

陶瓷超滤膜在燃煤电厂循环排污水回用的中试研究

杨其涛¹, 李新望², 彭康明²

(1. 华电滕州新源热电有限公司, 山东 枣庄 277500, 2. 纳诺斯通水务技术(上海)有限公司, 上海 200041)

摘要:循环排污水是燃煤电厂外排废水的主要来源,其回用工艺及设备一直是近年来电厂废水零排放研究的热点。针对华电滕州新源热电有限公司循环冷却排污水,采用软化澄清池和陶瓷超滤设备,在特定运行参数和条件下开展中间性试验。连续运行数据表明,采用陶瓷超滤膜设备处理经软化澄清后的冷却塔排污水,可在 $260\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 的通量下稳定运行,每次维护性化学清洗约需 12 h,超滤产水浊度稳定小于 0.2 NTU ,淤泥密度指数小于 3,出水完全满足反渗透进水要求,运行通量、运行稳定性和水质处理效果良好。

关键词:燃煤电厂;循环排污水;陶瓷超滤膜;超滤;运行通量

中图分类号:TM 621.8

文献标志码:A

文章编号:1674-1951(2018)09-0015-03

1 研究背景和意义

水是人类生活和生产中不可缺少的物质资源,我国水资源的匮乏已经成为制约经济和社会发展的的重要因素,为了保护水资源和水环境,国家相继颁布了水污染防治行动计划、“十三五”水资源消耗总量和强度双控行动方案、全民节水行动计划^[1]。

燃煤电厂作为用水、排水大户,其用水量占工业用水量的 30%~40%,从经济运行和保护水环境角度出发,节约发电用水,提高水的重复利用率,实现燃煤电厂废水零排放意义重大。燃煤电厂产生的废水主要有循环水排污水、工业废水、生活污水、含煤废水、含油废水、脱硫废水等,主要污染物为悬浮物、有机物、重金属、盐类等^[2]。其中循环水排污水因水量大、水质较复杂,是实现燃煤电厂废水零排放的重点和难点之一。对循环水进行预处理以及添加高性能缓蚀剂、阻垢剂等化学品能提高循环倍率,但多数电厂循环水采用城市中水,循环冷却水的浓缩倍率一般控制在 3~5^[3],因此,占循环冷却水补水量 20%~40% 的循环排污水,则不可避免地成为一股含盐量高、硬度高、有机物及悬浮物含量高,且水质、水温波动范围大的废水,对实现电厂外排废水“零排放”提出了新的技术挑战。

以反渗透技术为核心的膜法处理技术在废水回用及浓缩领域已经成为主流,为了满足反渗透系统苛刻的进水条件,需要采用超滤工艺对反渗透进水进行处理,因此,超滤工艺的运行效果是整个“零排

放”工艺能否实现的关键^[4-6]。

相比有机超滤膜,陶瓷超滤膜良好的化学稳定性、较高的温度耐受性、较高的机械强度和高通量成为显著优势^[7]。因此,对陶瓷超滤膜处理回用中水(废水)进行中间性试验(以下简称中试),既具备理论基础,又具有现实意义。

2 中试项目介绍

2.1 项目场所及水质

华电滕州新源热电有限公司采用污水处理厂中水和部分地表水混合作为机组循环水的补充水,中水水质符合 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准,地表水水质符合三类水水质标准;中水和地表水混合后不经任何预处理直接进入冷却塔进行循环浓缩,循环浓缩倍率控制在 3~5,循环水中还投加有必需的杀菌剂、缓蚀剂和阻垢剂。排污水水质见表 1。

表 1 排污水水质

项目	单位	最小值	最大值	平均值
温度	℃	20	36	28
pH 值		6.8	8.9	8.5
浊度	NTU	9	22	13
电导率	$\mu\text{S}/\text{cm}$	3 000	4 500	3 500
总硬度	mg/L	850	1 100	1 033
总碱度	mmol/L	3.5	6.0	4.6
氯离子质量浓度	mg/L	230	450	350
化学需氧量	mg/L	40	90	55

