

化学工程联合国家重点实验室（天津大学）

海洋化工与我们的未来生活
—海水淡化、资源利用与海洋保护

赵 颂

天津大学 化工学院

2021. 05. 29



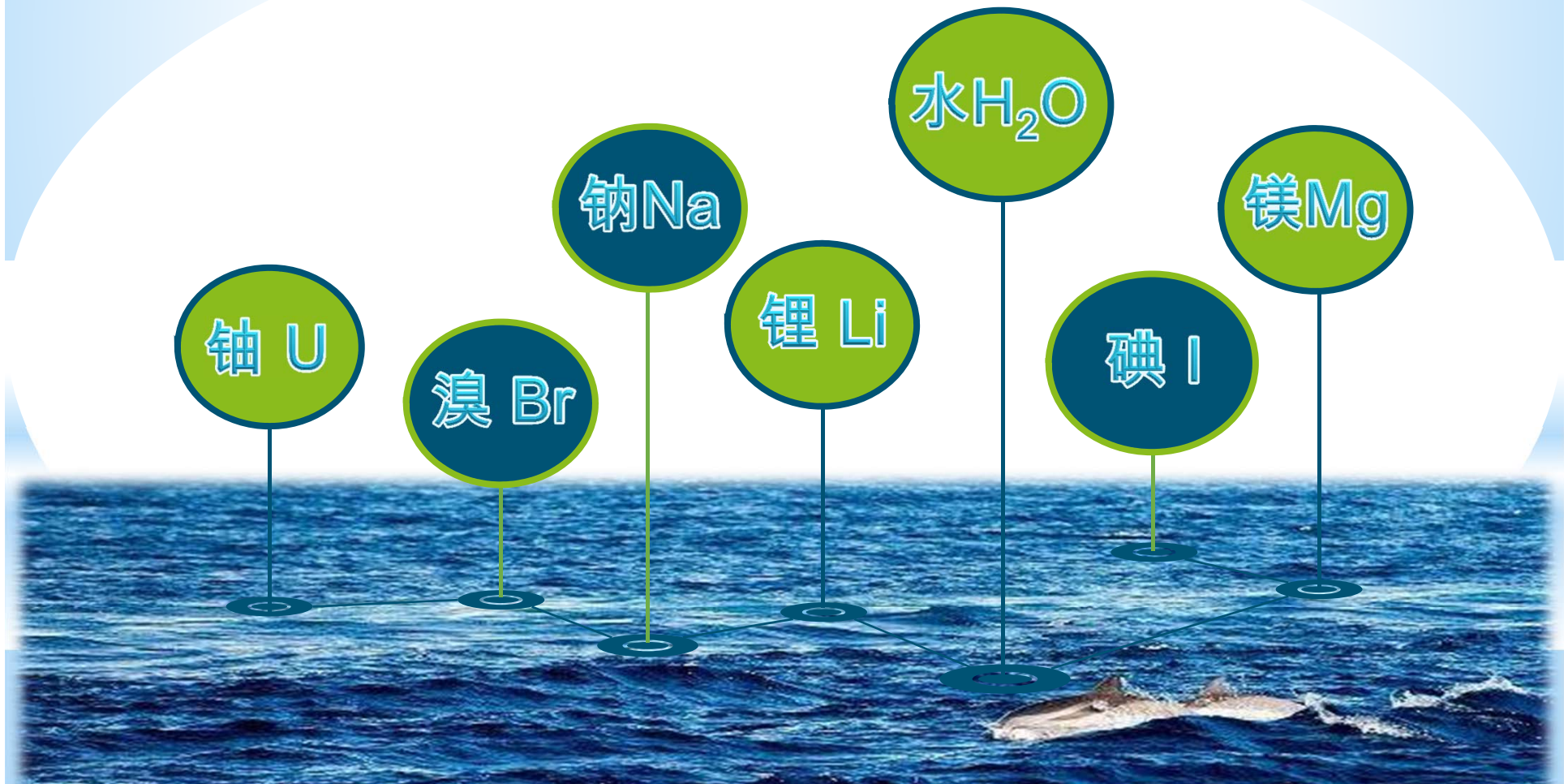
海水中主要元素的含量

(表中浓度的单位为mg/L)

元素	浓度	元素	浓度	元素	浓度
锂 Li	0.17	钴 Co	0.0005	碘 I	0.06
硼 B	4.6	镍 Ni	0.002	铯 Cs	0.0005
钠 Na	10770	溴 Br	67	钡 Ba	0.03
镁 Mg	1290	铷 Rb	0.12	金 Au	0.000004
硫 S	885	锶 Sr	8	汞 Hg	0.00003
氯 Cl	19350	钼 Mo	0.01	铀 U	0.003
钾 K	380	银 Ag	0.00004		
钙 Ca	400	镉 Cd	0.00011		

全世界每年从海洋中提取淡水20多亿吨、食盐5千万吨。

- 海水淡化：世界水资源中咸水占97.5%，淡水占2.5%；
- 海水资源利用：海洋是最大的矿产资源库；



海洋化工

热法和膜法海水淡化

✓ 反渗透膜分离材料

海水淡化

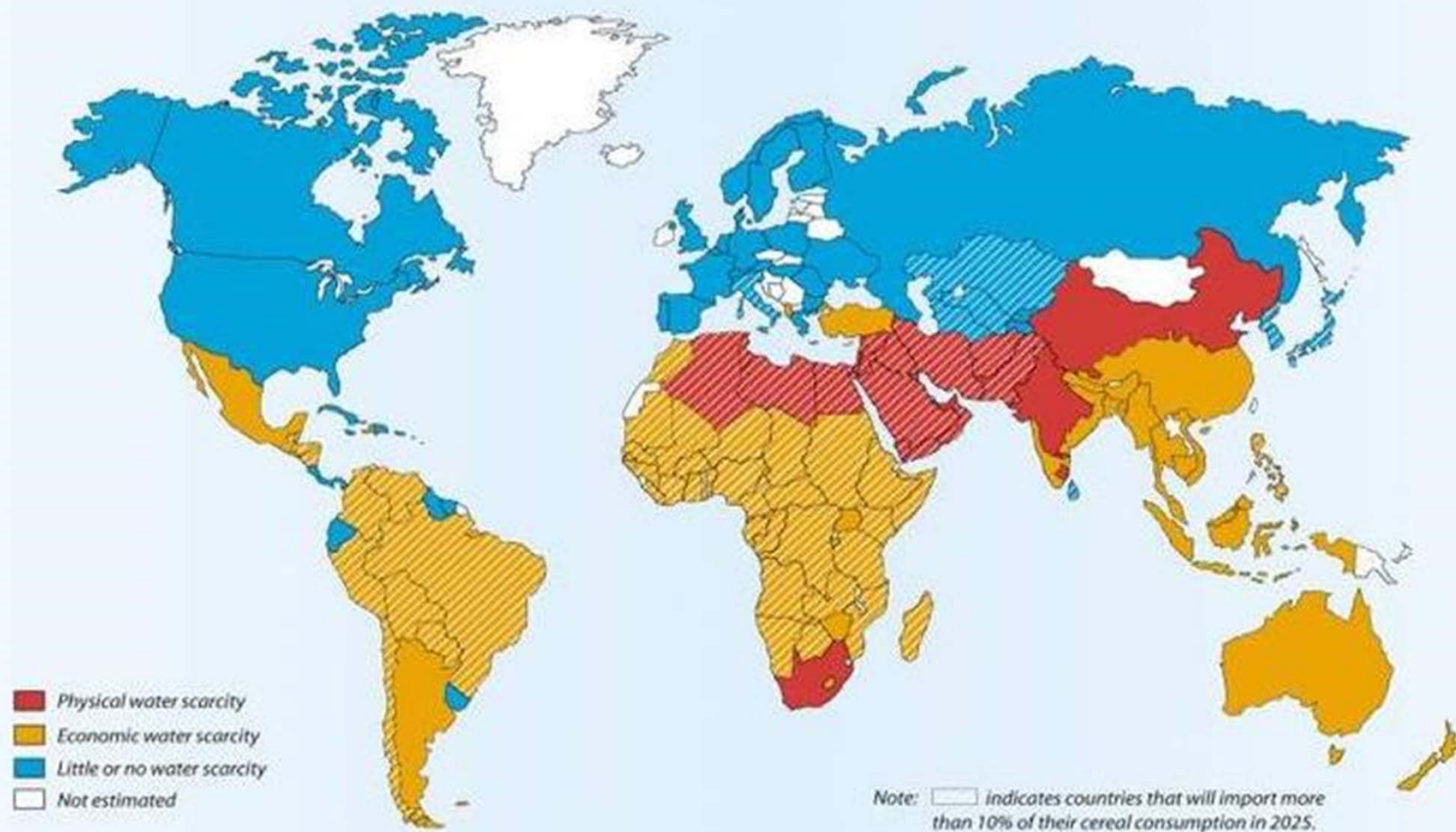
盐湖/海水镁锂分离

✓ 纳滤膜分离材料

海洋资源利用

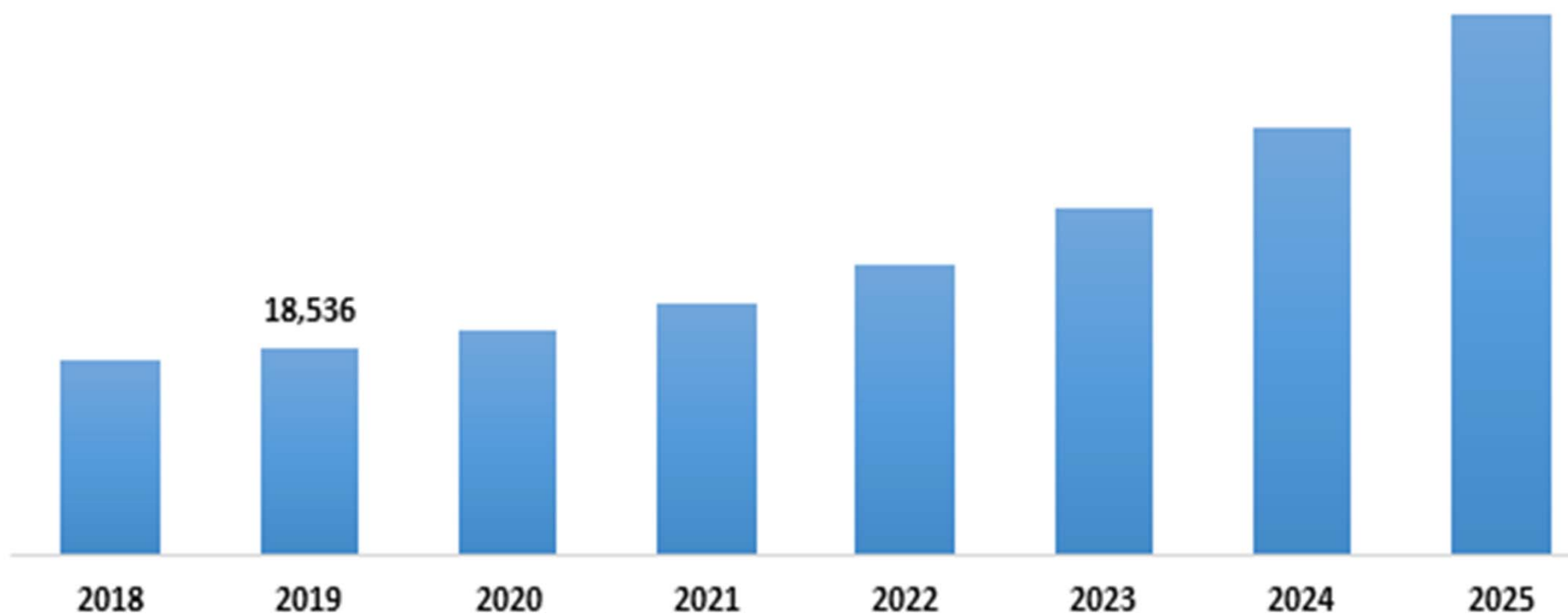
水资源短缺问题日益严重

Projected Water Scarcity in 2025



海水淡化和水回用需求迫切

Global Water Desalination Market 2018-2025 (USD million)



