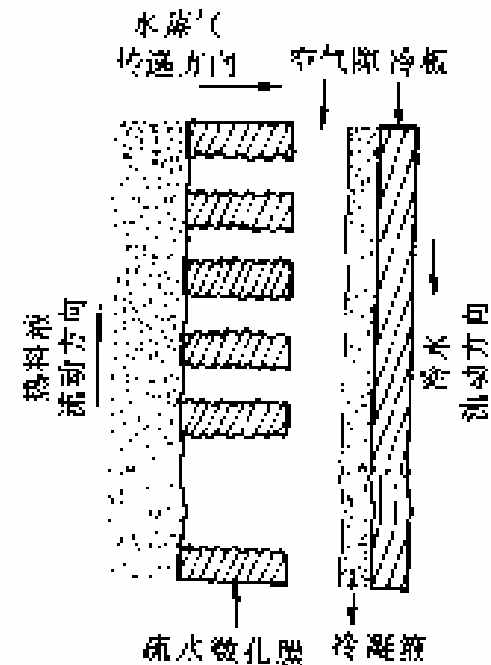
# 直接接触膜蒸馏 (DCMD)

膜的一侧为热溶液，另一侧为冷溶液（图8-10 a），传质的主要步骤为  
（a）水从料液主体扩散到料液侧膜表面；  
（b）水在料液侧表面气化，  
（c）气化的水蒸汽扩散通过疏水性膜孔；  
（d）疏水性膜在透过侧冷凝。



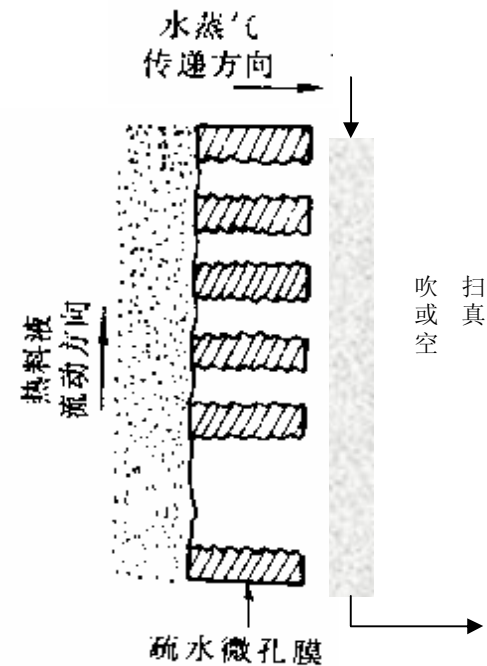
# 空气隙膜蒸馏 (AGMD)

透过侧不直接与冷溶液相接触，而保持一定的间隙，透过蒸汽在冷却的固体表面（即冷凝壁，如金属板）上进行冷凝，降低透过侧的压力，其传质推动力大小与直接接触膜蒸馏相当，均为水的饱和蒸汽压，传质步骤的前三步也与直接接触膜蒸馏相同，从第四步开始，透过侧的水蒸汽透过空气滞留层扩散到冷凝壁表面，并在冷凝壁表面上进行冷凝。



# 吹扫气膜蒸馏 (SGMD)

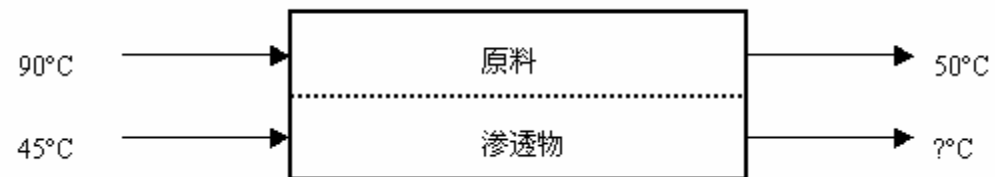
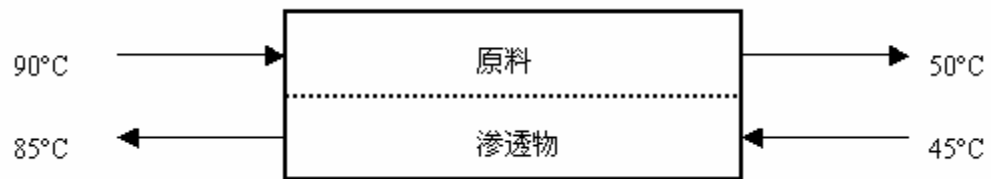
与吹扫渗透汽化一样，用载气吹扫膜的透过侧，以带走透过的水蒸汽，传质过程也在第四步发生变化，传质推动力除了蒸汽的饱和蒸汽压外，还有由于载气的吹扫而形成的负压，因此传质推动力比直接接触式膜蒸馏和空气间隙式膜蒸馏大。



