

## 集成膜技术 IMS®

### 在电厂循环冷却排污水回用处理中的应用

**[摘要]:** 华能沁北电厂采用双膜法：超滤 + 反渗透的技术，将循环冷却排污水回用于电厂的锅炉补给水，自 2004 年 4 月投运以来，运行稳定可靠，运行维护成本合理，是目前为数不多的已成功运行三年的系统。文中主要针对双膜系统设计、运行情况进行概述。

**[关键词]:** 电力 循环冷却排污水 废水 回用 超滤 反渗透 集成膜技术

#### 1、概述

火力发电厂按照对蒸汽冷却方式的不同分为：循环冷却、直流冷却和空冷电厂等。循环冷却电厂中冷却排污水约占电厂耗水量的 12 - 25 %，是主要的耗水部分，减少这部分排水是电厂节水的重要课题。

在设计华能沁北电厂一期工程 2 × 600 MW 超临界燃煤汽轮发电机组的水系统时，西北电力设计院根据其水源水质中碳酸盐硬度高达 3.66mmol/L 的情况，采用旁流弱酸处理系统的工艺来维持循环水系统的碳酸盐硬度 10mmol/L，且保持实际运行循环水浓缩倍率在 5—6 倍，降低了循环水的排污量。循环水的典型水质见表 1，经过弱酸处理脱除碳酸盐硬度后的部分水质见表 2。循环排污水再经过超滤+反渗透的双膜工艺，回用于锅炉补给水，实现了节水减排的目的。

整个水处理系统的工艺流程如下：

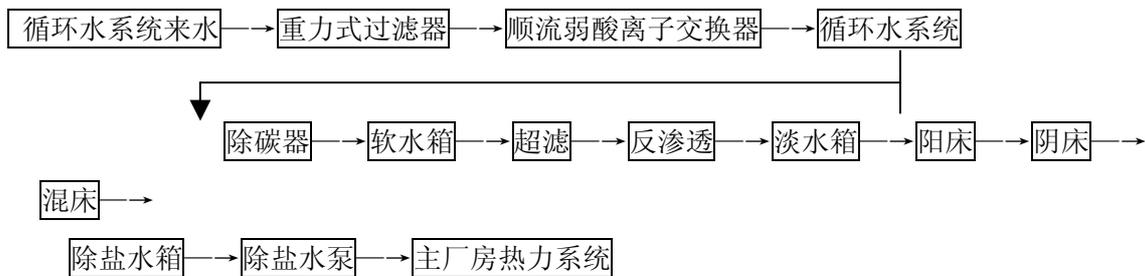


图 1 工艺流程

表 1 循环水水质分析

项 目		毫克/升	毫摩尔/升	项 目		毫摩尔/升
阳 离 子	K <sup>+</sup>	75.2	3.27	硬 度	全硬度	16.6
	Na <sup>+</sup>	527	22.9		非碳酸盐硬度	7.46
	1/2Ca <sup>2+</sup>	199.6	9.9		碳酸盐硬度	9.17
	1/2Mg <sup>2+</sup>	79.4	6.7		负硬度	
	1/2Fe <sup>2+</sup> (全铁)	0.544	0.019	酸 碱 度	甲基橙碱度	9.14
	1/3Al <sup>3+</sup>				酚酞碱度	1.62
	合计				PH 值	8.69
	1/2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250.1	5.2	其 它	化学耗氧量	12.48
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	88.94	1.43		全硅 (SiO <sub>2</sub> )	71
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>				胶体硅 (SiO <sub>2</sub> )	12.15
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	359.9	5.9		可溶硅 (SiO <sub>2</sub> )	58.85
	1/2CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	97.2	3.24		全固形物	1246
	SiO <sub>3</sub> <sup>-</sup>				溶解固形物	1280

表 2 弱酸出水水质

pH	电导(us/cm)	钙(mmol/L)	镁(mmol/L)	总磷(mmol/L)	碱度(mmol/L)	Cl (mg/L)
循环水	1480	9.53	7.69	2.81	7.22	
弱酸出水	1178	4.78	5.67	1.8	0.46	80.4

## 2、膜选型和系统设计参数

循环冷却排污水的特点是：1) 排污水由于循环水系统的浓缩作用，盐分含量高，pH 值、碱度、硬度较高；2) 由于水与空气在冷却塔内进行热交换，同时空气中的灰尘等杂质也被洗涤到水中，造成悬浮物含量高；3) 在循环水中滋生的有机物、细菌、生物粘泥；4) 为维持一定的极限碳酸盐硬度及杀菌向水中投加有阻垢剂和杀菌剂。