2.2 项目工艺

由于循环排污水硬度、浊度较高,因此在进入超滤系统之前,需要进行软化澄清处理^[8],此次中试工艺为:循环水补水→冷却塔→循环排污水→软化澄清池→陶瓷超滤装置。

2.3 中试装置

中试装置包含一套软化澄清池以及一套陶瓷膜超滤中试设备,其中软化澄清采用处理量为 1 t/h 的高效澄清池,包括反应区、混凝区、沉淀区以及配套的加药系统。

陶瓷膜超滤中试设备包括原水箱、原水泵、陶瓷超滤膜、产水箱、反洗水泵、化学加强反洗药箱及加药泵,装置采用可编程控制器(PLC)自动控制。

3 陶瓷超滤膜介绍

此次中试采用的超滤膜元件为德国原装进口的第三代大面积块片式陶瓷超滤膜,陶瓷超滤膜与传统中空纤维超滤膜的特性对比见表 2。由表 2 可知:陶瓷超滤膜具有更好的亲水性以及过滤通量,其耐受温度范围、耐油性、耐压性、耐化学清洗性均显著优于传统的有机中空纤维超滤膜;同时,陶瓷膜生产工艺与有机中空纤维超滤膜不同,过滤孔径呈狭窄集中的正态分布,过滤层与支撑层结合紧密,因此其理论过滤精度高,出水水质佳。

表 2 陶瓷超滤膜与中空纤维超滤膜特性对比

项目	陶瓷超滤膜	中空纤维超滤膜
断丝率	无断丝	0.5%(使用 3 年后)
使用寿命/a	10~15	3~5
运行通量/ [L·(m ² ·h) ⁻¹]	100~500	40~120
孔径/μm	0.03	0.03
膜面积/m ²	24.3	38.0~81.0
系统回收率/%	>92	>90
运行温度/℃	<50	<40
操作压力/MPa	<0.7	<0.5
亲水性	好	较好
化学稳定性	超强	强
耐油性	强	差
安装方式	立式	
运行方式	错流/全流过滤	
反洗方式	水反洗/化学加强反洗	

4 中试加药方案及运行参数

对电厂 #4 冷却塔排污水采用双碱法进行软化预处理,再进入陶瓷超滤系统。经软化澄清处理后

的水质见表 3。

表 3 软化澄清池出水水质

项目	单位	数值
pH 值		6.8~8.9
浊度	NTU	<1
电导率	μS/cm	3 500
化学需氧量	mg/L	50
总硬度	mg/L	350
钙硬度	mg/L	80
总碱度	mmol/L	2.8
氯离子质量浓度	mg/L	181.00
硫酸根质量浓度	mg/L	578.48

陶瓷超滤膜中试设备采用集装箱式一体化试验装置,陶瓷超滤膜元件的膜面积为 3 m²,过滤精度为 30 nm,过滤周期为 30 min,运行通量为 180~300 L/(m²·h),反洗通量为 300 L/(m²·h)。

5 试验数据

5.1 软化澄清池运行效果

软化澄清池进、出水浊度和硬度分别如图 1、图 2 所示。根据图 1 和图 2 数据:循环排污水硬度相对稳定,在 1 000~1 100 mg/L 之间;但 pH 值和浊度则波动很大,pH 值在 6.8~8.9 之间呈现不规则变化,均值为 8.5 左右,浊度则在 9~22 NTU 之间呈现无规律的波动。

