



电厂反渗透浓水回用工程实例

倪亭亭¹, 王云钟¹, 吴永明², 邓 觅², 梁培瑜²

(1. 青岛海检节能环保有限公司, 山东青岛 266235;

2. 江西省科学院, 江西南昌 330096)

[摘要] 某热电厂化水处理车间采用“反渗透系统+混合离子交换器”工艺制取除盐水, 每年产生约 30 万 t 反渗透浓水。这些反渗透浓水具有较高的回收价值, 该厂采用电驱动膜工艺对其进行脱盐处理。对反渗透浓水处理的具体工艺流程、工艺参数及运行效果进行了介绍。运行结果表明, 该工艺对反渗透浓水的回收率达 88%, 脱盐率达 85%, 产水电导率低于 370 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 产水无需经过换热器加热可直接作为反渗透进水, 年节约自来水 264 420 m^3 , 年节约蒸汽能 11 105 GJ。电费和药剂费合计 1.51 元/ m^3 。

[关键词] 反渗透浓水; 电驱动膜分离技术; 脱盐; 产水率

[中图分类号] X703 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1005-829X(2022)03-0182-04

Project case of reverse osmosis concentrated water reuse in power plant

NI Tingting¹, WANG Yunzhong¹, WU Yongming², DENG Mi², LIANG Peiyu²

(1. Qingdao Haijian Energy Conservation and Environmental Protection Co., Ltd., Qingdao 266235, China;

2. Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330096, China)

Abstract: The chemical water treatment workshop of a thermal power plant adopts the process of “reverse osmosis system+mixed ion exchanger” to produce desalted water, which produces about 300 000 tons of reverse osmosis concentrated water every year. This reverse osmosis concentrated water has high recovery value and the electric drive membrane process is used for desalination treatment. The specific process flow, process parameters and operation effect were introduced. The operating results showed that the recovery rate of reverse osmosis concentrated water and the desalination rate was 88% and 85%. The conductivity of produced water was lower than 370 $\mu\text{S}/\text{cm}$, which could be directly used as reverse osmosis water inlet without being heated by a heat exchanger. The annual saving of tap water was 264 420 m^3 , the annual saving of steam energy was 11 105 GJ, and the total cost of electricity and medicine was 1.51 $\text{¥}/\text{m}^3$.

Key words: reverse osmosis concentrated water; electrodialysis reversal; desalination; water production rate

反渗透技术广泛应用于电力行业化水处理, 其在制取除盐水的同时对水中杂质进行高度浓缩,

[基金项目] 江西省重点研发计划项目(20192BBGL70045, 20202BBGL73082); 江西省中央引导地方科技发展专项资金项目(20192ZDD01001); 江西省科学院项目(2018-YYB-21, 2018-XTPH1-21, 2020-YZD-25)

[2] 张岩. 制药废水处理技术研究进展[J]. 工业水处理, 2018, 38(5): 5-9.
ZHANG Yan. Research progress in the treatment technologies of pharmaceutical wastewater[J]. Industrial Water Treatment, 2018, 38(5): 5-9.

[3] 王文标. 填料对 HBF 工艺处理生活污水的影响及其机制[J]. 净水技术, 2018, 37(8): 16-24.

WANG Wenbiao. Effect and mechanism of filler on domestic sewage treatment performance by HBF process[J]. Water Purification Technology, 2018, 37(8): 16-24.

[作者简介] 段西兵(1984—), 中级工程师。E-mail: duanxb@honest.cn。

[收稿日期] 2021-12-09(修改稿)

使之随大量浓水排出^[1]。反渗透浓水具有含盐量高、易结垢、悬浮固体含量小(低于自来水中SS含量)、水温高等特点,有较高的回收价值,若不予回收利用,不仅造成水资源极大浪费,更会对环境造成不利影响^[2]。针对反渗透浓水处理,诸多学者开展了相关研究^[3-5]。研究表明,对其回用处理技术的选取主要考虑的因素是脱盐率和产水率。电驱动膜(Electrodialysis Reversal, EDR)工艺具有耗电量低、无环境污染、装置设计灵活等优点^[6],其脱盐率和产水率分别为30%~99%和65%~90%,可通过膜组串联增加脱盐率,并联增加产水率。此外,电驱动膜产水无需经过换热器加热升温,可直接进入下一级反渗透装置进行进一步脱盐,从而节省大量蒸汽能,并为企业节省大量自来水。可见,电驱动膜技术在反渗透浓水回用处理方面具有较好的应用前景。