Source: Adroit Market Research ©2019

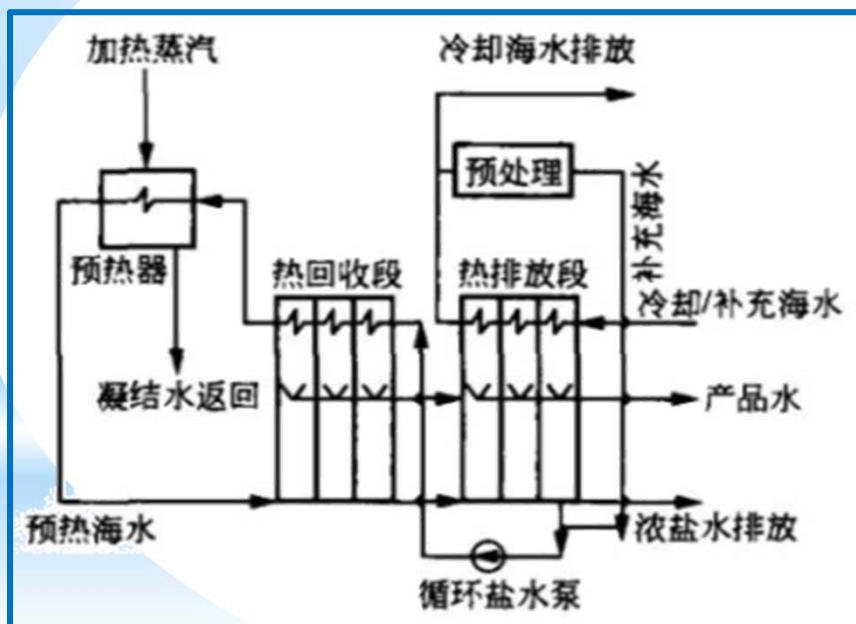
每天，约18000多家海水淡化厂提供9000万立方米的新鲜水，
用于满足全球3亿人的用水需求。

海水淡化技术分类

蒸馏技术（热法）

多级闪蒸

多效蒸馏

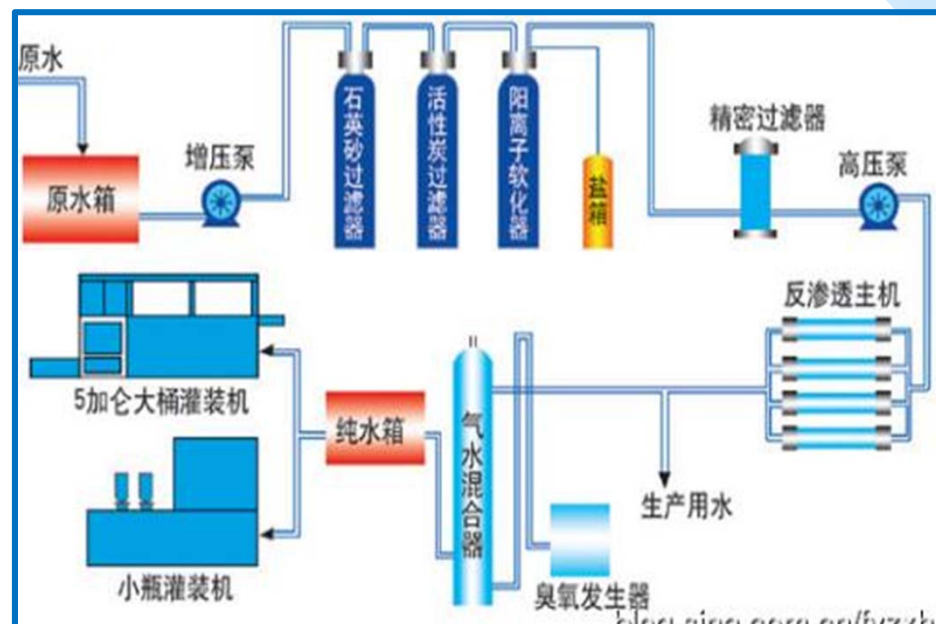


多级闪蒸示意图

膜分离技术（膜法）

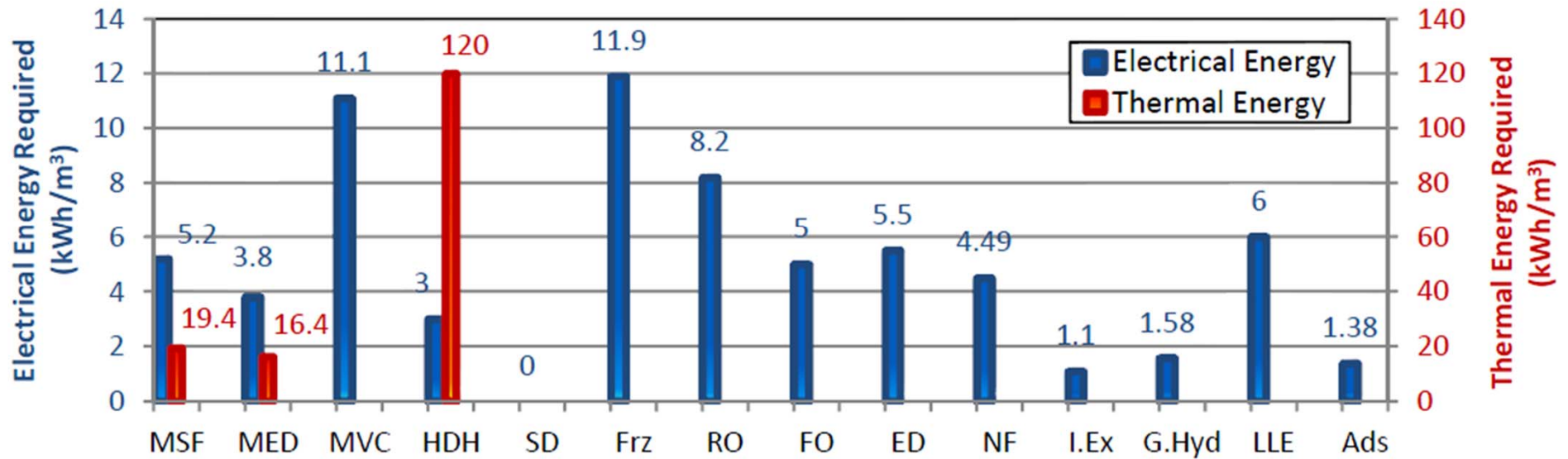
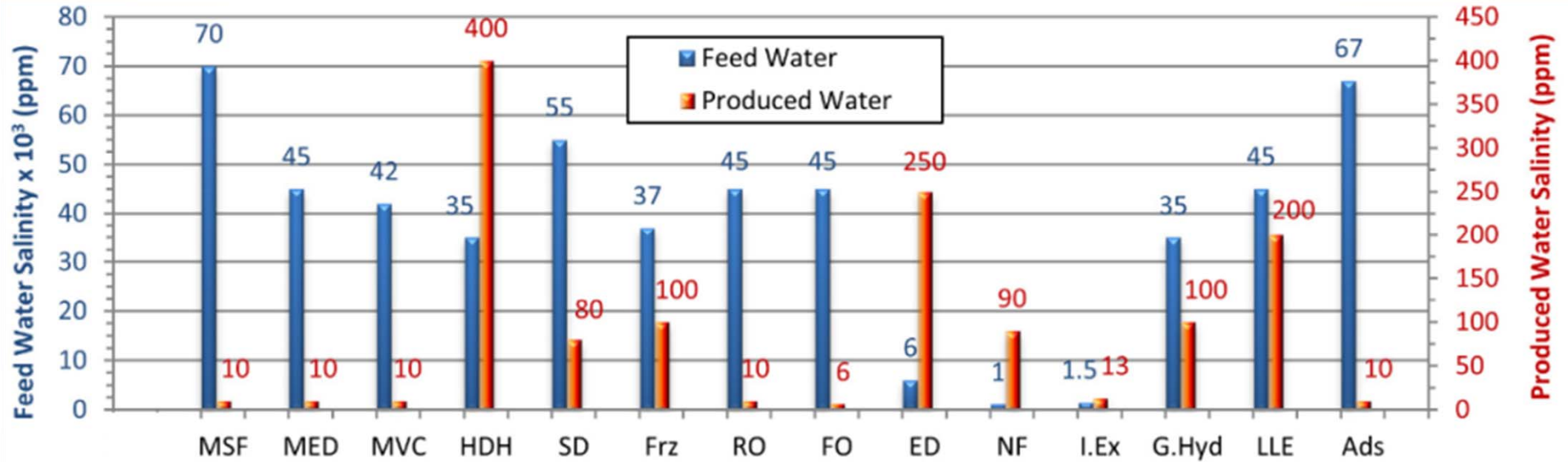
反渗透

