



反渗透膜污染原因分析及清洗技术在电厂的应用

顿小宝¹, 郑 勃², 郭云飞¹, 杨 敏², 鲁 浩¹

(1. 西安热工研究院有限公司, 陕西西安 710054;

2. 华能新疆吉木萨尔发电有限公司, 新疆昌吉 831000)

[摘要] 反渗透膜污染常见于电厂锅炉补给水处理系统。针对某电厂2套反渗透装置发生的污堵, 分析了污堵情况, 体现在一段压差增大和流量下降; 利用探针试验和化学测定的方法确定了污染物类型, 主要为微生物污染、金属氧化物和胶体污染, 并分析了污染原因。采用非氧化性杀菌剂清洗和碱洗相结合的清洗方法, 对反渗透膜进行了化学清洗。详细描述了清洗流程及工艺控制要点, 对清洗前后数据进行分析, 清洗后一段压差下降至清洗前的50%, 恢复至0.08~0.11 MPa, 进水流量和产水流量分别提高了26%和27.5%, 达到了理想的清洗效果。

[关键词] 反渗透膜污染; 化学清洗; 微生物; 胶体

[中图分类号] X703.1 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1005-829X(2022)02-0187-04

Analysis of reverse osmosis membrane fouling and application of cleaning technology in power plants

DUN Xiaobao¹, ZHENG Bo², GUO Yunfei¹, YANG Min², LU Hao¹

(1. Xi'an Thermal Power Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710054, China;

2. Huaneng Xinjiang Jimusaer Power Generation Co., Ltd., Changji 831000, China)

Abstract: Reverse osmosis membrane pollution is common in power plant boiler feed water treatment systems. In view of the fouling of two sets of reverse osmosis devices in a power plant, the fouling situation was described, which was reflected in the increase of pressure difference and the decrease of flow rate. The probe test and chemical measurement methods were used to determine the types of pollutants, mainly including microbial pollution, metal oxide and colloid pollution. Furthermore, the cause of the pollution was analyzed. A chemical cleaning method that combined non-oxidizing bactericide cleaning and alkaline cleaning was used to clean the reverse osmosis membrane. The cleaning process and control points were described in detail. The data before and after cleaning were analyzed. After cleaning, the pressure difference dropped to 50% of that before cleaning and returned to 0.08~0.11 MPa. The inlet and product water flow increased by 26% and 27.5% respectively, achieving the ideal cleaning effect.

Key words: reverse osmosis membrane pollution; chemical cleaning; microorganism; colloid

反渗透膜污染常见于电厂锅炉补给水处理系统。反渗透膜的污染物类型多种多样, 常见的包括微生物污染、有机物污染、胶体污染和无机盐污染。微生物通过形成生物膜, 使反渗透膜进水压力、运行压差增大, 且繁殖迅速, 增加了清洗的难度^[1]; 溶解于水中的有机物较易通过微滤或超滤系统, 若未设置活性炭吸附工艺, 极易进入反渗透系统, 引起反渗透系统性能的下降; 胶体可导致淤泥密度指数(SDI)超标, 同时引起系统压差增大、产水量降低等。有机

物污染、胶体污染和微生物污染的去除方法类似, 可通过碱洗去除。无机盐污染是最常见的污染类型, 主要受离子浓度、pH、温度、盐类组分等因素的影响, 通常是由于操作不当或阻垢剂投加不正确引起, 容易导致反渗透膜结垢, 可通过酸洗去除。4种污染物类型在反渗透系统中具有一定的分布特征, 有机物污染、胶体污染一般在第一段最为严重, 微生物污染分布在各段, 无机盐污染在末段最为严重。

反渗透系统常见的清洗方法包括物理清洗和化

学清洗。物理清洗是利用大流量高流速的清水冲刷反渗透膜表面,将污染物带走,并缓解浓差极化现象^[2]。物理冲洗对较为严重的膜污染效果较差,因此需要通过化学清洗以达到较为理想的清洗效果。化学清洗采用的清洗药品主要有酸性清洗剂、碱性清洗剂、生物酶清洗剂,还可以根据具体的污染情况调整药品种类,如通过将氨水加入酸性清洗液中从而避免单一酸性清洗液形成难溶性亚铁柠檬酸盐的问题;将EDTA加入碱性清洗液中从而更有效地去除硫酸盐垢、有机物和胶体。

本研究针对某电厂反渗透系统所产生的污堵,描述了污堵情况,确定了污染物类型,分析了污染原因,确定了杀菌剂清洗加碱洗的化学清洗方案。对反渗透进行了化学清洗,达到了理想的清洗效果。

