

节能型低污染反渗透膜 PROC20 的应用

1. 前言

我国“十一五”规划纲要中，把节能减排和结构调整作为重要任务，但国家发改委对 2006 年和 2007 年 22 个指标的完成情况进行的评估显示，完成形势低于预期。据相关部门统计，目前中国工业能耗占全社会能耗的比例达 70% 以上。污水经过组合工艺的深度处理，回用成为循环冷却水、工艺用水，甚至是电厂的锅炉补给水。将污水实现资源化，是节水降耗的重要方式之一。我国的电力、钢铁、石化等行业，已有采用先进膜技术的中水回用成功经验。

当污水需要进行脱盐处理时，反渗透膜是其中的核心技术。从 1997 年开发出全球第一支低污染反渗透膜元件以来，美国海德能公司的低污染反渗透技术每天在全球各地将 100 万 m³ 的污水处理成再生水循环利用。在国内，中石油的克拉玛依炼油采用美国海德能公司的纳滤膜回用污水已成功运行 5 年以上；大连石化、独山子石化等厂的污水回用项目中也在采用美国海德能公司的低污染膜技术回用污水。

随着节能减排的发展，对反渗透膜的研发也在加速，通过技术革新和提升不仅拓宽了反渗透膜在污水回用的应用领域，也加强了产品自身的节能特点设计。美国海德能公司的 PROC20 即是采用了增强低污染 + 节能降耗的技术路线，在污水资源化的工艺中应用，可比其它低污染反渗透膜系统降低 30% 能耗。

2. PROC™产品系列性能参数和适用范围

PROC™是美国海德能公司根据多年在中国膜应用的经验基础上开发出的全新系列，两个型号的技术参数如下表：

表 1 PROC™膜产品的性能参数

膜型号	公称脱盐率 (%)	产水量 (m ³ /d)	膜面积 (m ²)	给水隔网 (mm)	测试压力 (MPa)
PROC10	99.75	39.7	37.2	0.86	1.55
PROC20	99.5	39.7	37.2	0.86	1.05

由上表可以看出，PROC10 与 PROC20 的产水量、膜面积、给水隔网相同，但 PROC10 脱盐率更高，而 PROC20 的测试压力更低，各有侧重的两种膜适用范围如表 2：

膜型号	特征	效果	用途举例
PROC10	高脱盐率	产水水质好，缓解后处理工艺负荷	锅炉补给水
PROC20	超低压	降低高压泵能耗 30%，节约制水成本	冷却循环补充水、工艺用水

表 2 PROC™膜产品的适用范围

3. PROC™产品系列增强设计

PROC™是美国海德能公司增强型低污染膜系列，其主要特点是在膜元件结构和平膜两个方面同时进行增强设计。

3.1 34mil 宽进水隔网和端板

根据国内外多年应用经验，膜元件污染物当中胶体、微生物污染占 3/4 左右，这类污染是进水中含有的污染物流入膜元件中，造成堵塞原水流道，压差上升，产水量下降等问题。PROC™采用独特的自动卷膜技术，采用比传统膜元件宽 20% 的特殊形状 34mil 进水隔网，降低进水在膜元件内部流动的阻力，减少污堵倾向，提高清洗恢复性。在某项目中同时采用了进水隔网为 28mil 的传统膜元件和 PROC™，因预处理工艺效果不好、进水 SDI>5 导致一段时间内反渗透系统污染速度较快，见图 1。与传统膜相比，PROC™膜压差上升幅度小，清洗后压差能降到初始状态，说明其污堵速度慢，清洗恢复性能好。

