

再生水深度处理站在火电厂回用水中的应用

王焕伟, 冶 卿, 杨耀国, 张 平, 康 谦
(内蒙古电力科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘 要: 某电厂利用市政中水经再生水深度处理站处理, 用于热电厂补充用水。该处理站处理规模 750 t/h, 主要采用 MBR 工艺, 并使用离子交换进行深度处理。结果表明: 工作站运行稳定, 水质与水量均满足电厂需求, 有效地节约了水资源。

关键词: 中水回用; MBR; 离子交换; 污水处理站

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2020.04.012

The Application of Water Reuse by Advanced Reclaimed Water Treatment Station in the Thermal Power Plant

WANG Huanwei, ZHI Qing, YANG Yaoguo, ZHANG Ping, KANG Qian
(Inner Mongolia Electric Power Science, Hohhot 010020, China)

Abstract: Municipal reclaimed water treated by the advanced treatment station with the capacity of 750 t/h was used as supplement in a thermal power plant. MBR was the main technique, and ion-exchange method was applied for the further treatment. The results showed the station worked smoothly and the effluent quality and quantity could meet the plant demand, resulting in saving water effectively.

Keywords: Water Reuse; MBR; Ion Exchange;

CLC number: X703.1

内蒙古地区水资源短缺, 火电厂密集分布, 因此合理分配利用水资源能够使资源利用最大化, 同时提高经济效益。燃煤电厂采用各种工艺方法对各类废水进行分质回用, 提高了水资源利用率, 减少了废水排放量。

内蒙古某热电公司 2×330 MW 直接空冷供热机组工程补给水的主水源采用市政水质净化厂处理后的中水, 再生水深度处理水量设计为 750 t/h。其中, 部分水量(306 t/h)需要经过膜过滤处理和一级钠离子软化处理后, 作为电厂 2×330 MW 机组的工业水补给水水源使用。另一部分处理水量(420 t/h)作为原电厂的热网补充水量, 经过处理后补入原电厂的热网补充水系统。

1 再生水深度处理站工艺流程

工艺流程主要包括 8 个工艺子系统: 生物处理系统、MBR 系统及辅助系统、化学清洗系统、化学

药剂投加系统、污泥系统、钠离子软化系统、钠离子软化器再生系统、水箱(池)及泵输送系统, 见图 1。

2 处理单元

2.1 生物处理系统

中水来水后先经过曝气池, 曝气池中的活性污泥会吸附水中的有机物, 把吸附的有机物氧化为简单的碳水化合物(CO₂、H₂O); 同时硝化菌将活性污泥中吸附的氨氮氧化为亚硝酸盐和硝酸盐^[1], 除去进水中约 30% 的氨氮。随后利用高差自流至膜池, 经膜池后的产水泵抽吸至站内的产水池。生物处理系统的主要设备参数见表 1。

2.2 MBR 膜池及辅助系统

MBR 系统处理是再生水深度处理站的核心工艺。该电厂 MBR 系统共 4 套, 每套额定产水量 225 t/h, 每列设置 7 个膜箱, MBR 膜孔径 0.04 μm, 材质为 PVDF, 共 28 组。经过曝气池处理后, 中水

收稿日期: 2019-11-08

作者简介: 王焕伟(1988-), 男, 硕士、工程师。研究方向: 电厂化学水处理水分析。E-mail: wanghuanwei3709@163.com

引用格式: 王焕伟, 冶 卿, 杨耀国, 等. 再生水深度处理站在火电厂回用水中的应用[J]. 环境保护科学, 2020, 46(4): 71-74.