1 工艺流程及污堵情况描述

1.1 锅炉补给水处理系统工艺流程

电厂锅炉补给水处理系统水源为水库水,采用生水加热、过滤、膜法预脱盐和离子交换对其进行深度除盐处理,其中包括2套处理量110 m³/h的反渗透装置,工艺流程见图1。

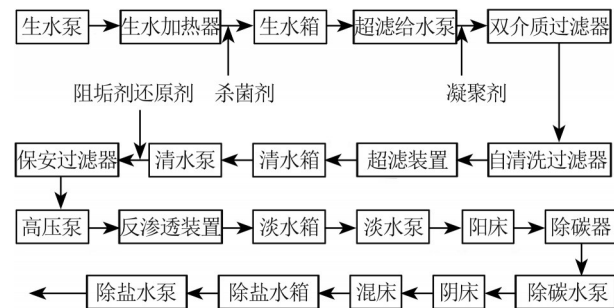


图1 锅炉补给水处理系统工艺流程

Fig. 1 Process flow of boiler feed water treatment system

系统运行初期反渗透装置保持着良好的运行状态,反渗透进水水质见表1。

表1 反渗透系统进水水质

Table 1 Influent water quality of reverse osmosis system

序号	温度/℃	pH	ORP/mV	电导率/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	SDI
1	24.9	9.77	126.14	341.73	1.7
2	25.2	9.63	159.63	345.87	1.9
3	24.3	9.70	144.72	339.54	1.9
4	24.4	9.53	163.81	339.15	2.1
5	24.8	9.58	186.39	342.06	1.8

投运初期,反渗透装置进水压力、跨膜压差均较为稳定。随着时间的延长和制水量的累积,反渗透系统的运行指标出现了一定下降,主要表现在反渗透进水压力稍有上涨,段间压力增长较大,进水流量有所降低,从而产水流量下降。

1.2 污堵情况描述

对膜元件进行探针测试,即将一根塑料管伸入膜组件的产水中心管内,对产水电导率的分布进行检测。结果表明,2套反渗透膜元件内产水水质分布均匀,可以排除机械损伤或化学损伤的可能^[3]。为了准确分析判断反渗透膜污堵情况,对膜元件进行拆卸,打开反渗透膜壳的端盖板,能够清楚地观察到反渗透膜组件端面上有深褐色胶状物,滴加氢氧化钠溶液,胶状物变碎溶解。拆卸过程中能够闻到较大的腥臭味,膜组件和膜壳内壁较为光滑。通过测定反渗透产水和浓水的细菌总数,发现细菌总数偏高,结合运行数据记录中SDI通常偏高甚至有超过标准值的记录,推断反渗透膜存在微生物污染^[4]。取胶体物质进行酸溶解试验,发现有明显的黄色物质溶出,推断存在金属氧化物污染。考虑到反渗透膜组件的无机盐结垢一般发生在二段,将反渗透装置二段的最后一支膜拆卸并观察称重,发现无明显增重和污染物附着。因此,初步推断反渗透膜组件污堵主要由微生物腐殖质、金属氧化物和胶体污染引起,且发生在反渗透装置一段入口处。

1.3 污堵原因分析

锅炉补给水处理系统水源为水库水,水中有机物、微生物含量较高,冬季来水有低温低浊的特点,预处理设备处理效果下降。来水水质波动较大,虽然投加杀菌剂,但对余氯监测不到位,杀菌效果不理想。工艺流程中无活性炭吸附,对有机物的处理效果一般。电厂输水管网为碳钢材质,易产生金属氧化物污染。

2 清洗方案及清洗效果

2.1 清洗方案

根据膜污染的特点,结合厂家清洗建议,综合考虑经济性和安全性,决定采用杀菌剂清洗+碱洗的化学清洗方案,以去除微生物污染和胶体污堵,金属氧化物污染可在下个清洗周期采用酸洗的方式去除。化学清洗前先进行反渗透冲洗。