这些水质特点使得其水质复杂，处理难度大。在双膜法工艺确定下来后，于 2003 年 4 月采用了现场对比试验的方式进行膜型号以及膜系统设计参数的选择，最终确定采用美国海德能公司的内压式中空纤维超滤膜 HYDRAcap60 和电中性低污染反渗透膜 LFC1。

## 2.1 超滤膜系统

表 3 和表 4 给出了超滤的性能参数和主要设计参数：

表 3 HYDRAcap60 超滤膜组件性能参数

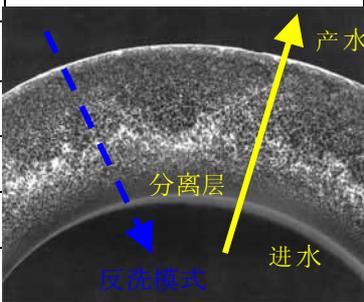
组件结构	内压式中空纤维	中空纤维丝断面图
内径/外径	0.8/1.3 mm	
有效面积	46.5 m <sup>2</sup>	
膜材质	亲水性聚醚砜	
截留分子量	15 万道尔顿	
过滤精度	20 - 25 nm	

表 4 超滤系统的主要设计参数

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

## 2.2 反渗透膜系统

反渗透和纳滤膜的耐污染技术，存在两种不同的理论：1. 膜表面电中性、亲水性；2. 膜表面光滑、宽进水隔网、耐/易清洗。例如，1997 年美国海德能公司在世界范围率先推出膜表面显电中性的低污染反渗透膜 LFC 系列，在全球的污水回用处理上有大量的成功应用案例。

LFC®系列电中性反渗透膜最大的特点是当膜元件接触的料液中含有阳离子型或两性污染物时，膜表面的分离层不易和这类物质发生吸附，因此不会导致产水量和脱盐率下降，或者即使暂时下降，也可以通过清洗完全恢复；但是如果传统表面带负电荷的反渗透膜遇到上述污染物，既有可能造成不可恢复的污染，见图 2。因此在华能沁北电厂的工程中，考虑到加药以及污染物的复杂情况，选用的是电中性低污染膜 LFC1。表 5 对比了美国海德能公司两类低污染膜的性能，并给出了选择的指导性建议。表 6 给出了反渗透系统的主要设计参数。

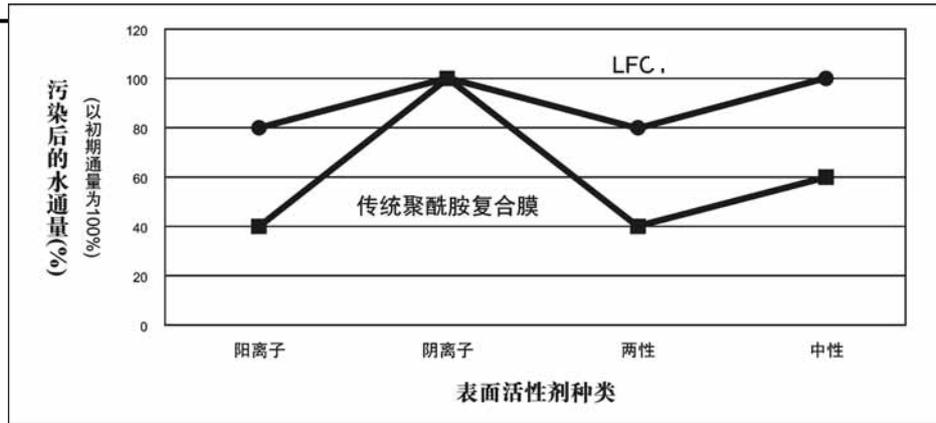


图 2 不同表面活性剂对电中性的 LFC<sup>®</sup>膜及传统复合膜的影响

表 5 美国海德能公司两类低污染反渗透膜元件的特点以及适用范围

膜类型	LFC1	PROC10
膜面积, ft <sup>2</sup>	400	400
公称脱盐率, %	99.5	99.75
产水量, GPD	11000	10 500
进水隔网厚度, mil	31	34
膜表面电性	电中性	电负性
适用范围	含有两性、阳离子型等污染物质的工业废水或其他水源或污染物必需采用阳离子型表面活性剂清洗时	一般不含阳离子型污染物的市政污水、工业废水和污染严重的地表水或地下水

表 6 反渗透系统的主要设计参数如下表

反渗透膜型号	LFC1	系统分配	2 × 70 m <sup>3</sup> /h
单套数量	72 支	排列方式	一级两段, 8 : 4 (6 芯) 排列
设计通量	28 LMH	系统回收率	75 %