1 概况

某热电厂化水处理车间采用“反渗透+混合离子交换器”工艺制取除盐水,工艺流程如图1所示。

系统有3套75 m³/h的反渗透装置,每年产生约30万t反渗透浓水。在未建反渗透浓水回用工程之前,产生的反渗透浓水进入浓水箱后直排入厂内下水道,不仅造成水资源的浪费,同时也影响了下游污水处理厂的处理效率。为解决此问题,公司拟采用电驱动膜工艺处理该反渗透浓水,并新增1套36 m³/h的反渗透装置以提高回用水的水质。其中,电驱动膜系统设计进水水量60 m³/h,进水电导率2 500~3 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$,设计产水率80%,设计产水水量48 m³/h,产水电导率 $\leq 500 \mu\text{S}/\text{cm}$;反渗透系统设计产水率75%,设计产水水量36 m³/h,产水电导率 $\leq 15 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。

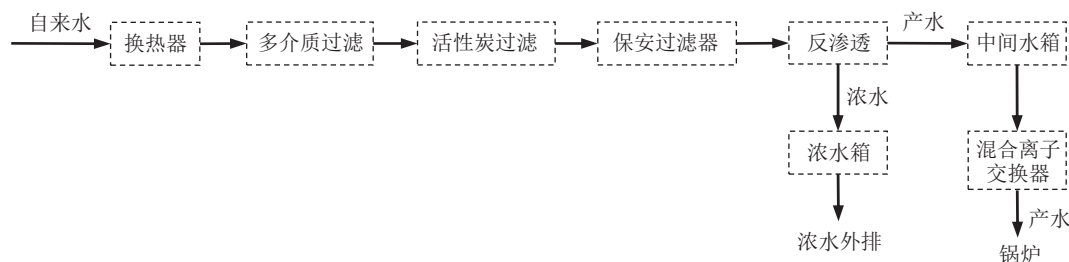


图1 化水处理工艺流程

Fig. 1 Chemical water treatment process flow diagram

2 工艺流程

在电厂原有工艺基础上,针对反渗透浓水,通过

采用电驱动膜处理实现对浓水的回收利用^[9],其工艺流程如图2所示。

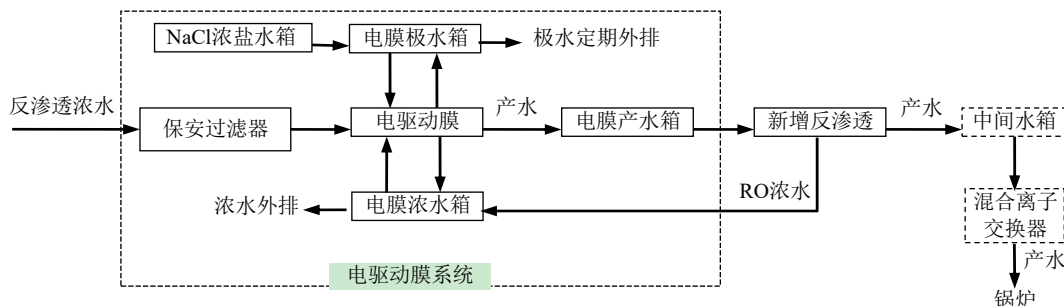


图2 反渗透浓水处理工艺流程

Fig. 2 RO concentrated water treatment process flow diagram

反渗透浓水由提升泵经保安过滤器泵入电驱动膜系统进行脱盐处理,产生的淡水进入电膜产水箱,经高压泵提升至新增反渗透装置进行进一步脱盐处理。反渗透产水进入原中间水箱,经混合离子交换

器将水中残留的离子进一步去除。

新增反渗透产生的浓水进入电膜浓水箱作为电膜浓水。电膜浓水为开式循环,可连续或间断补水,自动控制系统设置电膜浓水电导率达到12 000

$\mu\text{S}/\text{cm}$ 时自动外排至厂内下水道。该运行方式既可回收利用新增反渗透浓水,又可有效防止COD富集损坏电驱动膜系统。该工艺正常运行情况下,浓水量较改造前大大缩减,但仍会产生约 $12\text{ m}^3/\text{h}$ 浓水。在未违背当地环保要求的前提下,于配套浓水深度处理设施前,暂且将其随厂区其他处理后的生产废水和生活污水一同排入城市下水道,随后在未对污水处理厂污水全盐量造成不利冲击情况下,汇入城镇污水处理厂集中处理。建议后期条件成熟时,可继续开展浓水的合理化处置研究。

电驱动膜系统极水由NaCl(工业级)配制,其主要作用为导电和冷却电极。将NaCl置于浓盐水箱加入纯水溶解配制完成后,经计量泵泵入电膜极水箱作为电膜系统极水。电膜极水为闭路循环,为防止极水长时间循环及补水过程中电极结垢,极水运行1个月更换1次,更换的极水外排至厂内下水道。

3 工艺单元设计

3.1 电驱动膜系统

电驱动膜系统设置1套,采用国际先进的自动倒极技术。每隔一定时间,电驱动膜正负电极极性相互倒换,同时浓水隔室和淡水隔室亦相应调换,可自动清洗离子交换膜和电极表面形成的污垢,保证系统长期稳定运行。该系统包括电驱动膜装置和清洗装置。