电渗析

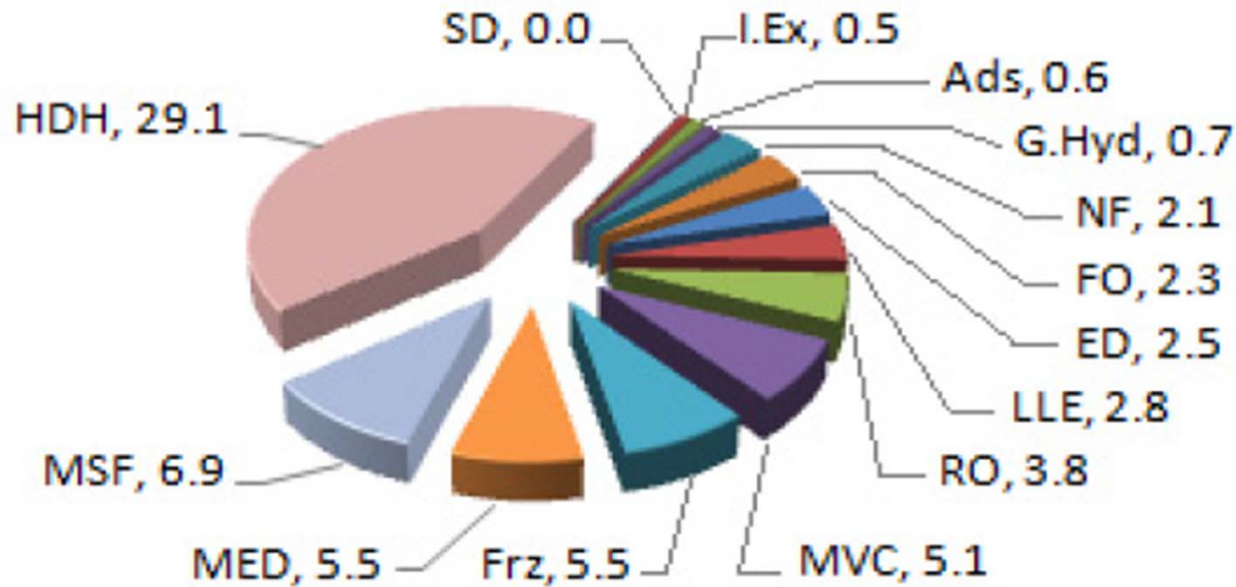


反渗透膜法示意图

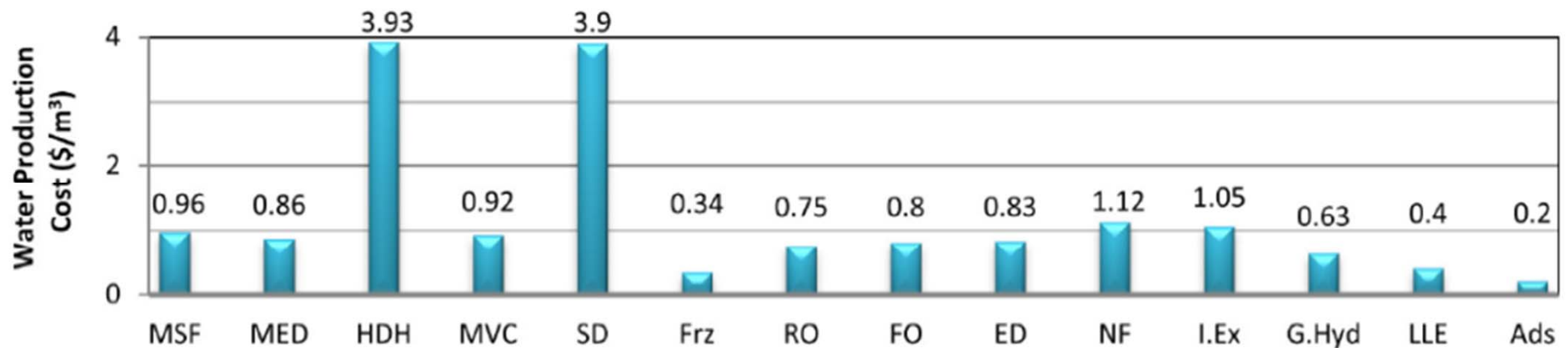
海水淡化技术对比分析



海水淡化技术对比分析

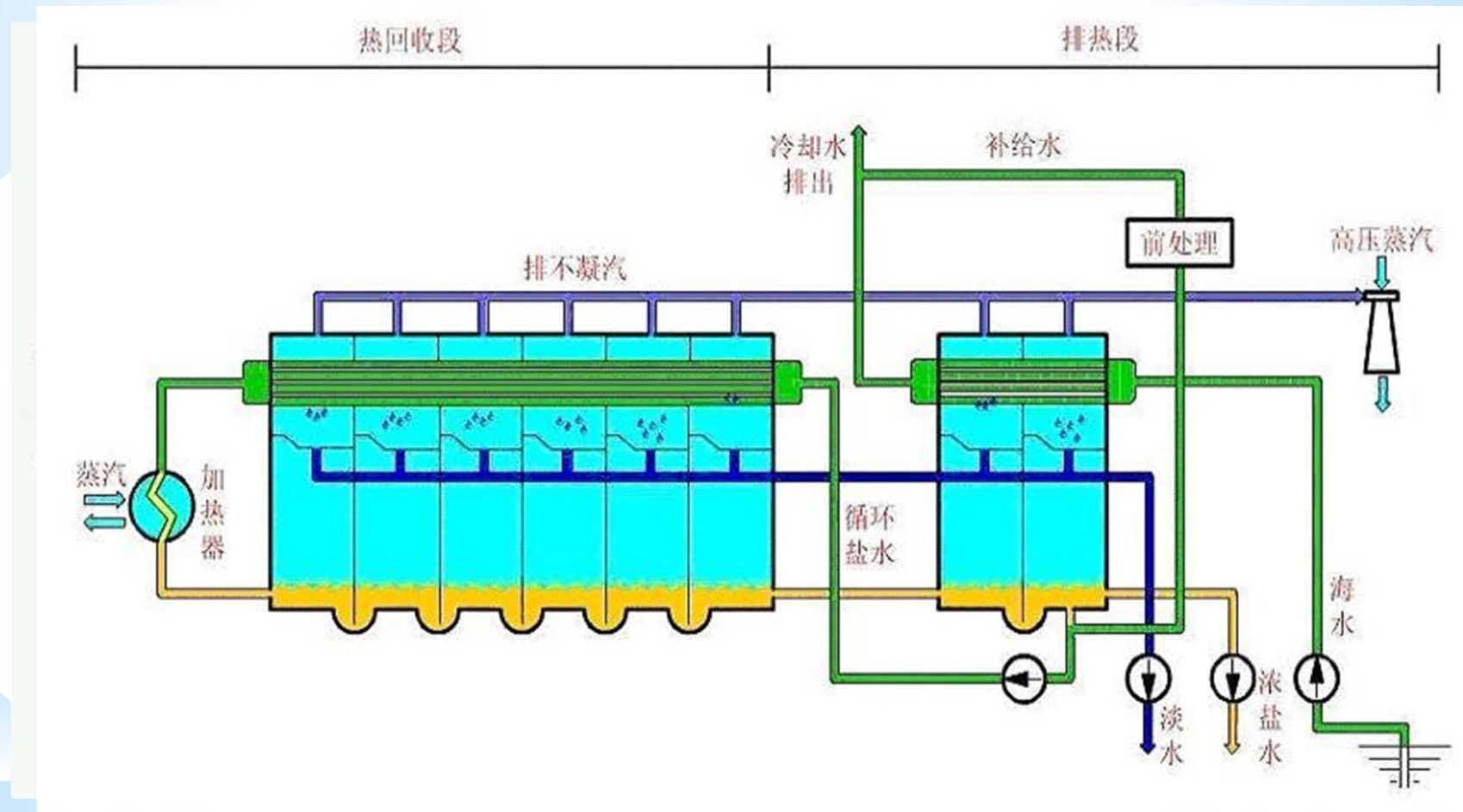


Amount of Released CO₂ for different desalination technologies measured in kg/m³



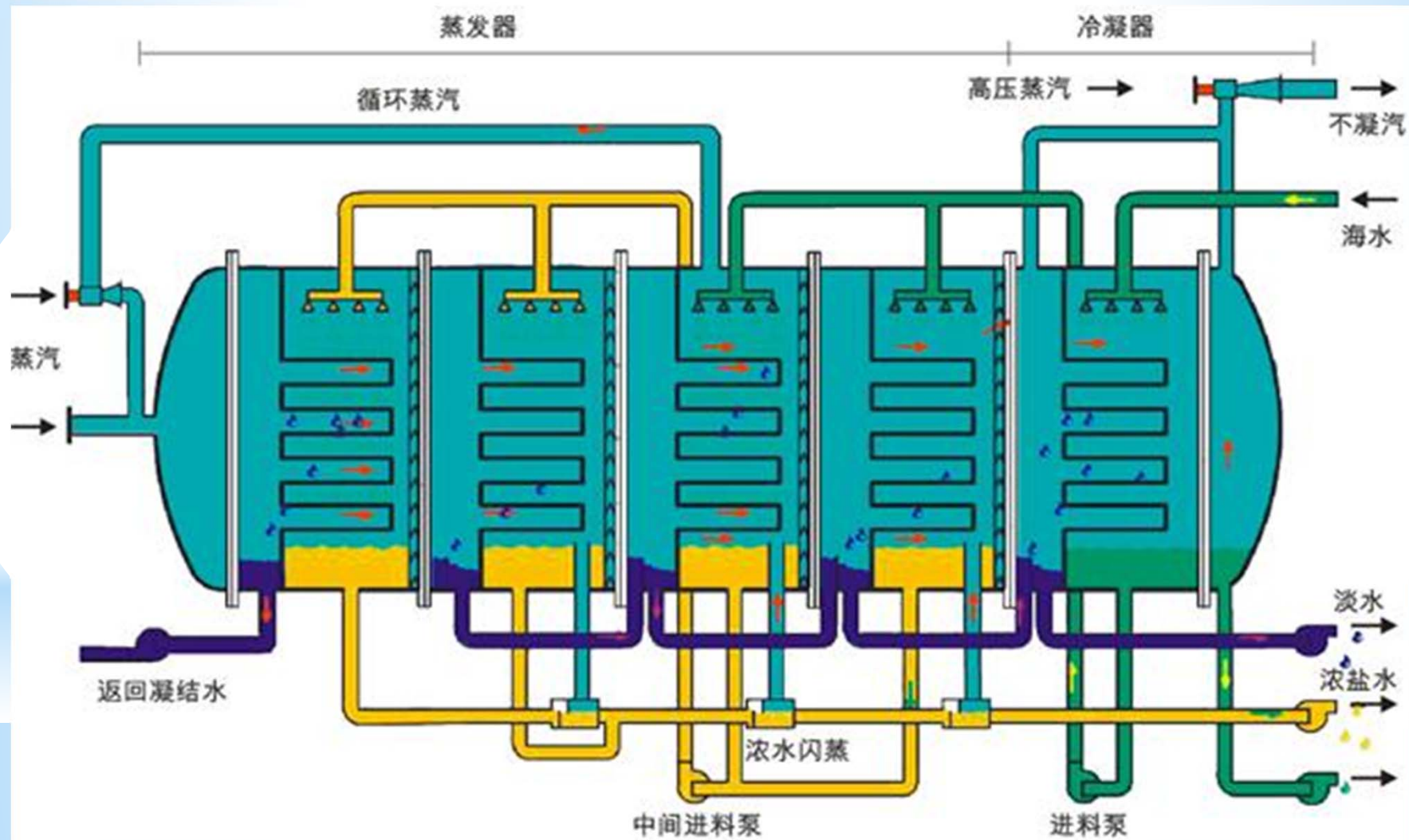
热法海水淡化技术

多级闪蒸技术 (MSF)



热法海水淡化技术

多效蒸馏 (MED)



热法海水淡化技术

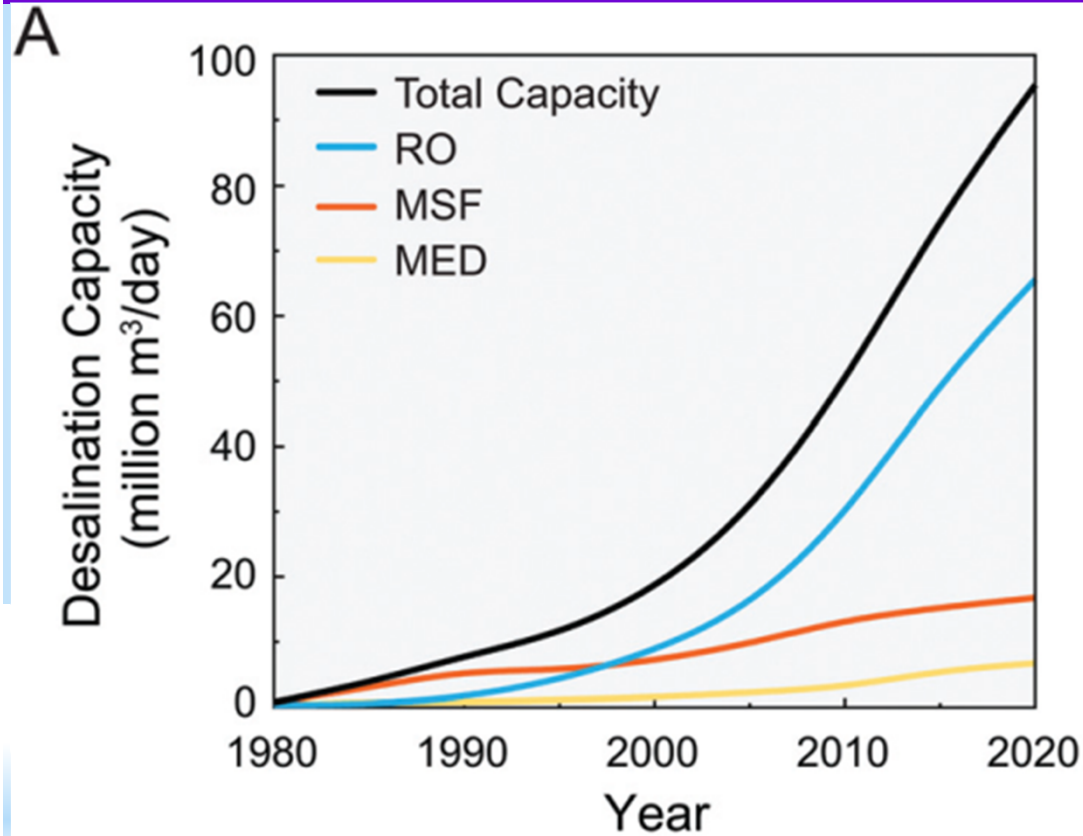
安全可靠，中东许多产油国所建的海水淡化工厂大多采用多级闪蒸法，并且与发电厂结合。