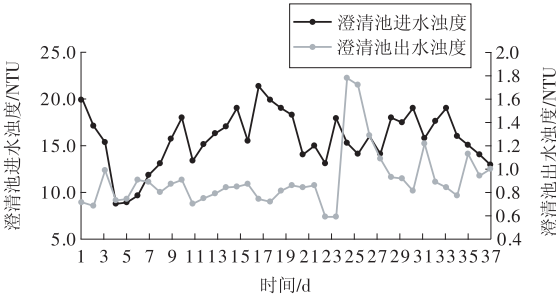


图 1 软化澄清池进、出水浊度

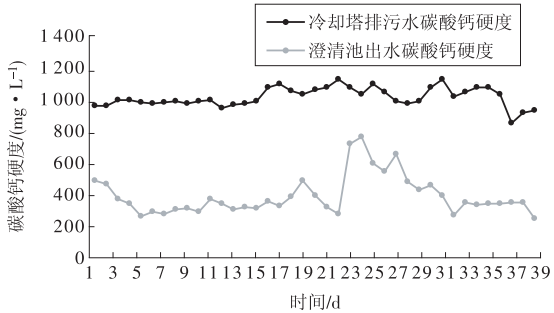


图 2 软化澄清池进、出水硬度

中试第 1~24 天,采用氢氧化钠+碳酸钠双碱作为软化药剂,此阶段澄清池出水浊度基本稳定在 0.7~1.0 NTU,出水硬度稳定在 350 mg/L 左右。第

25 天后,改为石灰 - 纯碱作为软化药剂,由于石灰与排污水中的缓释阻垢剂相互作用,使得软化澄清池出水浊度及硬度都产生了较大波动,出水浊度上升至 0.8 ~ 1.8 NTU,出水硬度则上升至 350 ~ 800 mg/L。

5.2 陶瓷超滤系统运行效果

采用双碱法运行澄清池(如图 3 所示),陶瓷超滤每 24 h 进行 1 次碱性条件次氯酸钠维护性清洗,每 24 h 进行 1 次盐酸维护性清洗。在 24 d 的运行期内,逐渐将运行通量由 183 L/(m² · h) 上升到 260 L/(m² · h),再上升至 300 L/(m² · h),过膜压差在 0.05 ~ 0.08 MPa 之间呈现周期性变化,总体平稳,并没有上升的趋势,证明陶瓷膜可以稳定运行。

采用石灰 - 纯碱法运行澄清池(如图 4 所示),

陶瓷超滤每 24 h 进行 1 次次氯酸钠维护性清洗,每 24 h 进行 1 次盐酸维护性清洗。在 14 d 的中试期间,由于澄清池出水浊度波动较大且在数个时间段内出水硬度过高,进行维护性化学加强反洗时产水生成沉淀物,清洗效果差,过膜压差上升速度较快并多次超过 0.1 MPa。但在调整好软化澄清池处理效果后,陶瓷超滤系统依旧可以稳定运行。

试验期间无需进行原地清洗(CIP),因此该项目 CIP 周期大于 1 个月。

陶瓷膜产水浊度和淤泥密度指数(SDI)都非常稳定,SDI 平均值为 1.9,产水浊度稳定在 0.05 NTU 左右,不超过 0.10 NTU(如图 5 所示),完全满足后续反渗透系统的进水要求。