利用重力静流进入膜池,产水被抽吸至产水池,悬浮物质被截留在膜池内,达到泥水分离的效果。同

时,通过污泥回流提高曝气池内的污泥浓度,使得生化降解更加彻底,回流比为 150%。

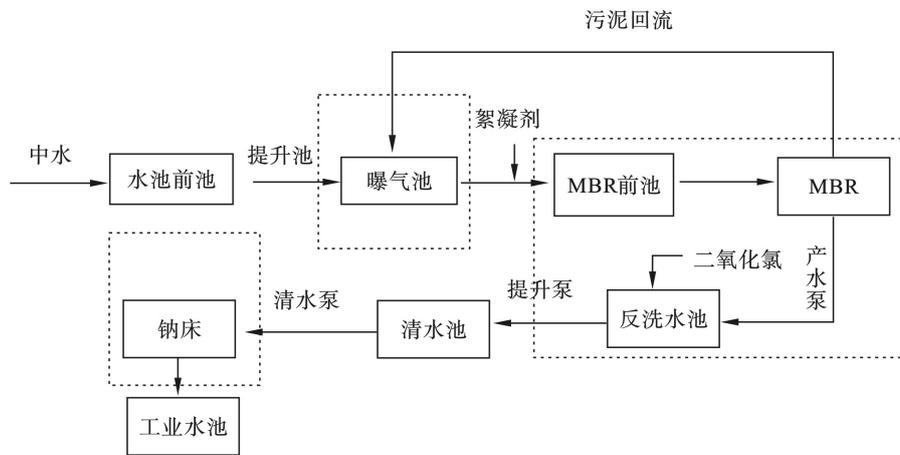


图 1 再生水深度处理站工艺流程

表 1 生物处理系统的主要设备参数

名称	规格型号及性能参数	材料材质	单位	数量
曝气池	单池容积1 200 m ³ 地上高度1.5 m	钢混, 环氧沥青防腐	座	1
鼓风机房	17.6 m×4.4 m×7.5 m	框架砌块	座	1
罗茨风机	Q=31.5 m ³ ·min ⁻¹ P=68.6 kPa N=75 kW	三叶式	台	3

MBR 前池加入的絮凝剂与产水中含有剩余磷的化合物混合,这些磷与混凝剂快速反应形成远远大于膜孔径(0.04 μm)的细小矾花,被 MBR 膜截留,进而降低进水中的总磷含量。曝气池的出水在重力作用下进入 MBR 膜池,清水透过 MBR 膜汇集后,经 MBR 产水泵进入 300 m³ 清水池,吸附有机物的活性污泥被截留在中空纤维外侧,达到固液分离、高效净化的效果。同时,3 台罗茨风机不断向膜池内曝气充氧,在提供溶解氧的同时在膜组件

的底部引进紊流气流冲刷 MBR 膜丝,以防止污泥在膜丝表面沉积。此时,MBR 膜池内的活性污泥浓度大幅增加,并通过污泥回流泵打回曝气池入口,维持曝气池内的活性污泥浓度,实现了水力停留时间与污泥停留时间的完全分离和分别控制,使活性污泥中的好氧微生物能够在曝气池、MBR 膜池内对有机物进行有效的生化降解,大幅降低了进水的 COD、BOD₅、氨氮、总磷^[2]的含量,使水质达到工业用水要求。膜池系统主要设备参数,见表 2。

表 2 MBR 膜池及辅助系统的主要设备参数

序号	名称	规格型号及性能参数	材料材质	单位	数量
1	膜池	17 m×20 m×4.5 m, 地上高度0.5 m	钢混, 玻璃钢防腐	座	1
2	膜组件	孔径0.04 μm	PVDF	组	28
3	膜池间	27.75 m×20.9 m×7.5 m	框架砌块	座	1
4	罗茨风机	Q=95 m ³ ·h ⁻¹ , P=49 kPa, N=110 kW	三叶式	台	3
5	旋转滤网机	5 mm	滤网材质: SS304	台	1
6	膜池产水泵	Q=225 m ³ ·h ⁻¹ , P=0.11 mPa, N=37 kW	壳体: HT200过流部件: SS304	台	4
7	产水池	V=300 m ³	钢混内壁玻璃钢防腐	座	1
8	压缩空气储罐	V=3 m ³ , 0.8 mPa	16 MnRn,壁厚10 mm	台	2

2.2.1 溶解氧 (DO) 当 DO 质量浓度>1 mg/L 时, COD 的去除效果良好,去除率可达 90% 以上,但 DO 质量浓度再增加对 COD 的去除效果不再有

明显影响。在短期缺氧条件下,即 DO 质量浓度在 0.5 ~ 1 mg/L 时系统也能获得较好的去除效率,因此 DO 质量浓度宜控制在 1.5 ~ 2 mg/L。同时出水

COD 还与污泥质量浓度有关系,污泥质量浓度在 0.32 ~ 2.8 g/L 时,污泥质量浓度变化对出水 COD 影响不明显。一般随着污泥负荷与容积负荷增高,出水 COD 相应略有增加^[3]。根据系统实际运行情况控制 DO 质量浓度为 1.8 mg/L。