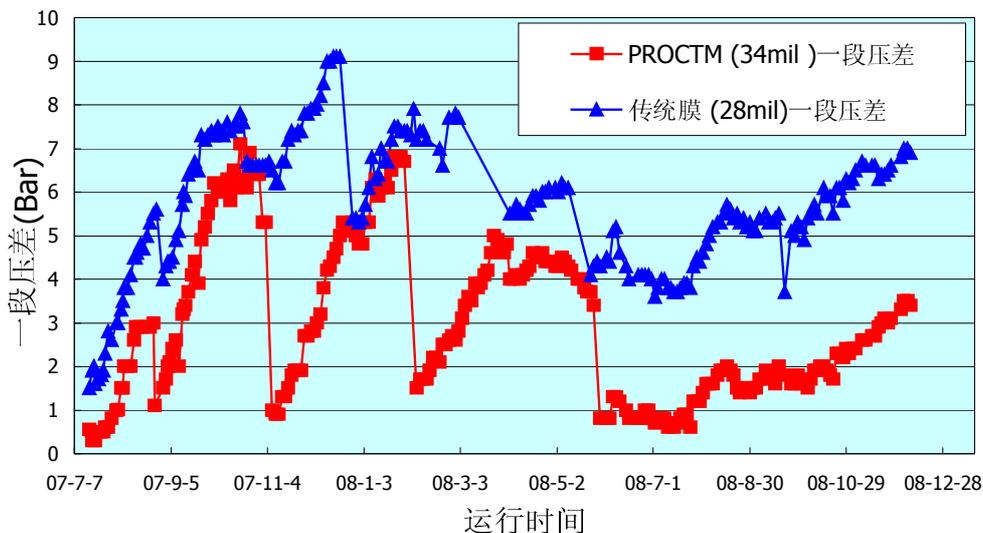


图 1 PROC™与传统膜运行压差图

3.2 端板排气构造

反渗透膜元件有时会受到机械性损伤。主要原因是在系统启动时，大水流进入膜元件，导致压力急速上升，膜元件与膜壳之间的空气不易排放，膜元件内部与膜元件和膜壳间空气的压差可高达 1MPa，造成膜元件的膨胀，导致膜元件破损。PROC™在膜两侧端板上上了 6 个排气槽，加快了排气速度，避免了 FRP 的爆裂现象，见图 2。

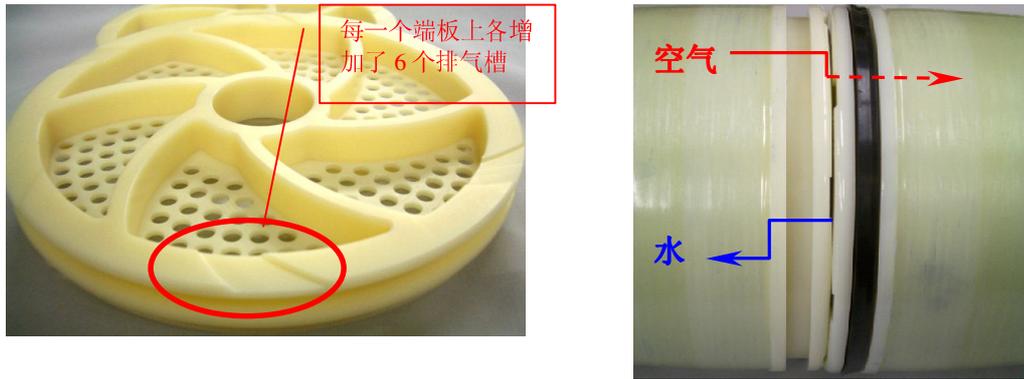


图 2 端板排气构造

3. 3 化学清洗稳定性

反渗透膜在运行中主要会受到生物污染、胶体污染和无机盐结垢，在污染达到一定程度时需进行化学清洗。一般来说，酸性药剂用于清洗无机垢类或胶体类污染，碱性药剂用于清洗生物污染和有机污染。反渗透膜的芳香族聚酰胺材料，在强碱反复清洗情况下可能导致平膜皮层的高分子键的疏松甚至破坏，使透盐率增加、产水量上升、反渗透膜劣化。PROC™通过平膜增强技术，耐强碱清洗能力大幅度提高，在实验室条件下测试强碱清洗 40 次，膜元件脱盐率能恢复 100%；清洗 90 次，脱盐率保持度维持在 99.8% 以上。如果按中水回用项目的特点，估计每 2 个月需进行一次清洗，膜运行 5 年需清洗 30 次，强碱液清洗不会对膜元件性能造成负面影响。

4. PROC20 节能抗污染技术

在工业污水回用时，一般会根据回用水的不同用途和水质要求来进行分级处理。石化、冶金行业的深度处理回用是达到工业水级别，注重节能减排中的运行成本，并不是以高脱盐率为目标。美国海德能公司以此类需求为方向研发出了节能降耗型低污染反渗透膜 PROC20。PROC20 同样是 34mil 给水隔网，且带有端板排气构造；其在 1.05MPa 的标准测试压力下，产水量为 39.7 m³/d，公称脱盐率为 99.5%。