反渗透冲洗:利用冲洗水泵对反渗透系统进行冲洗,将反渗透内部的存水全部置换,冲洗完成后进入化学清洗步骤:杀菌剂清洗和碱洗。

反渗透清洗流程见图2。

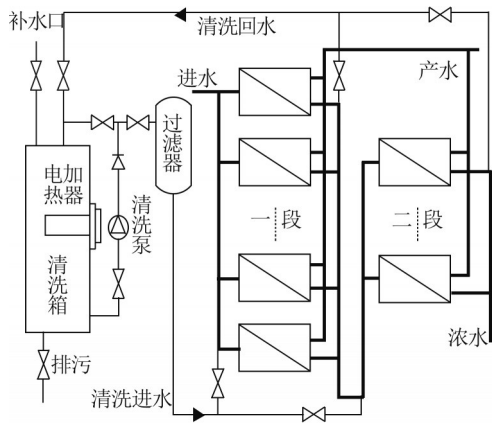


图2 反渗透清洗流程

Fig. 2 Cleaning flow of reverse osmosis

杀菌剂清洗:采用PWT公司生产的非氧化性杀菌剂(BioGuard ACS)对反渗透系统进行循环清洗。在清洗箱内配制质量浓度为1 500 mg/L的杀菌剂清洗液,在清洗泵与清洗箱间循环使药液充分混合。打开反渗透二段清洗回水阀、反渗透一段清洗进水阀,关闭清洗泵再循环阀,对反渗透一段、二段进行串联清洗。控制清洗流量为额定流量110 m³/h,清洗泵出口压力<0.3 MPa,清洗温度为常温,清洗时间为2~3 h。清洗完成后,利用冲洗水泵将反渗透系统中的清洗液冲洗干净。

碱洗:利用碱洗药品(Lavaso7)对反渗透进行循环清洗,配制质量分数为2%的碱洗液,循环充分混合后进行串联清洗。控制清洗液流量、出口压力不变,温度调整至33~35℃,循环清洗4~6 h。清洗完成后利用冲洗水泵将清洗液冲洗干净。

清洗过程中必须控制好以下要点:应以高流速、低压力的方式进行清洗,流速控制在正常流速的1.2倍以内,进水压力控制在<0.4 MPa^[5]。清洗液的流动方向与正常运行时应一致,避免反渗透膜出现“望远镜现象”^[6]。

2.2 清洗效果

按照上述清洗方案,对该电厂锅炉补给水处理系统#1、#2两套反渗透装置进行了化学清洗,反渗透清洗记录及清洗前后的运行数据见表2和表3。

表2 反渗透清洗记录

Table 2 Reverse osmosis cleaning record

项目	时间	流量/(m ³ ·h ⁻¹)	压力/MPa	温度/℃	pH
#1 反渗透	12:55	110.0	0.25	31	中性
	14:05	110.0	0.35	33	中性
	14:35	110.0	0.30	37	12.0
	17:05	105.0	0.27	37.3	11.7
	19:00	111.0	0.27	36.3	11.8
	20:00	111.0	0.27	37.4	11.7
#2 反渗透	18:00	88.0	0.30	25.1	中性
	19:00	92.5	0.30	30.6	中性
	20:00	92.8	0.30	35.0	12.0
	21:00	92.0	0.33	40.0	12.0
	22:00	109.0	0.28	36.6	11.7
	23:00	106.6	0.25	38.4	11.6
	24:00	104.8	0.24	37.7	11.5

表3 清洗前后反渗透运行数据

Table 3 Reverse osmosis operation data before and after cleaning

项目	进水流量/(m ³ ·h ⁻¹)	进水压力/MPa	段间压力/MPa	浓水压力/MPa	产水压力/MPa	产水流量/(m ³ ·h ⁻¹)
#1 清洗前	69.0	0.86	0.71	0.68	0.08	49.7
	74.7	0.88	0.66	0.62	0.08	53.9
	82.1	0.88	0.68	0.65	0.08	60.8
#1 清洗后	89.8	0.76	0.65	0.61	0.08	65.7
	94.4	0.82	0.74	0.70	0.08	70.4
	100.1	0.92	0.83	0.78	0.08	75.0
#2 清洗前	96.7	0.85	0.66	0.63	0.08	72.2
	91.3	0.84	0.64	0.60	0.08	69.3
	85.5	0.82	0.63	0.59	0.08	66.8
#2 清洗后	92.9	0.81	0.69	0.63	0.08	69.1
	103.7	0.93	0.83	0.80	0.08	75.7
	98.9	0.88	0.76	0.71	0.08	72.4

由表3的#1反渗透清洗数据可以看出,清洗前,反渗透进水流量最高仅82.1 m³/h,较设计值110 m³/h下降了约25%,产水流量同样较设计值82.5 m³/h下降明显。在较高进水流量工况下运行时,一段压差高达0.2 MPa,较标准值0.1 MPa上升了100%;即使运行在较低流量工况下(69.0 m³/h),压差也达到0.15 MPa,可见一段污堵较为严重;而二段压差基本保持在0.03~0.04 MPa,属正常范围。清洗后一段压差恢复至0.08~0.11 MPa,进水流量和产水流量同样恢复明显,分别平均提高约26%和27.5%。#2反渗透清洗数据同样符合以上规律。清洗过程中清洗液颜色呈褐绿色,印证了反渗透膜组件存在微生物污染和胶体污染。

3 结论

通过探针试验和化学测试的方法,确定了膜元

件污染物的类型为微生物污染、金属氧化物和胶体污染。并对运行工况进行了分析,得出了包括水源污染物含量高、水质波动大导致杀菌效果不理想、污染物处理效果一般等在内的污堵原因。