(1)电驱动膜装置。该装置是在外加直流电场作用下,利用离子交换膜对溶液中离子的选择透过性使溶液中阴、阳离子发生离子迁移,分别通过阴、阳离子交换膜而达到除盐目的^[6]。

设置特种电驱动膜设备6台,分2组,每组3台,每组设计产水能力为 $25\text{ m}^3/\text{h}$;设置电膜产水箱、浓水箱、极水箱各1只,容积 20 m^3 ,材质PE;设置浓盐水箱1只,容积 2 m^3 ,材质PE;设置淡水泵、浓水泵各1台,流量 $50\text{ m}^3/\text{h}$,功率 11 kW ;设置极水泵1台,流量 $25\text{ m}^3/\text{h}$,功率 5.5 kW ;设置浓盐水泵1台,流量 $12.5\text{ m}^3/\text{h}$,功率 2.2 kW ;设置保安过滤器3台,其中流量 $50\text{ m}^3/\text{h}$ 的2台、 $30\text{ m}^3/\text{h}$ 的1台,滤芯过滤孔径均为 $5\text{ }\mu\text{m}$;设置在线电导率仪3台,量程 $0\sim 4\text{ }000\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$;设置超声波液位计5台,量程 $0\sim 5\text{ m}$;设置在线pH仪2台。

(2)系统参数设定。每组电驱动膜设备的电流

初始设置分别为第1台 40 A 、第2台 35 A 、第3台 20 A ,电压均为 130 V 。系统使用一段时间后,膜性能有所改变,可适当调整电压,但电压最高不超过 300 V ,3台设备的电流分别不高于 65 、 55 、 40 A 。

设置电驱动膜系统连续工作 60 min 倒极1次,实际倒极时间可根据运行状况调整;设置产水电导率达到 $500\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ 时进入电膜产水箱,浓水电导率达到 $12\text{ }000\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ 时外排;系统产水、浓水、极水各路压强最高设置为 0.32 MPa ,最低设置为 0.06 MPa 。

(3)清洗装置。电驱动膜系统运行一段时间后,在膜上会积累胶体、细菌、有机物等物质,造成膜污染,脱盐率下降,须及时进行化学清洗^[7]。

设置清洗箱1只,容积 5 m^3 ,材质PE。设置加药箱1只,容积 200 L ,材质PE;设置 $15\text{ L}/\text{h}$ 和 $7.6\text{ L}/\text{h}$ 计量泵各1台,压强均为 0.6 MPa ;设置管道混合器 $50\text{ m}^3/\text{h}$ 和 $30\text{ m}^3/\text{h}$ 各1只,材质均为UPVC;设置化工清洗泵1台,流量 $50\text{ m}^3/\text{h}$,功率 11 kW ;设置保安过滤器1台,流量 $50\text{ m}^3/\text{h}$,滤芯过滤孔径 $5\text{ }\mu\text{m}$ 。

3.2 新增反渗透系统

新增反渗透系统1套,产水能力 $36\text{ m}^3/\text{h}$,包括反渗透装置、阻垢剂加药装置。

(1)反渗透装置。利用反渗透膜的特性去除水中绝大部分可溶性盐类、胶体及有机物^[8]。设置反渗透膜48支,型号为陶氏BW30-365IG,单支膜脱盐率 $\geq 99.5\%$,反渗透膜组件8支,膜壳材质为玻璃钢;设置保安过滤器1台,流量 $50\text{ m}^3/\text{h}$,滤芯过滤孔径 $5\text{ }\mu\text{m}$;设置高压泵1台,流量 $50\text{ m}^3/\text{h}$,功率 30 kW ;设置在线电导率仪2台,量程 $0\sim 4\text{ }000\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$;设置超声波液位计1台,量程 $0\sim 5\text{ m}$ 。

(2)阻垢剂加药装置。设置阻垢剂加药系统,防止RO浓水端,特别是压力容器最后一根膜元件的浓水侧出现难溶性盐类 $[\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 CaCO_3 、 CaSO_4 等]结晶析出。浓水朗格利尔指数 $\text{LSI}>1.8$,在膜表面会形成垢层,从而损坏膜元件的性能。设置清洗泵1台,流量 $50\text{ m}^3/\text{h}$,功率 11 kW ;设置阻垢剂加药泵1台,流量 $7.6\text{ L}/\text{h}$,压强 0.35 MPa ;设置清洗保安过滤器1台,流量 $50\text{ m}^3/\text{h}$,滤芯过滤孔径 $5\text{ }\mu\text{m}$ 。