Ras Al-Khair

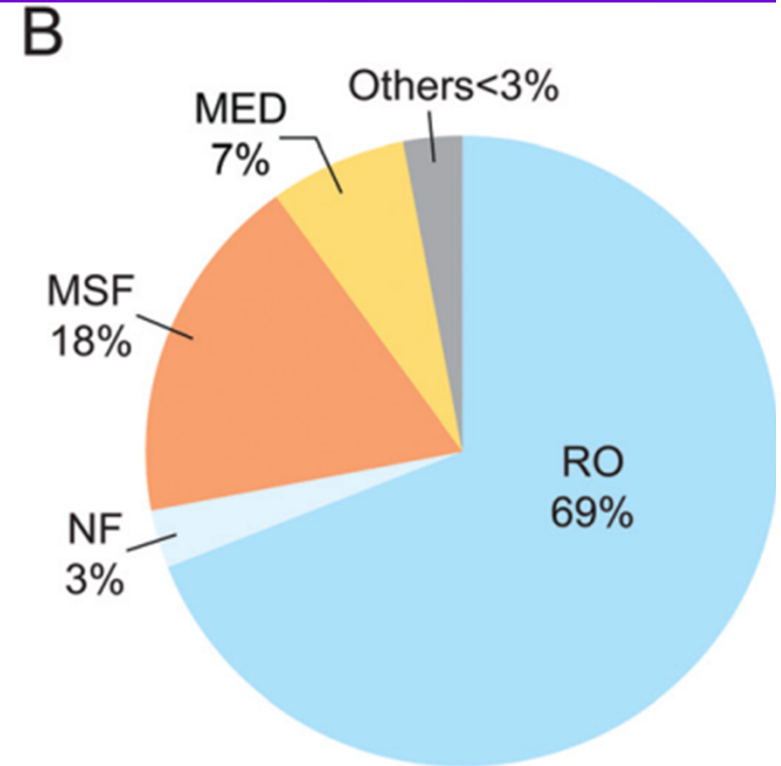
Ras Al-Khair 使用先进的多级闪蒸（MSF）技术，每单元处理能力为90,920 立方米/日。