4. 1 PROC20 膜分离皮层表面构造控制技术

它采用了美国海德能公司的第 3 代平膜构造制备技术，增加了聚酰胺表面分离层的表面积，从而提高膜的产水性能，降低运行压力。PROC20 在受到污染时，由于分离皮层表面积的增加，污染物仅堆积在分离皮层褶皱顶部表面。图 3 表明一个膜表面污染严重的 PROC20 膜元件，在电镜照片下能清晰看出底部部位没有污染物。平膜表面与污染物间缝隙的存在能减缓膜因受到污染所导致的产水量下降；并且易于通过冲洗和化学浸泡使污染物从膜表面剥离，提高清洗恢复程度。

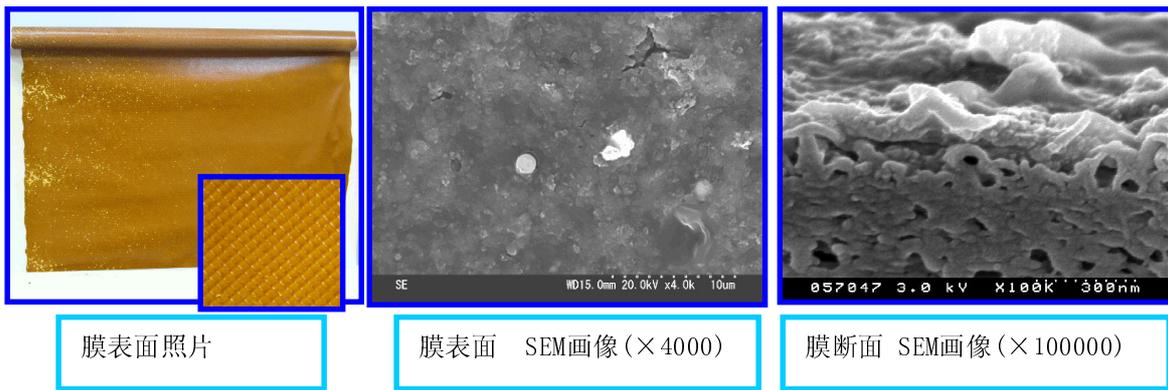


图3 PROC20膜污染图

4.2 PROC20 的应用示例

在中海油某化工废水回用项目中，废水水源为循环排污水、工艺废水和生活废水的混合，工艺流程为：预处理(隔油/沉淀)→水箱→多介质→UF→保安过滤→高压泵→RO→回用。RO系统采用PROC20膜元件，系统产水量为每套180m³/h，共2套，采用(32:16)*6的一级两段排列方式。由于原水主要是循环排污水，运行温度范围为25-37℃，平均为30.5℃，RO系统进行压力只有5bar左右，见图4中#1系统的温度和进水压力图。标准化后产水量约为160m³/h，见图5。系统的运行压力很低，节能效果良好。图6表明，系统透盐率很低，意味着出水水质很好。也就是说，在节能的同时，产水水质完全能够满足要求，降低总运行成本。

