

节能型低污染反渗透膜 PROC20 在华能沁北电厂的应用

谢春玲¹ 赵兴辉² 富康博¹

¹日东电工集团/美国海德能公司 ²华能沁北电厂

摘要：华能沁北电厂采用双膜法将循环冷却排污水回用于电厂的锅炉补给水，反渗透系统投运 5 年后进行膜更换。2010 年 4 月起采用节能型低污染膜元件 PROC20 的系统投运，其运行压力较低，比原有型号 LFC 节能 36.7%。本文介绍 PROC20 膜元件的性能特点，和其在沁北电厂运行的数据。

关键词：电力 循环冷却排污水 回用 节能 低污染 反渗透

1 概述

华能沁北电厂是国内最早采用循环排污水作为锅炉补给水水源的电厂之一。来自循环水系统的排污水首先进入旁流弱酸处理系统，去除水中的悬浮物和碳酸盐硬度；再进入锅炉补给水处理系统，即经过超滤、反渗透、一级复床和混床等处理。一期水处理系统的工艺流程如图 1。

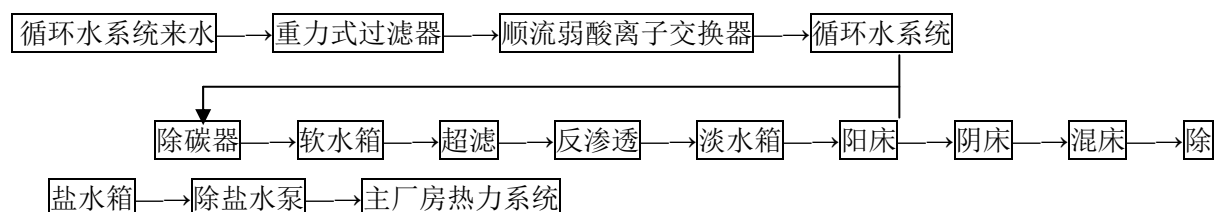


图 1 工艺流程

超滤和反渗透双膜均采用美国海德能公司的产品。超滤膜为内压式中空纤维膜 HYDRAcap60，反渗透膜为电中性低污染膜元件 LFC1。超滤和反渗透系统的配置见表 1 和表 2。


表 1 超滤系统配置

| 超滤系统产水量 | 5 × 55 m ³ /h | 超滤系统照片 |
|---------|--------------------------|--------|
| 超滤膜型号 | HYDRAcap60 | |
| 单套数量和排列 | 16 支 并联 | |
| 设计水通量 | 80 LMH | |
| 过滤方式 | 全量过滤 | |
| 设计水利用率 | 93 % | |

系统于 2004 年 4 月投运，到 2009 年即运行 5 年以后，开始着手更换反渗透膜事宜。5 年期，随着节能减排的发展，反渗透膜技术的研发也日益加速。美国海德能公司通过技术革新和提升不仅拓宽了反渗透膜在中水回用的应用领域，也加强了产品自身的节能特点设计，PROC20 即是采用了

增强低污染 + 节能降耗的技术路线。因其具有比一般低压膜节能约 30% 的特点，在化能沁北电厂换膜时确定采用新型节能低污染膜元件 PROC20 来更换已运行 5 年以上的 LFC1。

表 2 反渗透系统配置

| | | |
|--------|-------------------------|---|
| 反渗透产水量 | 2×75m ³ /h | 反渗透系统照片  |
| 反渗透膜型号 | LFC1 | |
| 单套数量 | 72 支 | |
| 设计通量 | 28 LMH | |
| 排列方式 | 一级两段， 8 : 4 (6 芯) 排列 | |
| 系统回收率 | 75 % | |

2 PROC20 膜元件的特点

PROC20 是美国海德能公司节能型低污染膜元件，兼具 PROCTM 系列在膜元件结构和平膜两个方面增强设计的优势，以及约 30% 的节能效果。

2.1 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。PROCTM 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。图 2 显示在某项目中同时采用了进水隔网为 28mil 的传统膜元件和 PROCTM，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。与传统膜相比，PROCTM 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。