膜法海水淡化技术

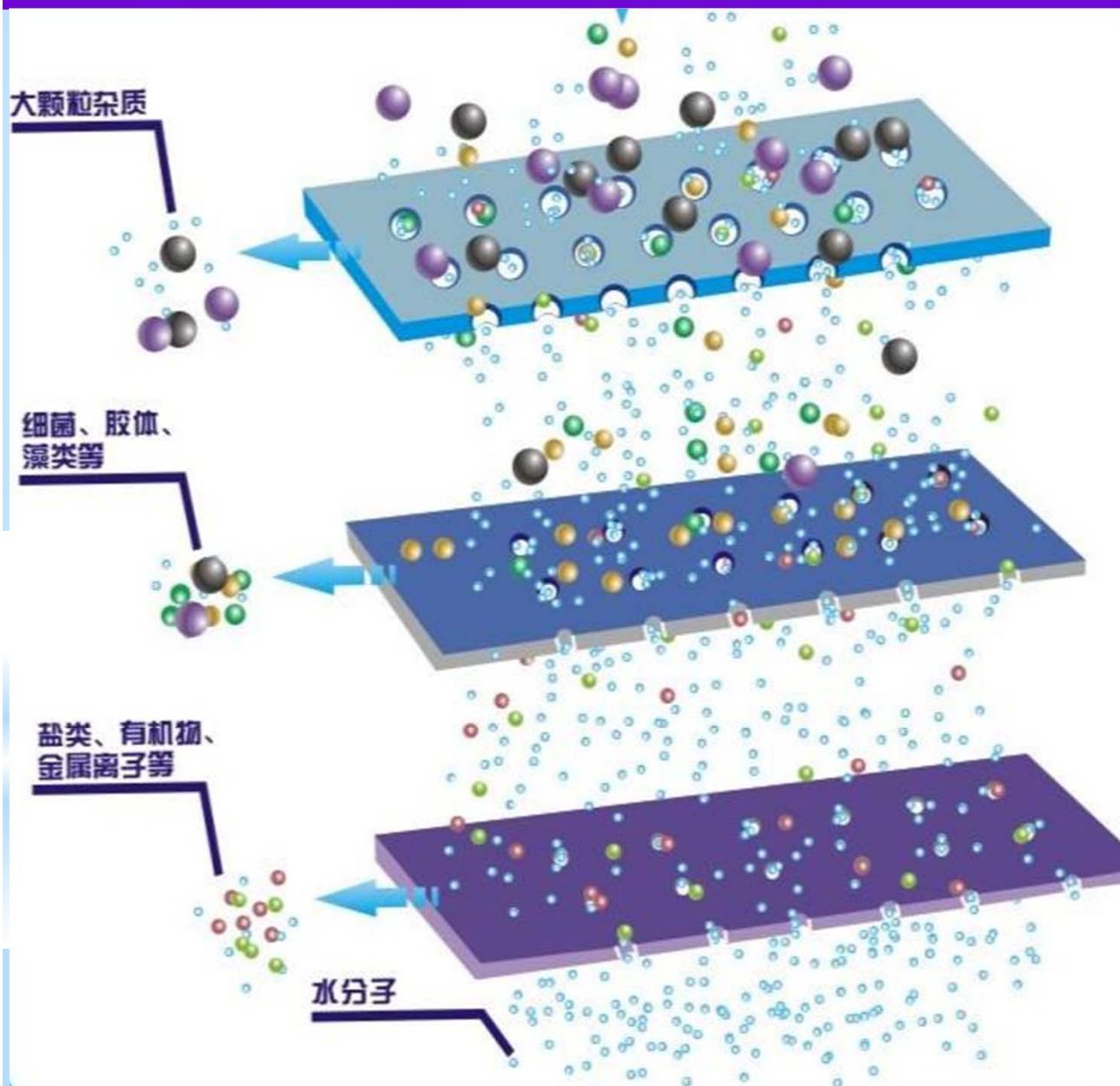


全球淡化工艺发展趋势



海水淡化工艺份额

膜法海水淡化技术



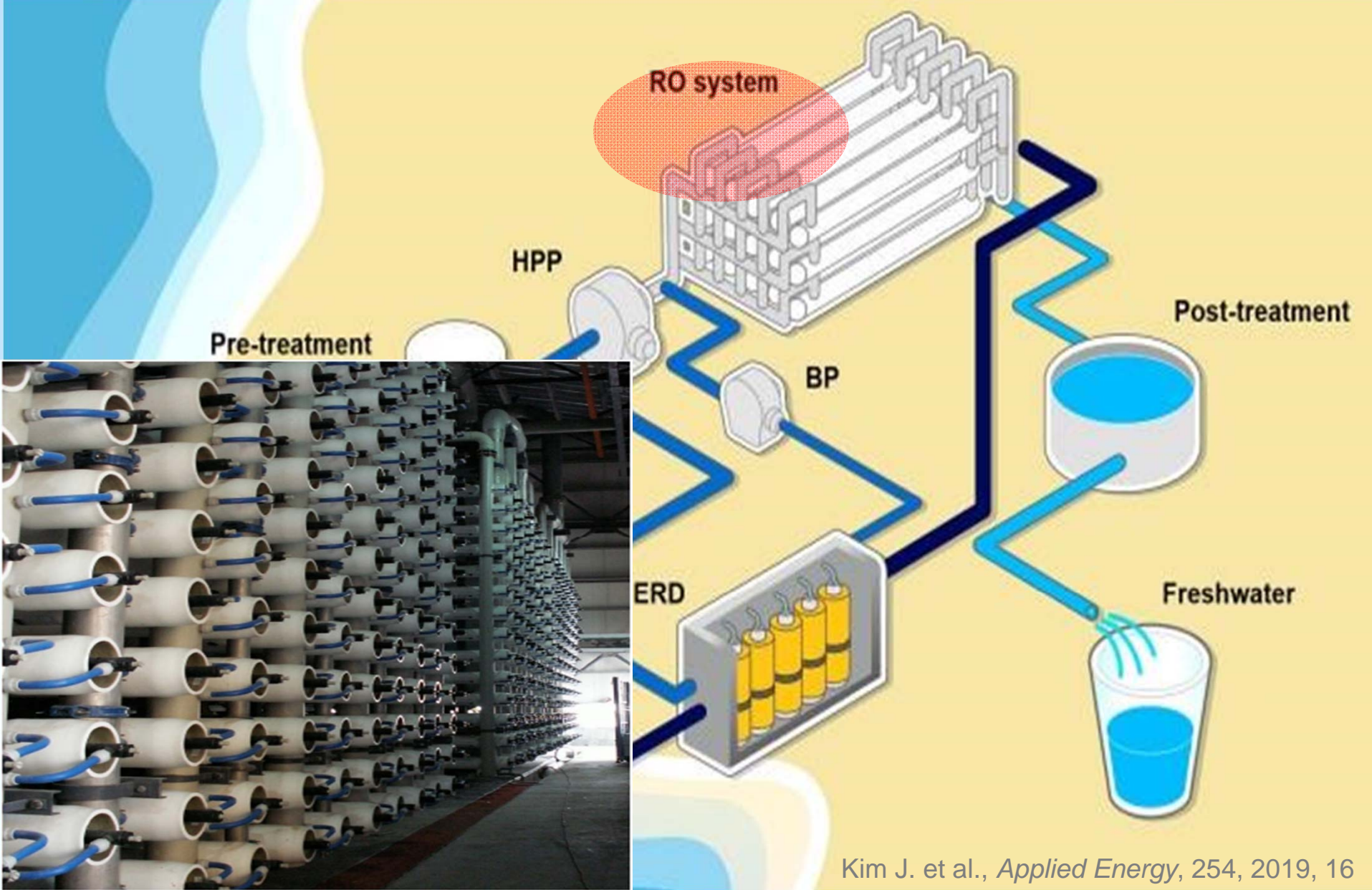
- 微滤 $0.1\sim 10\ \mu\text{m}$

- 超滤 $5\sim 50\ \text{nm}$

- 纳滤 $0.5\sim 2\ \text{nm}$

- 反渗透 $<1\ \text{nm}$

膜法海水淡化技术



膜法海水淡化技术

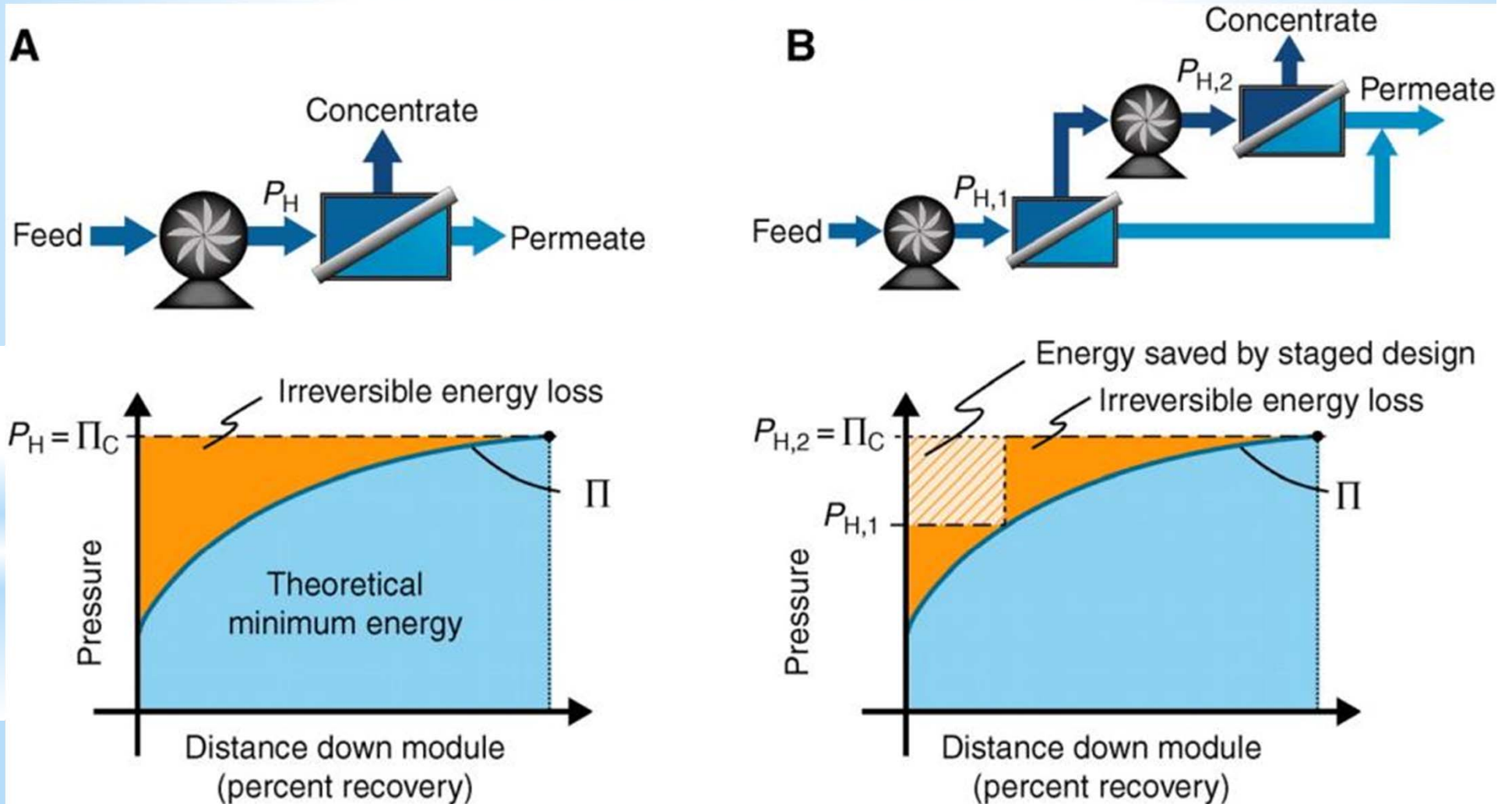


华能玉环电厂海水淡化工程



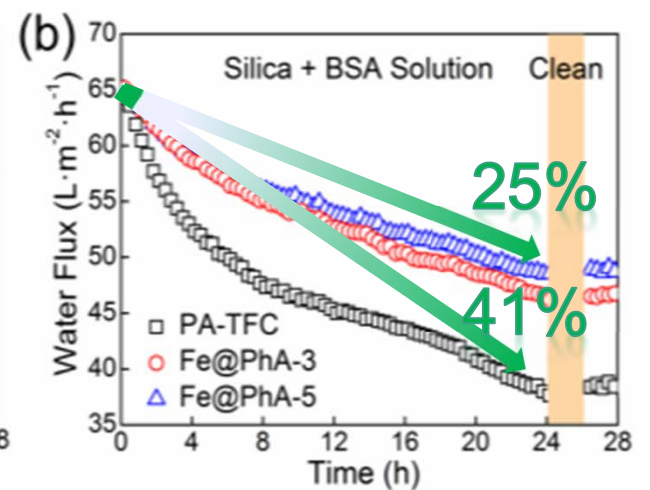
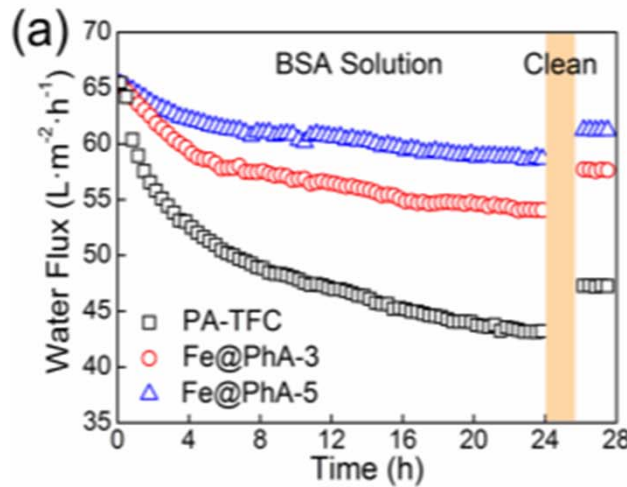
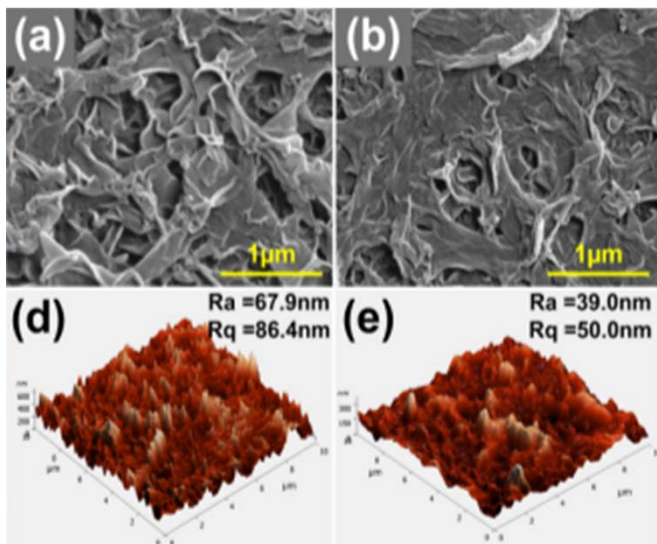
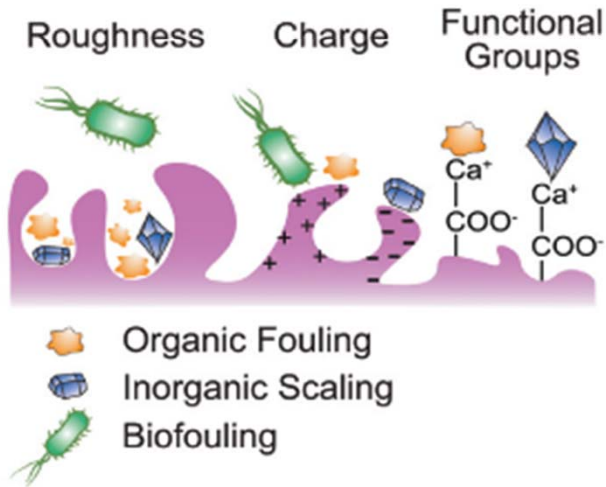
膜法海水淡化技术