4 处理效果及运行费用

4.1 处理效果

反渗透浓水处理系统调试完毕后连续运行半年

期间,每隔2 h记录电驱动膜系统运行数据,主要记录淡水压强、浓水压强、极水压强、浓水pH、极水pH、原水电导率、浓水电导率、产水电导率以及6台膜组器的电压电流值。结果表明,电驱动膜系统运行稳定,平均进水量为58.8 m³/h,产水量为51.8 m³/h,产水率达88%;出水水质优于设计出水水质要求,并优于自来水水质,产水电导率为260~370 μS/cm,脱盐率达85%。反渗透系统产水电导率低于15 μS/cm。

4.2 经济分析

该工程总投资240万元,其中电驱动膜系统为192万元,新增反渗透系统为48万元。该反渗透浓水回用系统稳定运行期(20 h/d, 300 d/a)统计,电驱动膜系统用电设备运行功率为58 kW,电费以0.8元/(kW·h)计,运行电耗为1.12元/m³,则年电费29.62万元;清洗药剂为30%盐酸和固体碱,单价分别为680元/t和2 000元/t,清洗频次1次/月,则处理药剂费0.39元/m³;不含人工费用,综合电费和药剂费为1.51元/m³。

结合反渗透浓水回用系统稳定运行期统计数据计算得出,年节约自来水量264 420 m³,年节约自来水费138.82万元(自来水单价按5.25元/m³);化水处理系统利用蒸汽加热自来水至25℃,使反渗透装置达到最佳产水量,而反渗透浓水水温约25℃,直接进入回用系统,可节约蒸汽能11 105 GJ/a(年平均水温按15℃计,水温由15℃升温至25℃),年节约蒸汽费77.42万元(按照该电厂所在地工业热价69.72元/GJ计算)。

5 结论

针对电厂反渗透浓水具有水量大、含盐量高、水温较高的特点,采用电驱动膜工艺对其进行处理,并结合新增反渗透有效预防COD富集。运行结果表明,该处理工艺运行稳定,产水率高达88%,脱盐效果好,动力耗电较低;其电驱动膜产水电导率为260~370 μS/cm,脱盐率达85%,年节约自来水量264 420 m³,年节约蒸汽能11 105 GJ。运行费用方面,不计人工费用,电费和药剂费合计为1.51元/m³。

参考文献

[1] 祁本武. 反渗透技术在电厂水处理的应用分析[J]. 中国资源综

合利用, 2018, 36(11): 48-50.

QI Benwu. Application analysis of reverse osmosis technology in power plant water treatment[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2018, 36(11): 48-50.

[2] 王叶鑫. 催化臭氧氧化处理反渗透浓水研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2019.

WANG Yexin. Study on catalytic ozone oxidation treatment of reverse osmosis concentrated water[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2019.

[3] 郭春禹, 肖东, 刘芬, 等. 均相电渗析膜堆淡化性能测试与分析[J]. 膜科学与技术, 2019, 39(2): 81-87.

GUO Chunyu, XIAO Dong, LIU Fen, et al. Homogeneous electro-dialysis desalination performance test and analysis[J]. Membrane Science and Technology, 2019, 39(2): 81-87.

[4] 聂莹莹. 电厂浓盐水的回用和减量化的工艺研究[D]. 济南: 山东大学, 2016.

NIE Yingying. Technology research on reuse and reduction of concentrated brine in power plant[D]. Jinan: Shandong University, 2016.

[5] 时国华, 王佳, 杨林棣, 等. 我国火电厂含盐废水蒸发/结晶技术进展[J]. 热力发电, 2019, 48(3): 1-6.

SHI Guohua, WANG Jia, YANG Linli, et al. Technical progress of evaporation/crystallization for saline wastewater in Chinese thermal power plants[J]. Thermal Power Generation, 2019, 48(3): 1-6.

[6] 王习品. 电驱动膜技术在水处理中的应用[D]. 青岛: 青岛大学, 2017.

WANG Xipin. Application of electric driven membrane technology in water treatment[D]. Qingdao: Qingdao University, 2017.

[7] 张耀武. 电驱动膜技术回用对苯二甲酸(PTA)生产废水的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.

ZHANG Yaowu. The study on the reuse of wastewater generated from PTA production by Electrodialysis[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.

[8] 邢奕, 鲁安怀, 洪晨, 等. 膜生物反应器(MBR)-反渗透(RO)工艺深度处理印染废水的实验研究[J]. 环境工程学报, 2011, 5(11): 2583-2586.

XING Yi, LU Anhuai, HONG Chen, et al. Experimental study of advanced treatment of dyeing wastewater with MBR-RO process[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5(11): 2583-2586.

[作者简介] 倪亭亭(1988—), 硕士, 高级工程师。E-mail: nitingtingcc@163.com。通讯作者: 邓冕, 博士, 助理研究员。E-mail: dmi190816@163.com。

[收稿日期] 2021-12-24(修改稿)