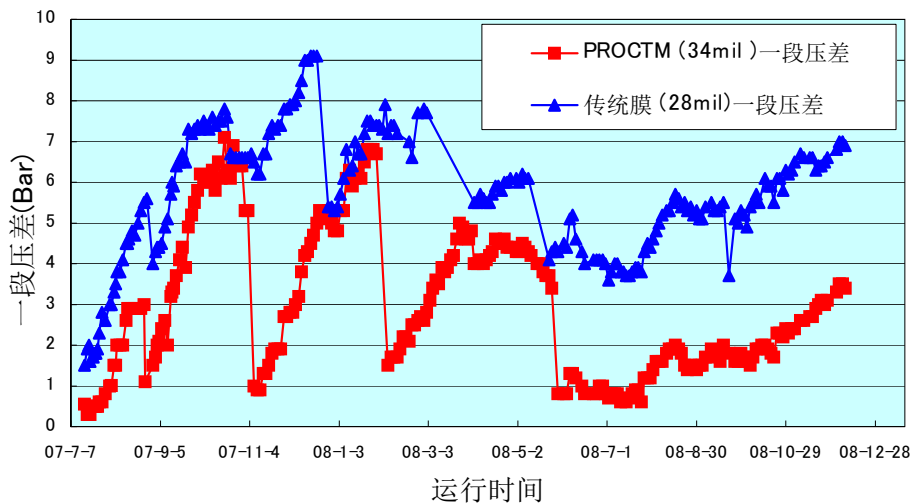


图 2 PROCTM 与传统膜运行压差图

2.2 端板排气构造

PROC20 采用美国海德能公司的快速排气端板专利技术，即通过在膜元件端板上加设的排气槽，使系统在启动时气体能很快排出膜外，防止膜元件受机械损伤。图 3 中，左图是显示无排气端板在系统启动初期，高压泵升压、大量原水流入系统中，2 支膜元件内部压力 (P_{in}) 迅速升高，而膜元件与膜壳之间的空气很难瞬间排出，使膜元件内部的压力远远地高于膜元件与膜壳之间的压力 (P_1, P_2)，形成压力差 ($P_{in} \gg P_1 \approx P_2$)，此压力差容易造成膜元件外壳破裂。右图是快速排气端板的膜系统，系统启动时膜元件内部压力和外部压力几乎以同样速度上升，没有压力差，可以有效防止膜元件系统启动时的破损。

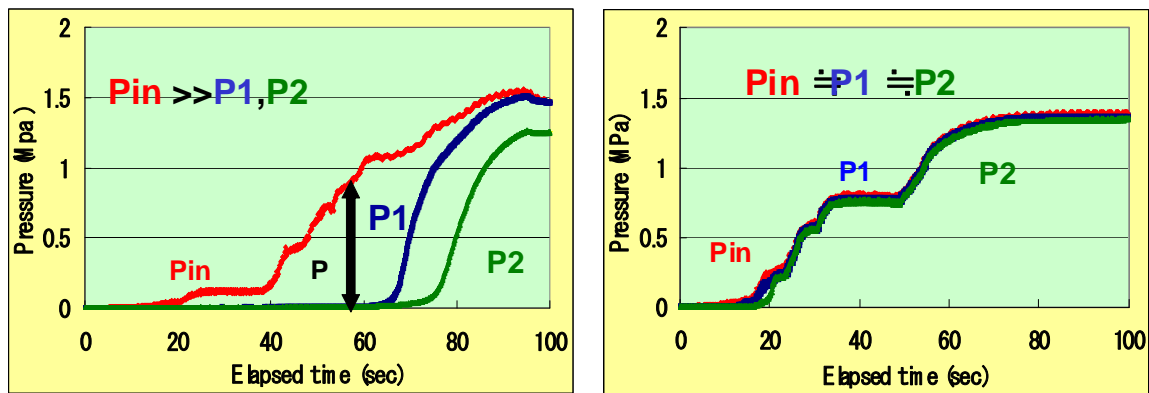


图 3 膜壳内部压力分布测试结果：左图无排气端板，右图快速排气端板

2.3 化学清洗稳定性

PROC20 通过平膜增强技术，耐强碱清洗能力大幅度提高，在试验室条件下测试强碱清洗 40 次，膜元件脱盐率能恢复 100%。如果按沁北电厂运行经验约每三个月清洗一次的特点，膜运行 5 年需清洗 20 次，强碱液清洗不会对膜元件性能造成任何负面影响。