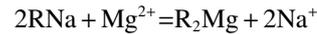
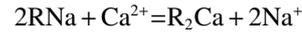
2.2.2 水力停留时间 (HRT) 当 HRT 在 5.5 ~ 8 h 时, COD 的去除效果无明显变化;当 HRT > 8 h 时,出水 COD 质量浓度有所降低, HRT 可控制在 6 ~ 9 h^[2]。该工程实际运行中控制 HRT 在 7 h。

2.2.3 MBR 膜跨膜压差 MBR 正常产水时,同一点的 MBR 膜膜丝外部压力与内部压力值之差,称为该 MBR 膜跨膜压差,其大小可形象地表示水透过膜的阻力,可表示 MBR 膜丝表面孔径被污堵的程度,即表示膜污染程度^[4]。MBR 跨膜压差接近 40 kPa,则表明 MBR 污染较严重,此时需进行恢复性清洗,清洗水温适宜 25 ~ 35 °C,但必须高于 15 °C^[5]。运行中应密切关注跨膜压差,超过 40 kPa 时,对膜

系统进行清洗。

2.3 钠离子软化器处理系统

经 MBR 系统的产水利用升水泵输送到钠离子软化器进行处理。通过离子交换,主要去除钙镁硬度,经过软化处理后,产水被输送到各个用户。当钠床失效后,再对钠床进行再生使用。钠床工作原理如下。



该套系统钠床共有 7 台,每台额定出力 125 m³/h,其交换树脂层高度为 2 500 mm,直径为 2 800 mm。钠床失效后对树脂进行逆流再生^[6],新鲜的再生液通过盐液泵进入交换器,先接触软化器底部的树脂得到很好的再生。逆流再生效果好坏的关键在于防止交换剂乱层,且交换剂乱层后或大反洗后的再生剂用量需额外增加。钠离子交换系统主要设备参数,见表 3。

表 3 钠离子交换系统的主要设备参数

序号	名称	规格型号及性能参数	材料材质	单位	数量
1	钠离子交换器(含配套阀门)	DN2800 硫化橡胶防腐	Q235-B	台	7
2	树脂转装罐(含配套阀门)	DN2800 硫化橡胶防腐	Q235-B	台	1
3	升水泵	$Q=375 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, $P=0.2 \text{ mPa}$, $N=22 \text{ kW}$	外壳: HT200过流部件: SS304	台	3
4	盐液泵	$Q=15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, $P=0.1 \text{ mPa}$, $N=2.2 \text{ kW}$	过流部件: 氟塑料防腐	台	3
5	盐液再生泵	$Q=15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, $P=0.1 \text{ mPa}$, $N=2.2 \text{ kW}$	过流部件: 氟塑料防腐	台	2

2.4 成本运行分析

污水厂来水约 1.5 元/t,经过系统处理后(包括加药、设备折旧、电费)大约为 4.5 元/t。随着环保要求越来越高,内蒙古地区的火电厂经过改造,多数火电厂将中水作为生产水源,但中水入场后引起一系列问题,包括膜污堵,膜污染等。该电厂是内

蒙地区使用全中水作为生产水源水较早的电厂之一,运行稳定,出水水质与出水量均满足电厂需求,具有一定的示范作用。

3 各处理单元出水水质

某时段各主要单元出水水质,见表 4。

表 4 主要处理单元的出水水质

项目	电导/ $\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$	pH	硬度/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$	$\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	$\text{BOD}_5/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	总磷/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	余氯/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	氨氮/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	浊度/NTU
处理站进水	1 477	6.87	3.67	29.8	3.6	3.0	0	0.84	4.25
膜池出水	1 519	7.62	3.47	20.3	2.6	1.15	0	0.23	0.62
处理站出水	1 550	7.70	0.62	18.4	1.3	0.87	0	0.23	0.80
钠离子软化水	-	-	0.26	-	-	-	-	-	-

4 性能考查情况

4.1 系统出水水质测试结果

按照性能考察合同要求,对系统进行连续 168 h 满负荷运行性能测试,性能测试期间系统满负荷运

行,设备运转正常。系统出水水质,见表 5。

表 5 可知,由于性能测试期间系统未添加除磷试剂,故系统出水总磷含量全部超标;由于当时生化处理系统未进行优化,连续 7 d 的运行过程中,系统出水 COD_{Cr} 有 3 d 未能合格;由于检测 BOD_5 需