浓水近零排放：高反渗透系统回收率（多段设计）

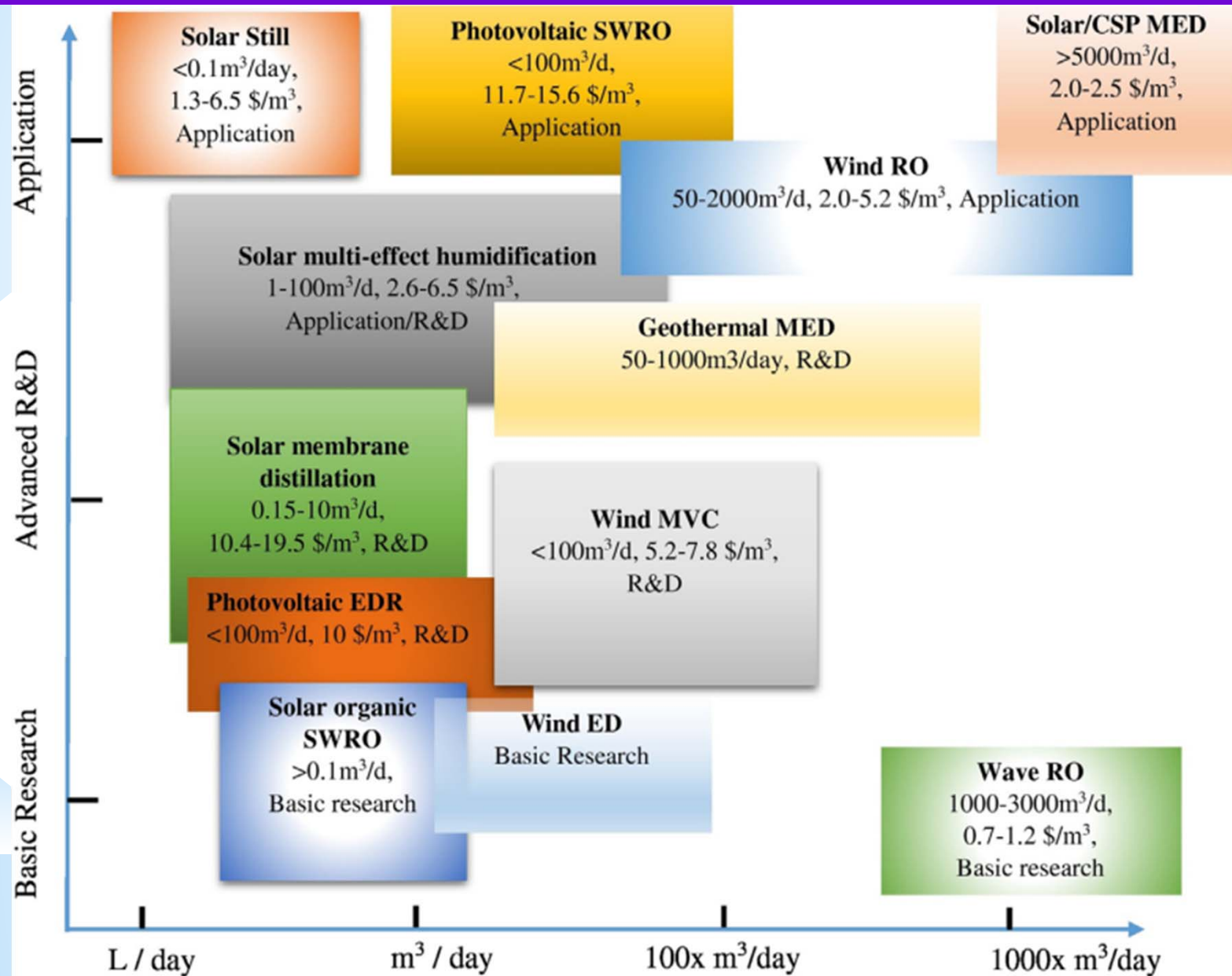


膜法海水淡化技术

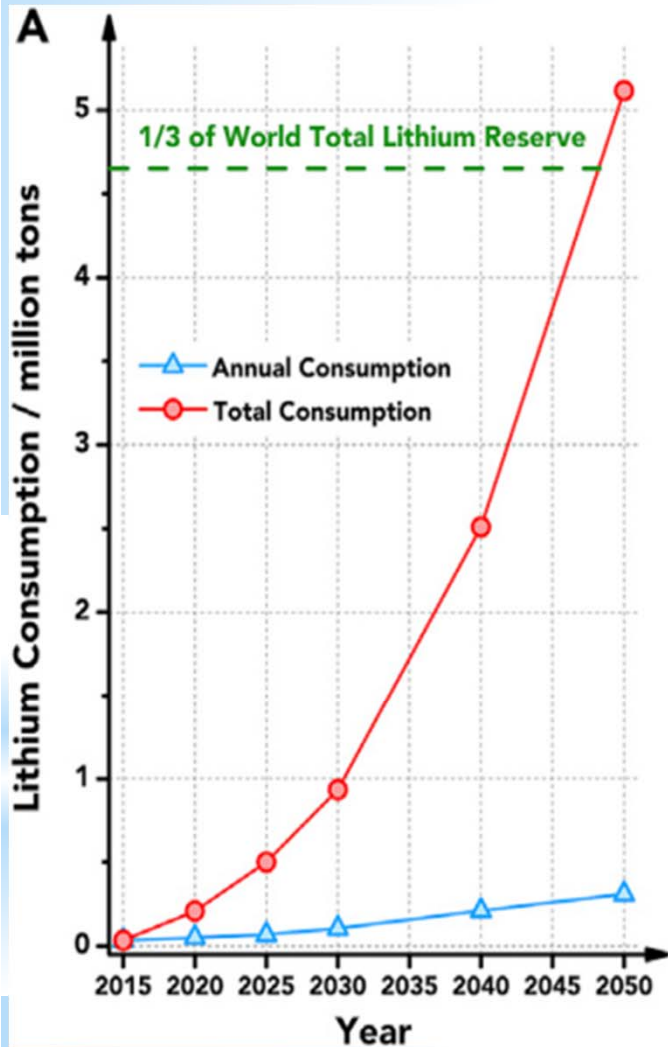
浓水近零排放：高反渗透系统回收率（抗污染抗结垢膜）



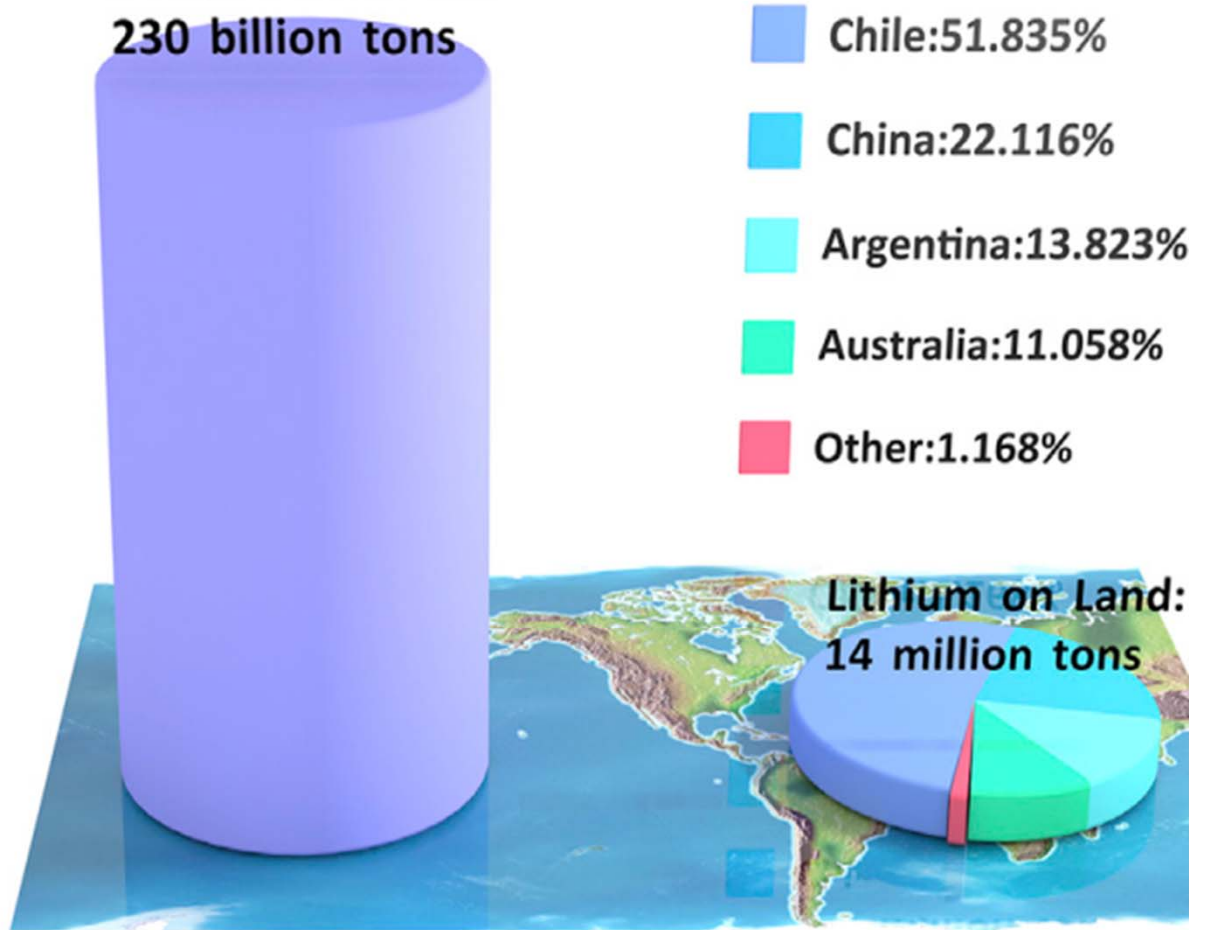
未来海水淡化技术发展



盐湖提锂技术



B Lithium in Ocean:
230 billion tons



盐湖提锂技术

我国锂资源储量（万吨，以氧化锂计）

序号	产地	主要产物	储量	基础储量	资源量	查明资源储量
1	青海	盐湖卤水	640.09	667.28	—	753
2	西藏	盐湖卤水	101.49	362.18	—	430
3	湖北	盐湖卤水	—	—	108.78	108
4	四川	锂辉石	31.73	35.39	83.14	117
5	江西	锂云母	50.80	56.61	7.36	63
6	新疆	锂辉石	1.12	3.57	2.71	6
7	河南	锂云母	0.37	0.50	0.71	1
8	福建	锂辉石	—	—	0.43	0.4
9	山西	锂辉石	—	—	0.04	0.04
10	湖南	锂云母	0.13	0.18	35.77	35
11		合计	825.72	1125.71	239.44	1518

盐湖提锂技术

盐湖卤水提锂难度大：

镁锂比高、钠锂比高、分离难度大，导致提锂过程中锂损失率高、开发成本高、综合开采利用程度低。

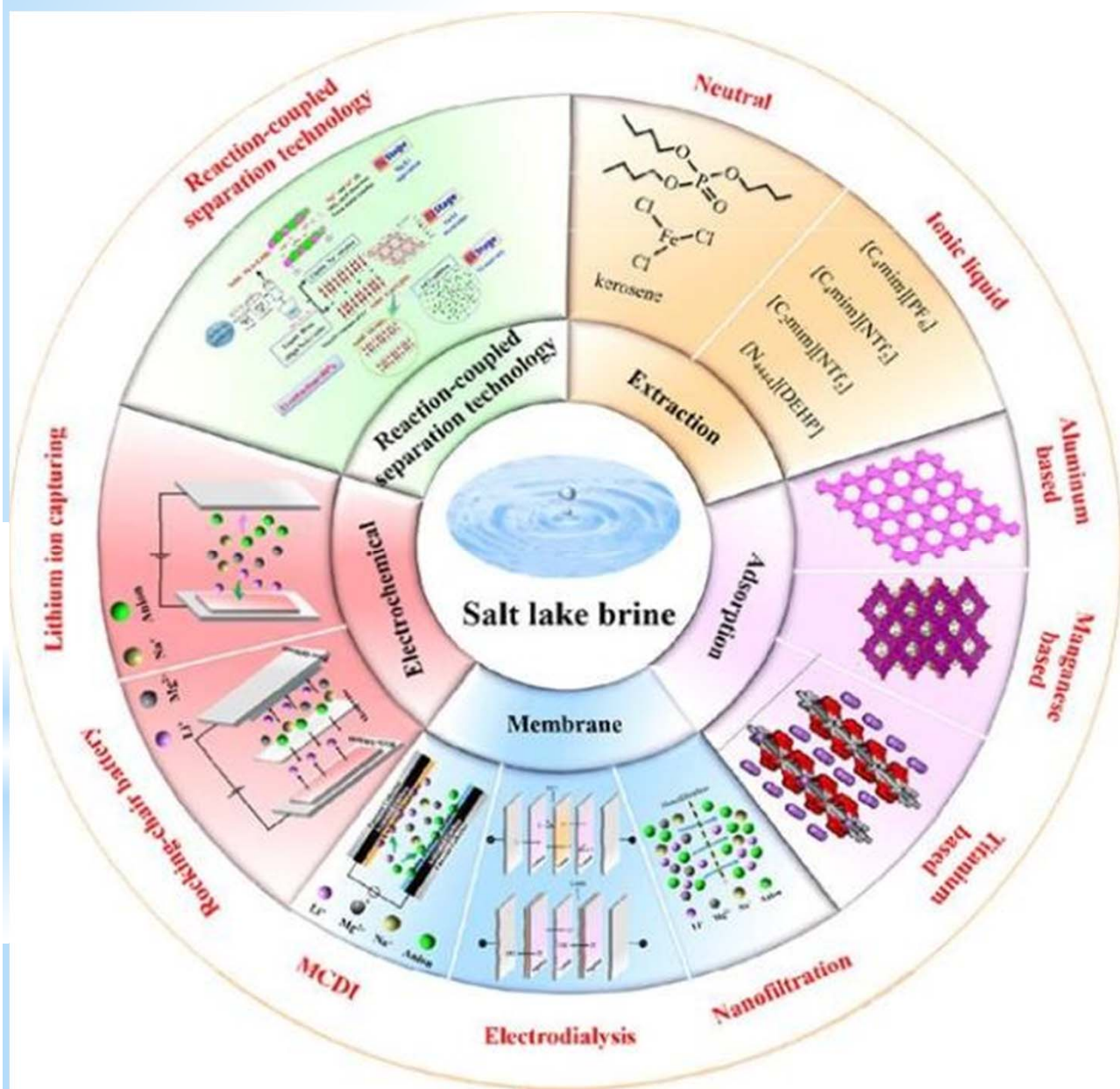


察尔汗盐湖



盐湖地区	镁/锂比例 (质量比)	锂离子浓度(g/L)
察尔汗	1437.5	0.08
一里坪	63.7	0.379
龙木错	74.0	1.21
西台吉乃尔	59.1	0.26
东台吉乃尔	40.3	0.14
大柴旦	133.8	0.016

盐湖提锂技术



离子半径

Li^+ 0.06 nm

Mg^{2+} 0.06 nm

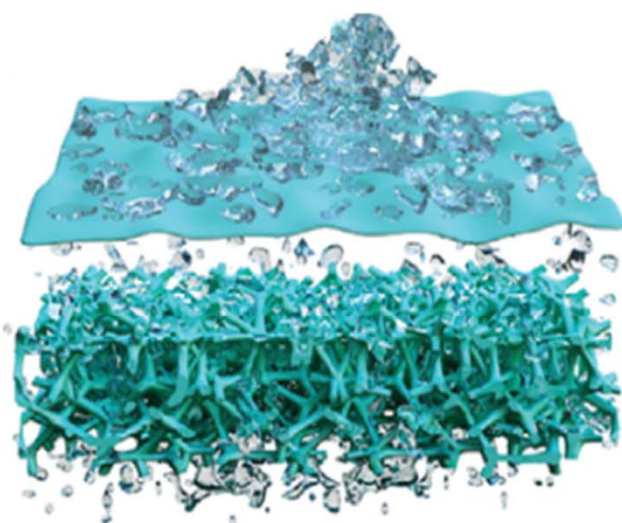
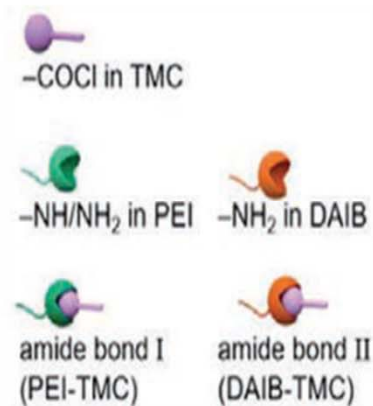
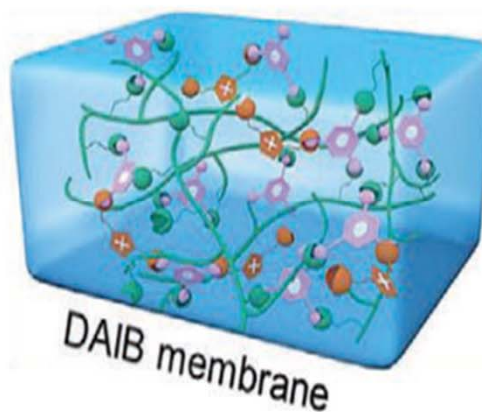
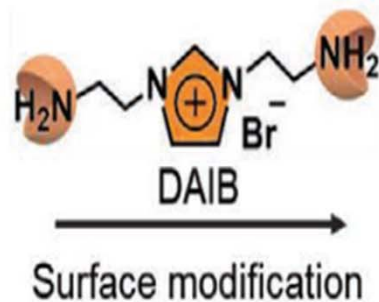
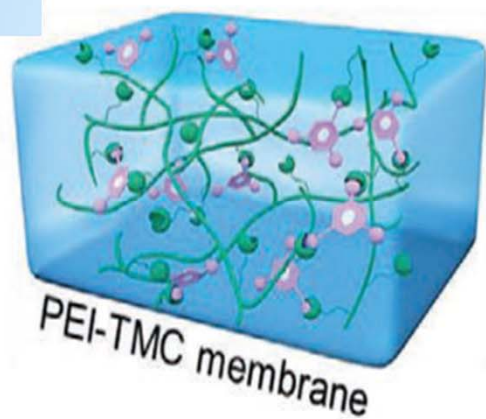
水合半径