2.4 PROC20 节能抗污染技术

PROC20 采用了美国海德能公司的第 3 代平膜构造制备技术，通过增加聚酰胺表面分离层的表面积，提高膜的产水能力，降低运行压力。分离皮层表面积的增加，并不会造成更严重的污染。图 4 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。

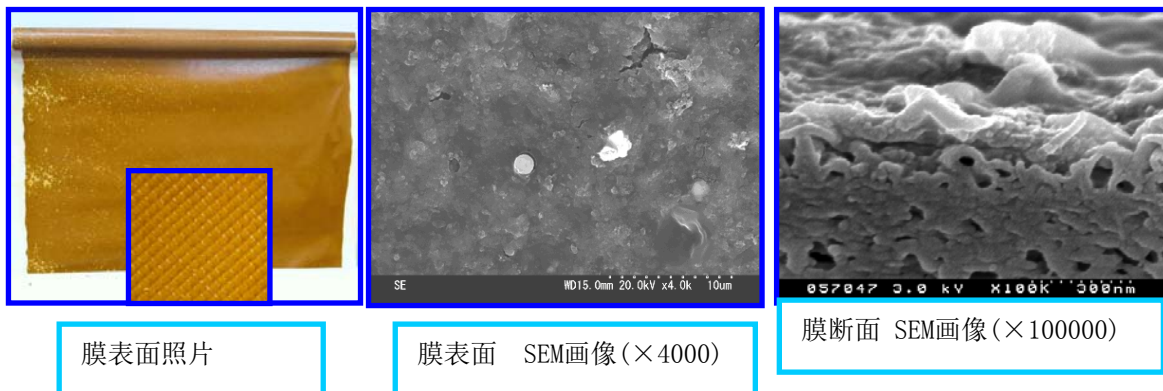


图 4 PROC20 膜污染图

3 PROC20 的应用数据

PROC20 自今年 4 月份投入运行以来，表现出优良节能特点。该系统 4 个月时间的运行中，标准化产水量基本保持在 80m³/h，见图 5。从图 6 可以看出，在产水量达到要求值的情况下，初期运行时水温较低约为 15℃左右时，系统的运行压力基本在 1.0MPa 以下；当水温升至 30℃左右时，进水压力仅为 0.6MPa。