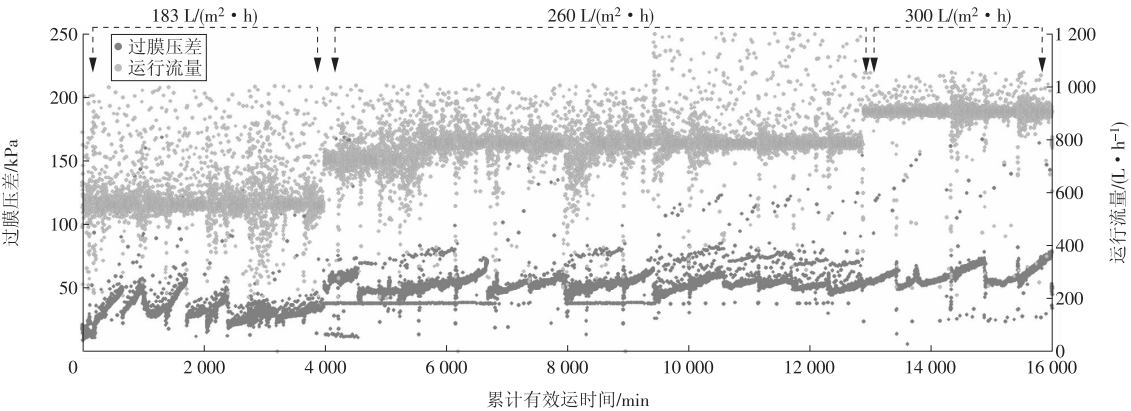


图 3 双碱法过膜压差及运行通量

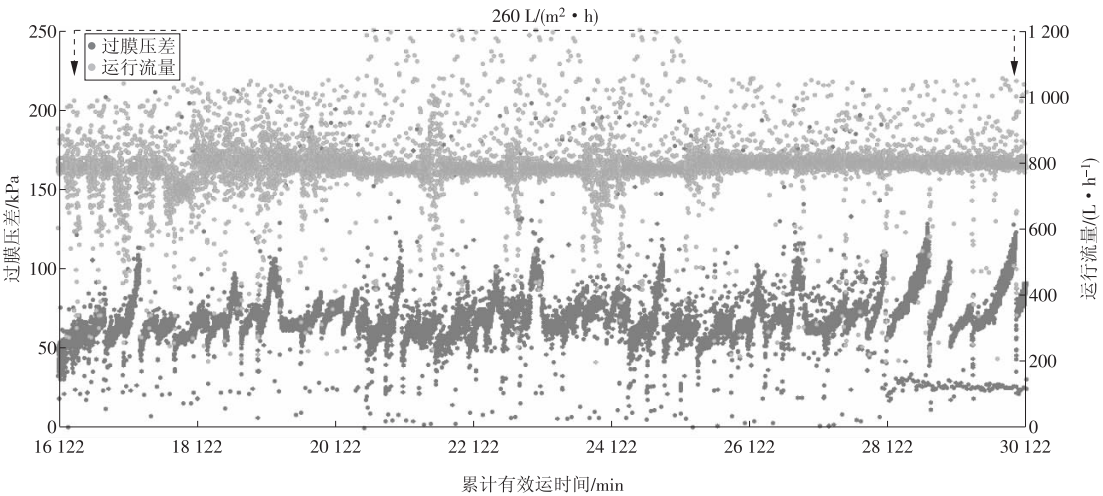


图 4 石灰纯碱法过膜压差及运行通量

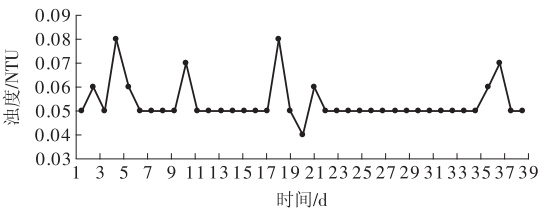


图 5 陶瓷超滤膜产水浊度

6 结论

此次中试过程中,陶瓷膜超滤膜处理软化澄清后的冷却塔排污水运行通量可稳定在 260 L/(m² · h) 左右,系统回收率 > 92%,陶瓷膜超滤产水浊度小于 0.2 NTU,SDI 小于 3,完全符合后续反渗透系统的进水要求。陶瓷膜每次维护性清洗持(下转第 31 页)

的测点都会出现异常,可能导致保护停机信号误发,严重影响机组的安全,不符合《防止电力生产重大事故的二十五项重点要求》的相关条款要求。

4 改进措施

(1)利用机组停机检修的机会,在小机 TSI 机柜内安装 2 块稳定性较好的 SIEMENS SITOP 电源模块,替代原来的 4 块 UES815 模块,柜内电源线路的布置及电源分配遵循原设计原则,如图 1 所示。从图 1 可以看出,每块直流 24 V 电源模块都能分别给 A 小机和 B 小机 TSI 系统机架供电,确保任意一路 24 V 电源模块失电后,不会导致系统失电,保证了小机 TSI 供电系统和各卡件的安全运行。