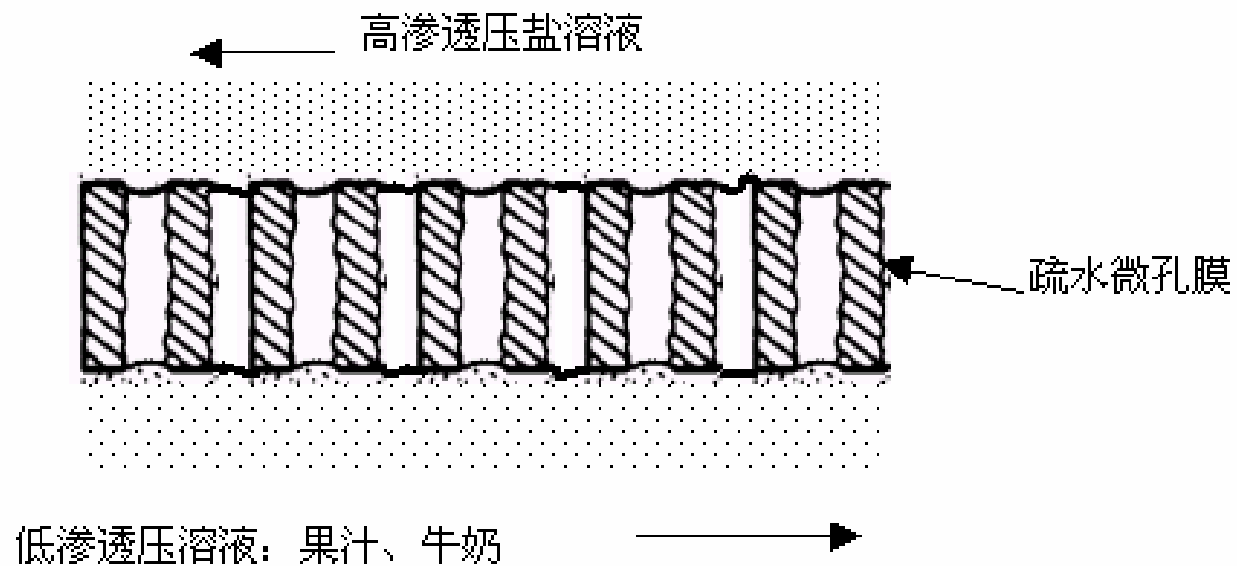
# 真空膜蒸馏（VMD）

透过侧用真空泵抽真空，以造成膜两侧更大的蒸汽压差，类似真空渗透汽化。传质的前三步与直接接触膜蒸馏类似，第四步透过蒸汽可能全部被抽走。在真空膜蒸馏过程中，因为透过膜的气态物质分子的平均分子自由程  $\lambda$  一般为  $1 \mu\text{m}$ ，远大于膜的平均孔径，而且膜的下游侧处于真空状态，只有痕量气体在膜中，所以膜内的传质过程表现为努森扩散。

# 操作膜式



# 渗透蒸馏 (osmotic distillation)





# “膜蒸馏”这一名称用于含有以下特征的膜过程

- 膜应为多孔的；
- 膜应不被所处理的液体所浸润；
- 膜的孔隙中不应有毛细冷凝 (capillary condensation)；
- 膜不能改变处理液各组份的汽—液平衡；
- 膜至少有一侧与所处理液体直接接触；
- 对每一种组份而言，此种膜过程的推动力为该组份在汽相中的分压差。

# 膜蒸馏的应用

膜蒸馏的应用领域主要取决于膜的润湿性，因此膜蒸馏主要用来处理含无机质的水溶液，这类溶液和水的表面张力相差很小，同其多数膜过程一样，产品可以是渗透物也可是截留物。目前主要应用于 (1) 海水淡化， (2) 超纯水的制备， (3) 无机水溶液的浓缩与提纯， (4) 挥发性生物产品的浓缩、回收和去除， (5) 共沸混合物的分离等。

# 海水淡化

80年代后期，N. Kjellander等首先在Hono岛上建立了两套中试设备，试验表明膜蒸馏装置操作稳定，并可得到很纯的产品。90年代初，日产淡水25t和10t的膜蒸馏装置在日本投入运行。

# 不同海水淡化途径能耗比较 (日本通产省报告统计)

淡化方法	能耗, kwh/m <sup>3</sup>	费用, 日元/m <sup>3</sup>	规模, m <sup>3</sup> /天
反渗透	7	200	20000
		300	800
膜蒸馏	12	250-300	几百
电渗析	18	600	20000
多级闪蒸	25	—	—

# 挥发性生物产品的浓缩、回收和去除

在食品工业中的应用，因膜蒸馏在常温低压下浓缩物料，可以保持食物的芳香气味，不破坏食物的营养成分，不产生有害的高温降解物。膜蒸馏还可以应用于无菌条件下的液体物料浓缩、液体物料的耦合分离（在线浓缩）、低温下从液体物料中剔除易挥发组分、常压低温高度浓缩等。膜蒸馏可用于处理热敏性物质的水溶液，应用减压膜蒸馏方法对透明质酸热敏性水溶液进行浓缩分离，实验结果可使原料液的浓度提高1.8倍以上，透明质酸的截留率为85%；另外如对古龙水溶液、人参露、果汁等的浓缩也具有独特功效，显示了膜蒸馏在常温下分离浓缩热敏性物质的优越性。此外，膜蒸馏也可用于从水溶液中脱除挥发性有机物，如氯代烃或芳香族化合物，这些挥发性有机物常以低浓度存在于地表水或工业废水中。