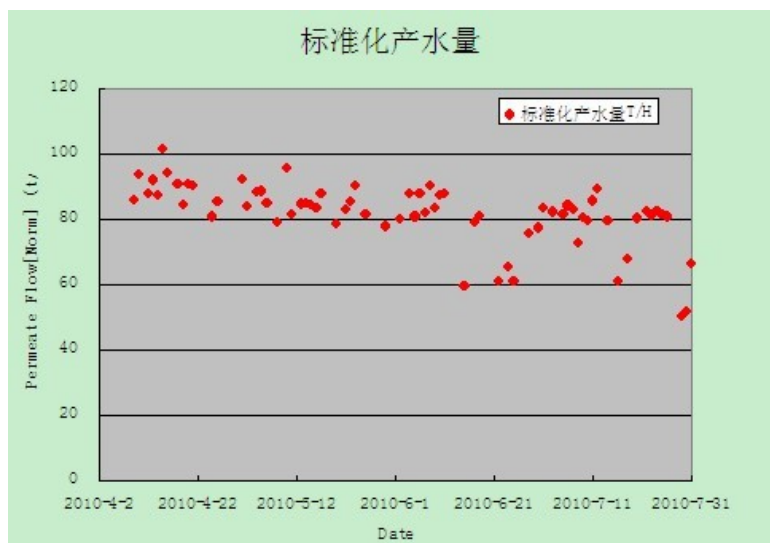


图 5 PROC20 系统标准化产水量图

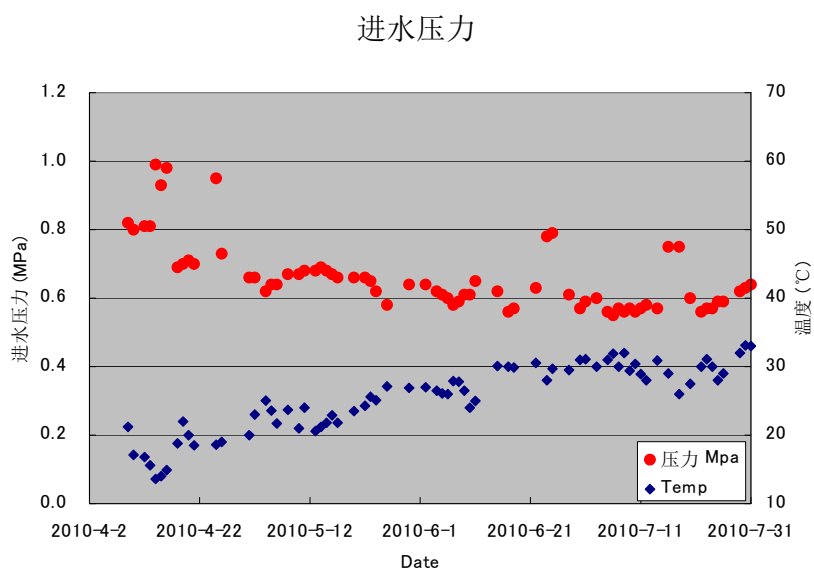


图 6 PROC20 系统进水压力和温度图

PROC20 与原先采用的 LFC1 膜元件相比，不仅节能效果好，产水水质也更好。我们根据现有的系统设计和实际水质（表 3），采用美国海德能公司 IMS Design 模拟 PROC20 和 LFC1 的系统性能，结果见表 4。PROC20 系统的吨水能耗比 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。PROC20 的产水 TDS 比 LFC1 低 23.8%。

表3 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 $\mu\text{s}/\text{cm}$ | 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 ($^{\circ}\text{C}$) | 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4 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 | 1.0 | 0.5 | 1,119,000 |
| LFC1 | 18.5 | 1.6 | 0.79 | 1,776,000 |

IMSDesign是美国海德能公司专有的模拟设计软件,是建立在膜元件基本性能与庞大的运行结果数据库基础上的,在系统设计时能帮助设计人员预测系统的运行参数。我们采用 IMSDesign分别对于 2010年4月19日和2010年7月12日的数据进行实际运行条件下的模拟,所得到的进水压力和产水电导率值与现场记录的实际数据对比,见表5。在初始运行状态(即4月19日数据为例),实际运行的压力比模拟值还低,产水电导略高;在运行三个月后的状态(7月12日数据为例),实际运行的压力和产水电导都比模拟结果好。上述两组数字说明,PROC20沁北电厂的运行结果符合美国海德能公司对于PROC20产品性能参数的设定。

表5 采用IMSDesign模拟和实际运行结果对比表

| 日期 | 实际运行条件 | | | | | | 采用IMSDesign按运行参数模拟与实际运行的进水压力和产水电导率对比 | | |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------|------|--------------------------------------|-----------------------------------|------|
| | 进水电导率 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) | 温 度 ($^{\circ}\text{C}$) | 产水量 (m^3/h) | 浓水量 (m^3/h) | 回收率 (%) | pH | 进水压力 (MPa) | 产水电导率 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) | |
| 2010.4.19 | 1170 | 22 | 75 | 24.3 | 75.5 | 5.11 | 模拟值 | 0.76 | 27.1 |
| | | | | | | | 实际值 | 0.70 | 30.3 |
| 2010.7.12 | 1271 | 28 | 76 | 25 | 75.2 | 4.82 | 模拟值 | 0.68 | 43.9 |
| | | | | | | | 实际值 | 0.58 | 36 |

4 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。在沁北电厂的循环排污水中处理成锅炉补水的换膜项目中已得到应用。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。