### 3、系统运行情况

双膜系统在运行三年以来, 水量和压力稳定, 产水水质可靠。超滤系统运行的压差与流量稳定, 见图 3。图 4 给出了反渗透进水的 SDI<sub>15</sub> 值, 绝大多数时间小于 3; 反渗透进水的 SDI 值与超滤产水的 SDI 值是有区别的, 由于超滤和反渗透间存在管路、水箱、保安过滤器等中间过程, 会对超滤产水造成二次污染, 从而使反渗透进水的 SDI 值超出超滤系统出水的 SDI 值。因此在实际工程运行时要注意防止从超滤出水到反渗透入水流程中的二次污染。

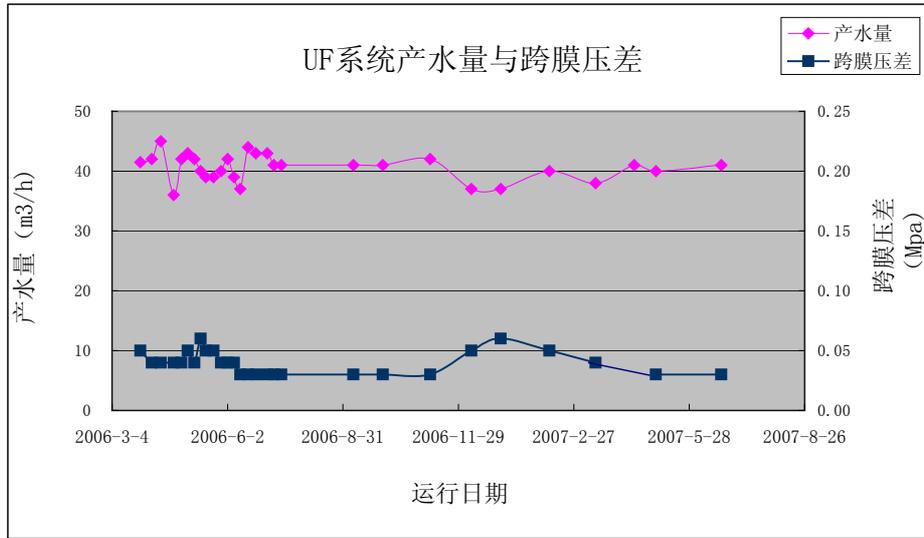


图3 超滤系统产水量与跨膜压差图

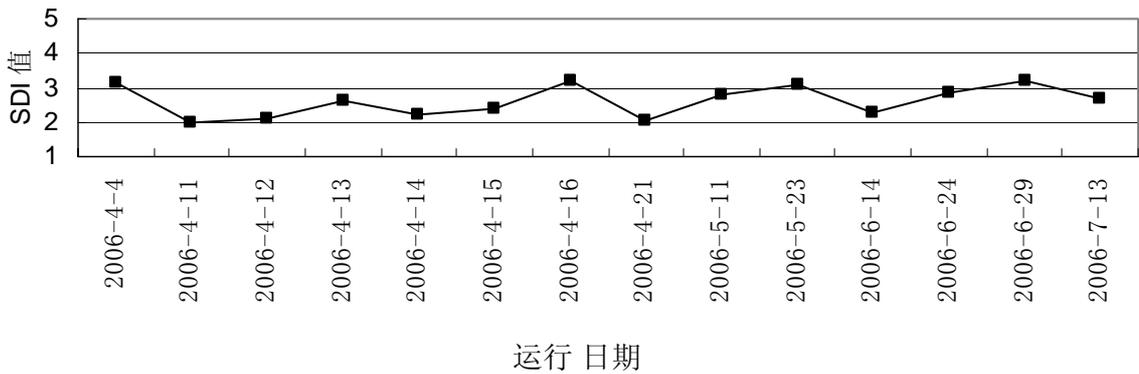


图4 反渗透进水 SDI 值

一般来说，反渗透在 pH=6 — 8 的中性条件下，脱盐率较高。在酸性或碱性条件下，脱盐率都会相应地降低。本项目中，因前端有弱酸阳床去除水中碳酸盐硬度，反渗透进水的 pH 偏酸性，且变化较大，反渗透的脱盐率也随之波动。从图 5 中可以看到，pH 低于 4 时，反渗透的脱盐率会降到 93%；图 6 给出了 pH 变化对脱盐率的影响，反渗透进水 pH=7.66 时，系统脱盐率最高为 99.1%。