采用了非氧化性杀菌剂清洗和碱洗相结合的化学清洗方案对反渗透进行清洗,清洗后一段压差下降至清洗前的50%,进水和产水流量分别提高约26%和27.5%,清洗效果显著。该电厂反渗透膜的污堵情况具有一定的代表性,本研究过程中污染物的分析方法、清洗方案的设计对类似系统污堵问题的解决具有一定的指导意义。

参考文献

- [1] 张子潇. 不同清洗条件下反渗透系统清洗效果的对比分析[J]. 给水排水, 2017, 53(S1): 30-33.
- ZHANG Zixiao. Comparative analysis of the cleaning effect of reverse osmosis system under different cleaning conditions[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 53(S1): 30-33.
- [2] 何灿, 海玉琰, 马瑞, 等. 反渗透膜污染及清洗技术应用[J]. 石化技术, 2019, 26(9): 93-95.
- HE Can, HAI Yuyan, MA Rui, et al. Reverse osmosis membrane fouling and application of cleaning technology [J]. Petrochemical

Industry Technology, 2019, 26(9): 93-95.

- [3] 李亚娟, 贺峰, 王正江, 等. 反渗透膜污堵原因分析及解决措施[J]. 工业水处理, 2016, 36(2): 103-105.
- LI Yajuan, HE Feng, WANG Zhengjiang. Analysis and solutions of reverse osmosis membrane pollution and blockage [J]. Industrial Water Treatment, 2016, 36(2): 103-105.
- [4] 肖雄, 虞涛, 石全成, 等. 电厂反渗透系统污堵及清洗研究[J]. 清洗世界, 2020, 36(8): 18.
- XIAO Xiong, YU Tao, SHI Quancheng, et al. Research on fouling and cleaning of reverse osmosis system in power plant [J]. Cleaning World, 2020, 36(8): 18.
- [5] 邢朝政. 反渗透膜的化学清洗工艺研究[J]. 清洗世界, 2016, 32(8): 5-9.
- XING Chaozheng. Research on chemical cleaning process of reverse osmosis membrane [J]. Cleaning World, 2016, 32(8): 5-9.
- [6] 马永彬. 反渗透系统化学清洗的控制与调整[J]. 资源节约与环保, 2019(1): 105.
- MA Yongbin. Control and adjustment of chemical cleaning of reverse osmosis system [J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2019(1): 105.

[作者简介] 顿小宝(1988—), 硕士, 高级工程师。电话: 18682906870, E-mail: dunxiaobao@tpri.com.cn。

[收稿日期] 2021-12-06(修改稿)

·水处理知识讲座·

工业水处理使用的膜有哪些类型?

工业水处理采用的膜分离技术主要有反渗透(RO)、超滤(UF)和电渗析(ED)3种。以反渗透的应用最为广泛。

反渗透膜主要有纤维素和非纤维素2类。其中纤维素膜有醋酸纤维素、三醋酸纤维素等;非纤维素膜主要是芳香族聚酰胺膜。反渗透使用的都是半透膜,只对水具有选择性的高度渗透性,而对水中大部分溶质的渗透性很低。反渗透膜在使用时要制成组件式装置,其型式有涡卷式、管式、板框式、中空纤维式和条束式等。膜厚为几个 μm 至0.1 mm左右。

超滤膜与反渗透膜都是不具备离子交换性质的中性膜,属于压力推动的滤膜。两膜基本相似,主要有醋酸纤维素和非纤维素聚合物膜,组件装置可以做成涡卷式、管式和板式等。

超滤膜和反渗透膜中的纤维素膜有:①超薄式膜(非对称性构造的醋酸纤维素膜),如0.06~0.3 μm 二乙酰纤维素膜;②复合膜:

如硝酸纤维素和醋酸纤维素复合为0.1 μm 三乙酰纤维素膜;③混合膜:将二乙酰和三乙酰纤维素混合制膜;④中空纤维膜:做成内径24~30 μm ,外径45~65 μm 的中空纤维管式。

超滤膜和反渗透膜中的非纤维素膜有:①芳香族聚酰胺中空纤维素膜(最初是以尼龙66作纤维素,后改为芳香族酰胺);②带电膜,如磺化2,6-二甲基苯基醚离子膜;③聚咪唑并吡喃酮膜;④聚间二氮茛膜;⑤玻璃膜,如 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 制成中空纤维膜;⑥动态膜。

电渗析膜是离子交换膜,为电力推动式滤膜。主要有异相膜、均相膜和半均相膜3种类型。电渗析的组件装置有压滤式和水槽式2类。其中压滤式又有垂直型和水平型2种。

(摘自《工业水处理技术问答及常用数据》)