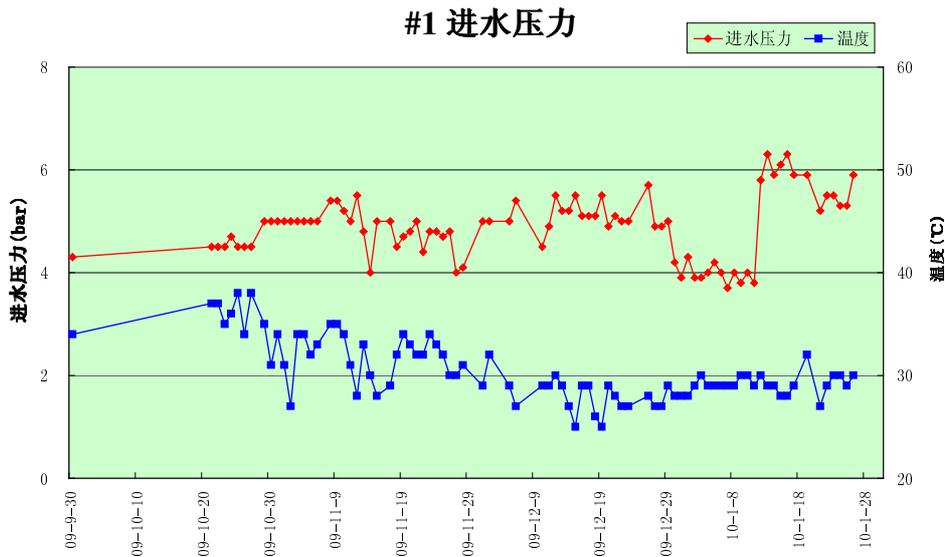


图4 #1系统进水压力

#1标准化产水量

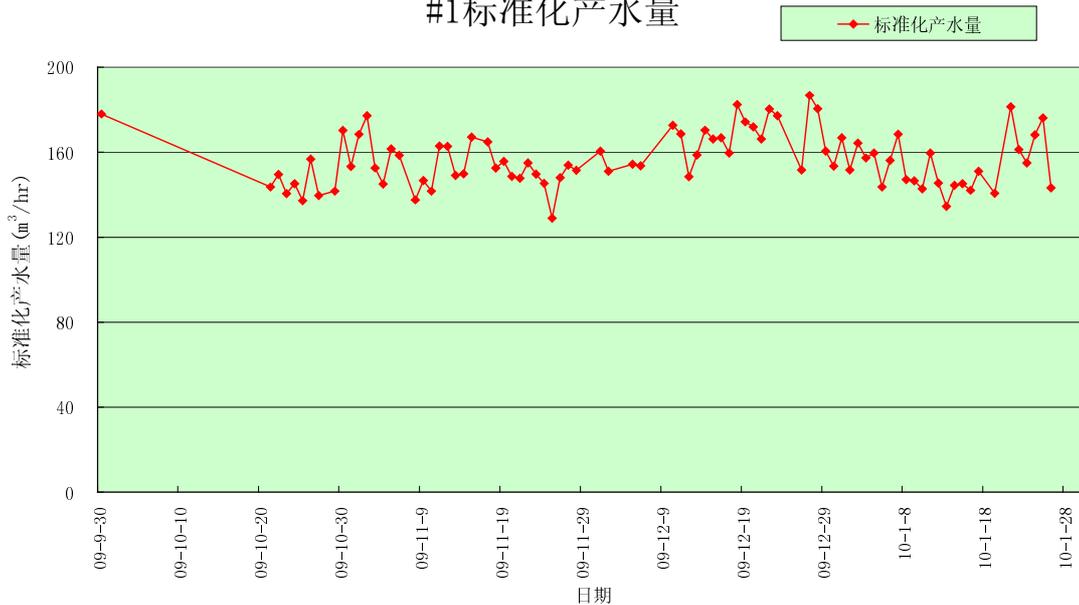


图5 #1系统标准化产水量

华能沁北电厂于2004年底起，采用美国海德能公司的LFC1电中性低污染膜对循环排污水进行脱盐处理，产水再经离子交换作为锅炉补给水。反渗透系统运行5年后准备换膜，我们采用PROC20膜元件对其进行更换。PROC20和LFC1都是8英寸膜元件，膜面积均为37.2m²，更换时膜元件数量不变，电厂可在不改变配置的情况下获得性能更为优异的膜系统。

根据现有的系统设计和实际水质（表1），采用美国海德能公司IMSDesign模拟PROC20和LFC1的系统性能，结果见表2。PROC20系统的节能效果明显，其吨水能耗比LFC1降低36.7%；按每套系统每年运行5000个小时计算，三年累计节省用电约66万kwh。此外还可以预见的是，PROC20系统还具备产水水质更好、降低清洗周期等特点，保障系统长期运行稳定。

表1 沁北电厂RO进水水质和系统设计参数

弱酸阳床出水水质		系统设计参数	
进水电导率 μ s/cm	1186	产水量 (m ³ /h)	75 *2
pH	5.54	RO膜排列方式	一级两段，(8: 4) *6
Ca(mmol/L)	6.33	平均水通量 (lmh)	28
Mg(mmol/L)	6.0	回收率 (%)	75
总碱度 (mmol/L)	1.5	水温 (°C)	9-33
Cl(mg/L)	102.9	泵效率 (%)	80
SiO ₂ (mg/L)	51	电机效率 (%)	93
总P	1.8	运行时间 (年)	3

表2 PROC20与LFC1系统对比

膜型号	产水TDS (mg/L)	进水压力 (MPa)	吨水能耗 (kwh/m ³)	三年运行总耗电量 (kwh)
PROC20	14.1	10.0	0.5	1,119,000
LFC1	18.5	15.9	0.79	1,776,000

5. 结论

PROC20膜元件在抗污染的基础上，增强了膜元件节能的技术优势。在化工和电力行业的循环排污水中已得到应用。从运行数据可以看出，PROC20的节能效果明显，在某工业废水的项目中系统进水压力只有5bar左右。华能沁北的换膜项目中，与原有电中性低污染比较，不仅出水水质更好，吨水能耗可降低36.7%，三年累计节省用电约66万kwh。