Li^+ 0.382 nm

Mg^{2+} 0.428 nm

- 纳滤
- 电渗析
- 电容去离子
- 吸附
- 萃取
- 电化学
- 反应耦合分离

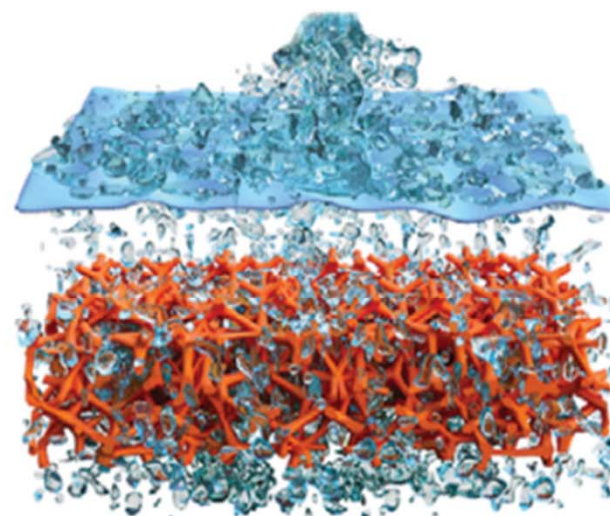
盐湖提锂技术



Surface: more hydrophilic



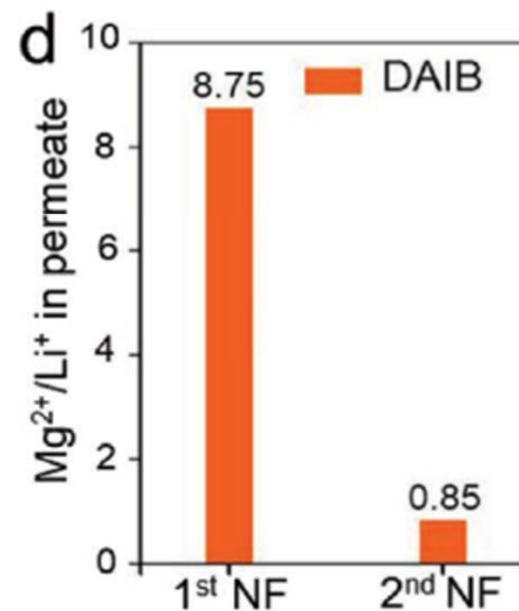
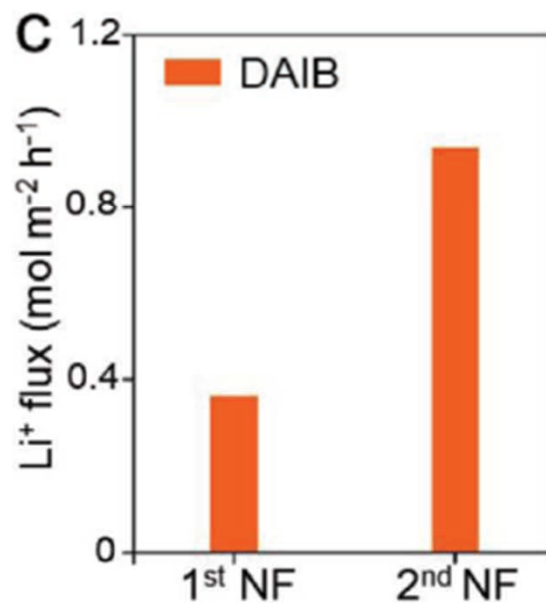
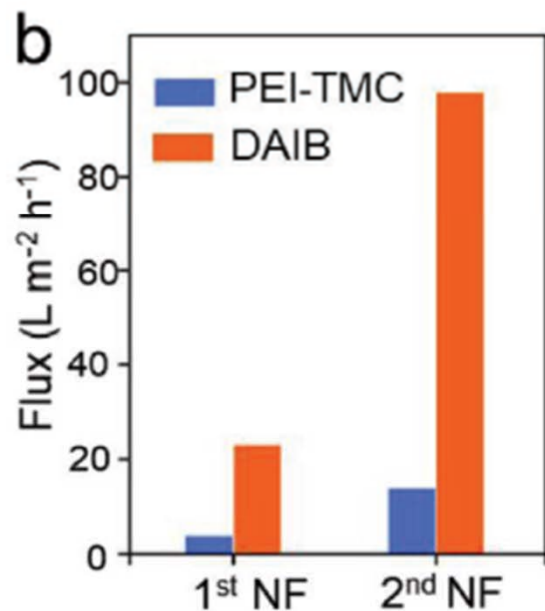
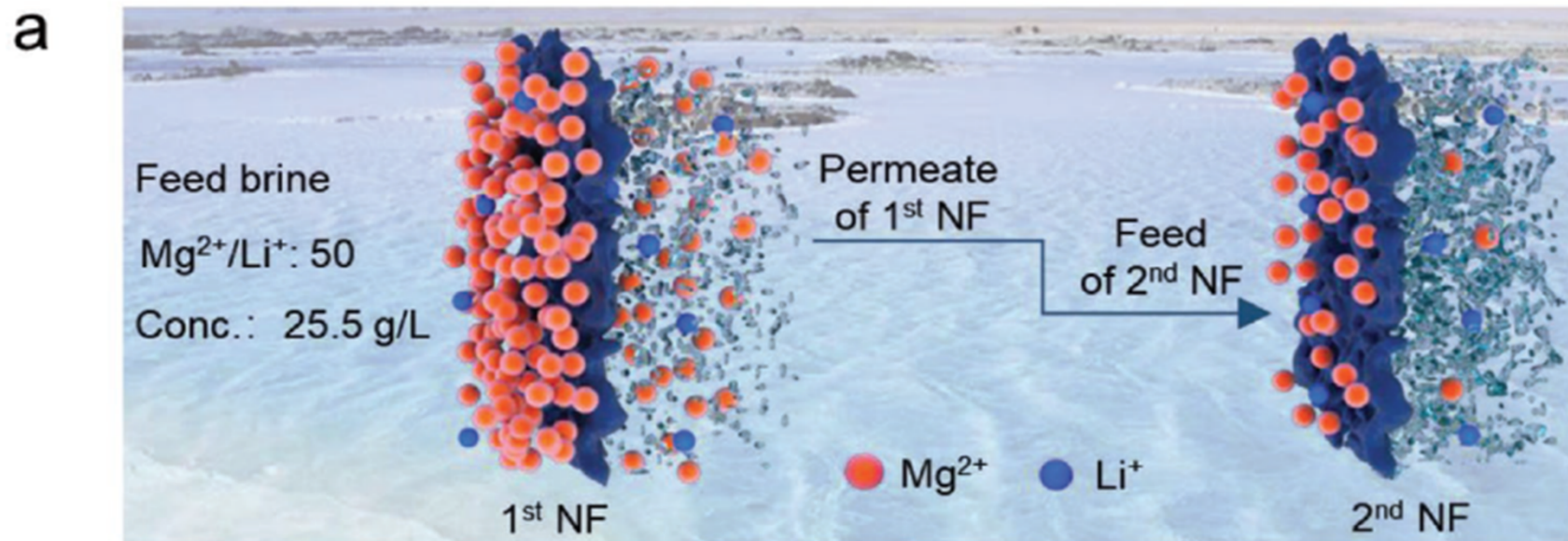
Interior: less resistance