反渗透系统运行三年多的时间，仅进行化学清洗四次。

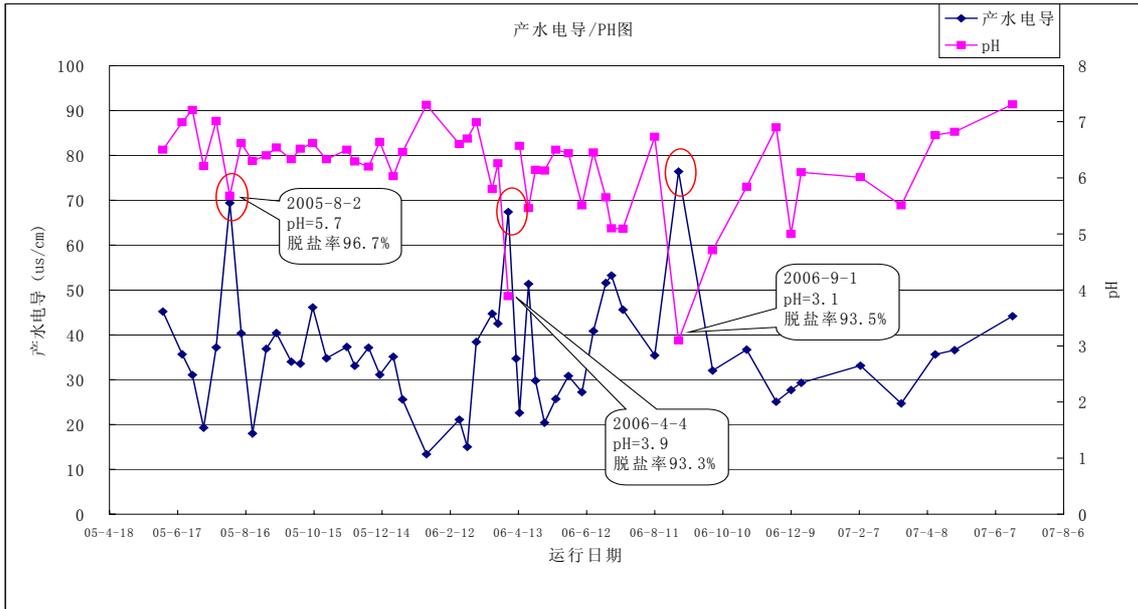


图 5 PH 值与产水电导变化图

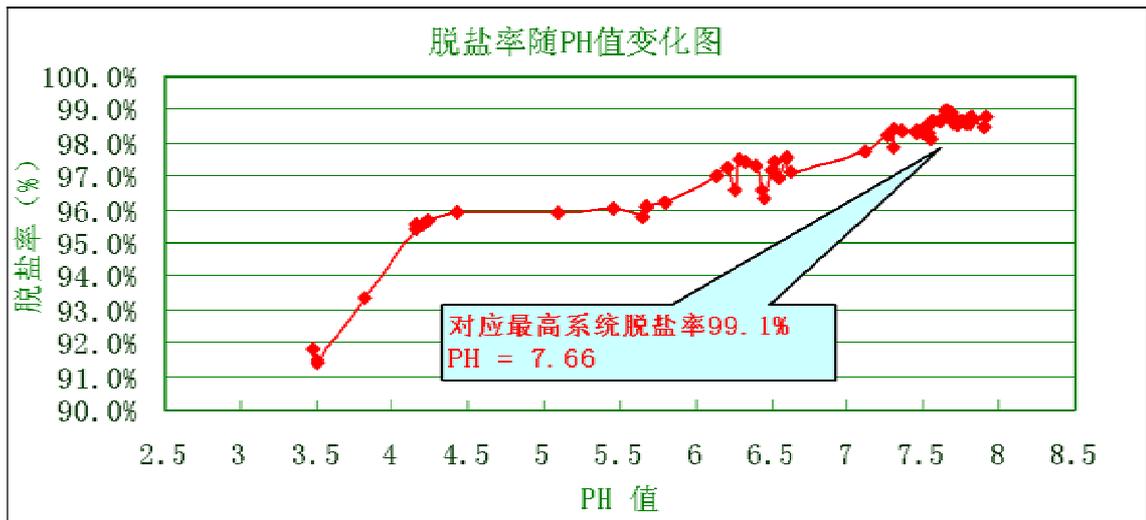


图 6 PH 变化对脱盐率的影响

#### 4、结论和展望

华能沁北电厂的双膜法系统长期稳定运行的关键有三点 1)、预处理工艺选择合适；2)、抗污染膜元件选型合理；3) 运行管理维护得当。该项目的成功应用为其它循环冷却排污水的回用处理提供了良好的示范作用，在电力行业得到了广泛的推广和认可。目前，其它工业循环冷却水取水大户，如钢铁、石化、造纸等行业，也在逐步推行类似的循环冷却水回用的节水减排的系统。