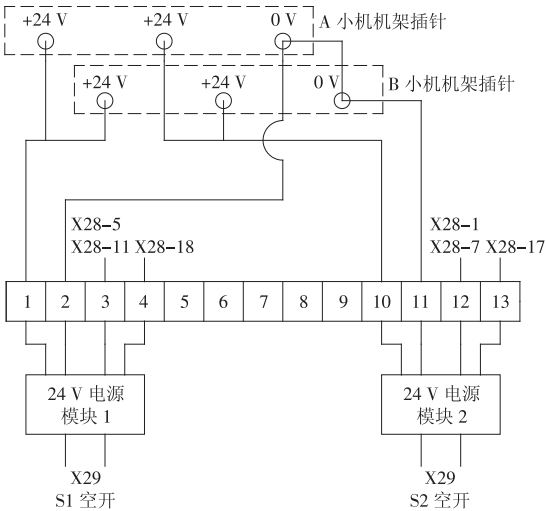


图 1 小机 TSI 系统电源接线

Epro 公司建议更换的电源模块是艾默生的 OVATION 电源,2 个电源模块共需要 15 余万元。芜湖发电公司通过自己绘制电源电路图,在确保安全可靠的前提下,使用更加便宜但性能非常稳定的

(上接第 17 页)续时间为 12 h,且中试的一个月内未进行恢复性化学清洗。中试结果表明,陶瓷膜具有较高的运行通量、良好的运行稳定性和水质处理效果。

参考文献:

[1]周艳娟,闻学宇. 火力发电厂废水处理与回用的研究[J]. 中小企业管理与科技(下旬刊),2011(7):217-218.

[2]李奕. 火电企业废水排放与治理研究[J]. 华北电力技术,2017(8):65-70.

[3]许立国,沈竞为,张怀军. 城市中水回用于电厂循环水的技术方案选择[J]. 山东电力技术,2004(4):10-14.

[4]刘万兵. 超滤、反渗透在循环冷却塔排污水处理中的应用[J]. 广东化工,2014,41(14):163-164.

[5]黄刚华,王月,张强,等. 中水回用对循环冷却水系统影

SIEMENS SITOP 电源模块,每块电源模块仅需约 4 000 元,共计节约费用 14 余万元。

(2)根据每次机组大、小修时 TSI 振动传感器检定校验的情况,将灵敏度较差、中间 Lemo 接头松动、延长线屏蔽层破损的传感器改为无中间接头的传感器。这种传感器不但无中间接头,而且延长线末端为裸线方式,配合 CON031 前置器使用。通过这种改变,可以避免因中间接头松动或屏蔽层断裂引起的故障,并且可以防止因多次插拔而引起前置器损坏。

(3)利用停机机会,通过更改 I/O 通道和增加端子板的方式,将 A、B 小机原来布置在一块或两块端子板上的振动测点交叉分布在 4 块端子板上,避免“将鸡蛋放在同一个篮子里”,做到了重要保护测点的风险分散。

5 结束语

随着火电机组可靠性和安全性要求的不断提高,热控人员需要能及时发现故障、有效应对故障并提前预判故障。本文通过分析 TSI 系统设备中存在的问题,提出了应对方案,解决了 TSI 直流电源模块过热以及振动传感器延长线插头接触不良的问题,并预判了小机振动信号集中布置在同一块端子板上容易引起保护误动的隐患,提高了 TSI 系统设备运行的可靠性。

(本文责编:刘芳)

作者简介:

刘强(1978—),男,山东高密人,工程师,从事电厂热控技术工作(E-mail:xiaoac@126.com)。

响研究进展[J]. 水处理技术,2016,42(2):15-18,33.

[6]赵荧. 全膜法水处理工艺在火力发电厂循环水排污水回用方面的应用[J]. 电力设备,2006,7(8):78-80.

[7]MASSON M,DEANS G. Membrane filtration and reverse osmosis purification of sewage: Secondary effluent for re-use at Eraring Power Station[J]. Desalination, 1996, 106(1): 11-15.

[8]汪岚,孙灏,张利权,等. 火电厂循环水零排放工艺路线及可行性分析[J]. 水处理技术,2015,41(6):125-128.

(本文责编:刘芳)

作者简介:

杨其涛(1975—),男,山东滕州人,工程师,从事电厂化学技术管理及科技管理工作(E-mail:1257782895@qq.com)。