PEI-TMC membrane

DAIB membrane

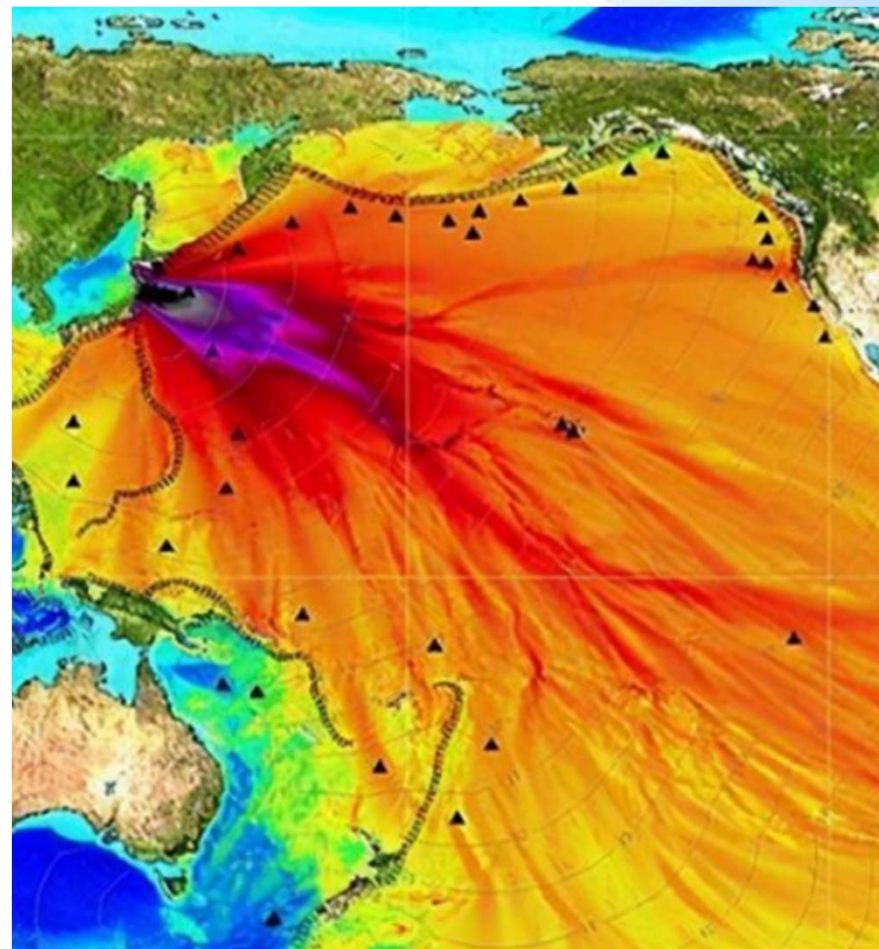
盐湖提锂技术



海洋保护

污染源广、持续性强以及扩散范围广

海洋油污染、重金属污染、热污染、放射性污染



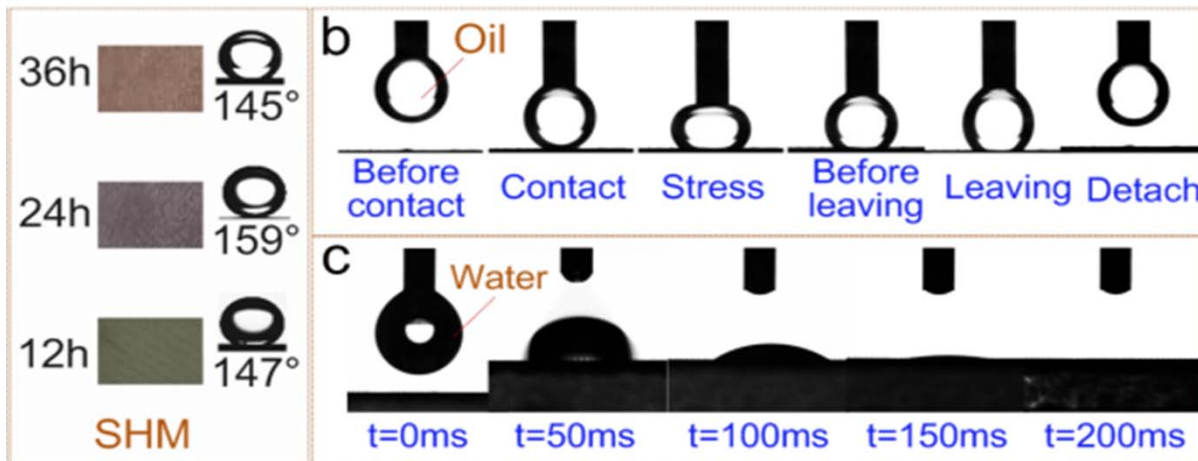
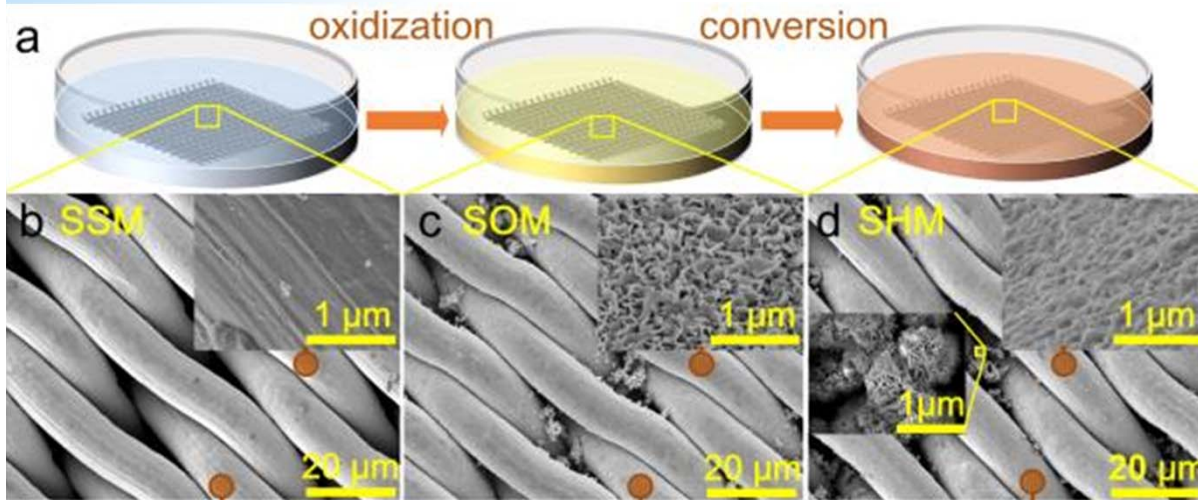
海洋保护

微塑料 (MICROPLASTICS) 污染被称为“海洋中的PM2.5”



海洋保护

超亲水-水下超疏油油水分离不锈钢网



海洋保护

吸附毡、海洋清洁系统



世界海洋日

World Oceans Day

2021年6月8日

为可持续海洋创新

海洋：生活与生计

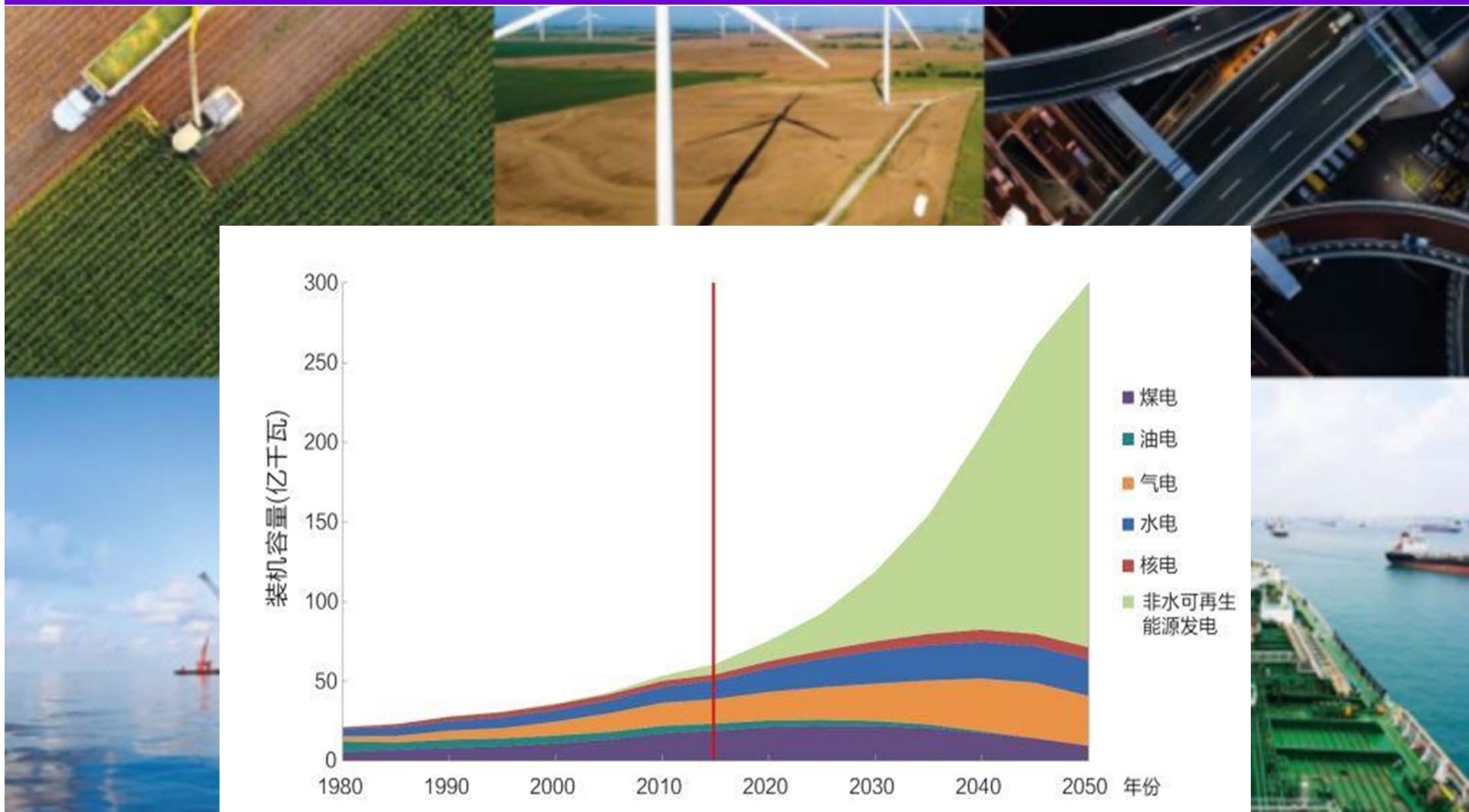
“保护和可持续利用海洋和海洋资源”



图片来源：视觉中国 www.vcg.com



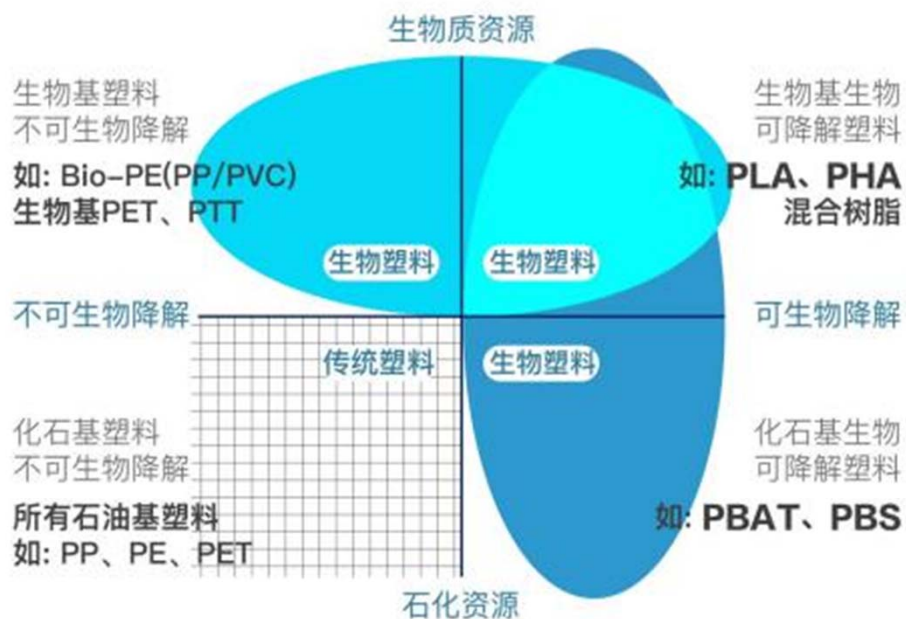
未来生活—能源结构



BP Energy Outlook 2035

未来生活—环境保护

全球从“限塑”到“禁塑”，提出了生物降解塑料使用将是治理“白色污染”的方式之一，生物降解塑料已经成为研究开发的新热点



参考文献

1. P. G. Youssef, R. K. Al-Dadah and S. M. Mahmoud, *Energy Procedia*, 2014, 61, 2604-2607.
2. A. N. Mabrouk and H. E. S. Fath, *Desalination*, 2015, 371, 115-125.
3. F. E. Ahmed, R. Hashaikh and N. Hilal, *Desalination*, 2019, 453, 54-76.
4. M. Elimelech and W. A. Phillip, *Science*, 2011, 333, 712.
5. X. L. Lu and M. Elimelech, *Chem. Soc. Rev.*
6. H. Peng and Q. Zhao, *Advanced Functional Materials*, 2021.
7. B. Sun, F. Zhang, M. Gao, S. Zhao, J. Wang, W. Zhang, Z. Wang and J. Wang, *Advanced Engineering Materials*, 2020, 22.
8. Y. Qi, T. Tong, S. Zhao, W. Zhang, Z. Wang and J. Wang, *Journal of Membrane Science*, 2020, 601.
9. V. Mankol, Z. Hao, S. Zhao, H. Wu, Y. Qi, Z. Wang and J. Wang, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2021, 60, 3095-3104.
10. E. Bari, J. J. Morrell and A. Sistani, in *Durability and Life Prediction in Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, eds. M. Jawaid, M. Thariq and N. Saba, Woodhead Publishing, 2019, pp. 15-26.



赵颂，副研究员，硕士生导师，天津大学北洋青年骨干教师，美国耶鲁大学访问学者，天津市膜科学与海水淡化技术重点实验室秘书，膜科学与技术期刊青年通讯编委，化学工程联合国家重点实验室固定人员。

主要从事海水淡化、膜法水处理、新型分离膜材料等领域的基础和应用研究，开发多种高性能抗污染抗结垢反渗透膜、有机溶剂纳滤膜和纳米复合多孔膜。主持承担国家自然科学基金、天津市自然科学基金等纵向项目及企业委托项目 10 余项。在化工、材料、分离、环境等领域权威期刊 *Nat. Mater.*、*EST*、*CEJ*、*JMCA*、*JMS*、*Desalination* 等发表学术文章近 50 篇，他引 1500 余次。

感谢聆听！欢迎交流！

Add : 津南区海河教育园天津大学52楼
Tel : 15922094632
E-mail: songzhao@tju.edu.cn