要 5 d 时间,故整个性能测试期间只测试得出一个出水 BOD₅ 值且合格,故系统出水 BOD₅ 合格率为 100%。

表 5 性能测试期间再生水深度处理站出水水质

项目	电导率/ $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$	pH	硬度/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	COD _{Cr} / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	BOD ₅ / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	总磷/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	余氯/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	氨氮/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	浊度/NTU
最大值	1 598	8.15	3.50	47.00	2.00	1.75	0	0.25	0.80
最小值	1 139	7.7	0.33	16.9	2.00	1.12	0	0.17	0.35
平均值	1 444	7.9	0.98	30.54	2.00	1.45	0	0.22	0.55
总包保证值	—	7.0~8.5	—	≤30	≤5	≤0.5	0.1~0.2	≤5	≤1
合格率/%	—	100	—	57	100	0	100	100	100

4.2 再生水深度处理站的处理效果

实验对再生水深度处理站进行了性能考查和测试,将系统出水水质与总包承诺值进行对比,对系统性能进行了考查,结果见表 6。

表 6 再生水深度处理站性能实验测试结果 %

项目	最大去除率	最小去除率	平均去除率	总包承诺值
硬度	90.8	0.3	72.4	—
COD _{Cr}	44.0	4.5	21.0	≥70
BOD ₅	62.3	62.3	62.3	≥83
总磷	62.6	15.9	43.5	≥83
余氯	100	100	100	—
氨氮	92.3	55.3	74.5	≥80
浊度	95.3	55.3	74.5	≥80

由于系统性能测试期间正值当地冬季,来水温度偏低(10~12℃),故春季对系统出水进行了补充检测并进行了对比分析,春季 BOD₅ 的去除率高达 90%,满足设计值。水温对 BOD₅ 的去除率影响较大,随着水温的升高,BOD₅ 的去除率逐渐升高,而 COD_{Cr} 的去除率对水温变化不敏感,当水温在 10~15℃ 变化时,基本不随水温发生规律性的变化。

5 结论和建议

1) 研究人员对再生水深度处理站进行了性能考查和测试,将系统出水水质与总包承诺值进行对比,对系统性能进行了考查。由于实验条件限制,没有对系统进出水的细菌含量进行检测。在系统性能测试期间,出水水质中除了 COD_{Cr} 和总磷的合格率较低外,其他指标合格率均能达到 100%。出水总磷超标主要是因为性能测试期间未能投入除磷试剂,而出水 COD_{Cr} 超标主要原因推测为:①上游净水厂技术改造采用了 MBR 技术,致使上游来水水质较好,其中的 COD_{Cr} 和 BOD₅ 含量较低,造成系统生化处理部分污泥负荷较低,细菌生化活力

不足;②生化处理部分的污泥中活性成分较少,生化反应不充分;③来水水温偏低,不利于生化反应;④系统尚需进行进一步的优化来充分发挥作用。

2) 当水温在 10~15℃ 变化时,水温对 BOD₅ 的去除率影响比较大,随着水温的升高,BOD₅ 的去除率逐渐升高;而 COD_{Cr} 的去除率对水温变化不敏感,基本不随水温发生规律性的变化。

3) 建议曝气池增设保温封顶,防止由于冬天外部气温低,低水温影响生化反应效率。钠床失效后要及时再生,否则会影响出水硬度。

4) 在曝气池、膜池以及产水池内按照设计要求装设溶氧表,随时了解水中溶解氧质量浓度,保证生化处理效果。

5) 需对生化处理部分的水力停留时间、污泥浓度、污泥中的活性成分和细菌种类含量、污泥负荷比、水中溶氧浓度等几个因素继续进行系统地优化。因性能测试期间,系统在满负荷下运行,导致水力停留时间可能没有达到最优值,有可能导致生化处理系统处理能力下降。

6) 该再生水深度处理站运行稳定,满足电厂用水量需求,有效的节约利用了水资源。

参考文献

- [1] 谢风行. 微生态制剂在农业上的应用[M]. 天津: 天津科技翻译出版公司, 2010.
- [2] 郑祥, 樊耀波. 影响 MBR 处理效果及膜通量的因素研究[J]. 中国给水排水, 2002, 18(1): 19-22.
- [3] 李波. MBR 用于城市污水处理最优工况的研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.
- [4] 赵珊珊. SBR 处理生活污水过程中清洗条件对膜清洗效果影响的研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2010.
- [5] 王金保, 伍海辉. 降低膜生物反应器中膜污染的研究[J]. 工业用水与废水, 2003, 34(3): 5-8.
- [6] 范向军, 罗凯. 逆流再生离子交换器的再生操作及优化研究[J]. 能源环境保护, 2017, 31(6): 27-29.