

全膜法水处理工艺中一级反渗透产水 pH 控制

潘小锋

(广州粤能电力科技开发有限公司, 广东 广州 510000)

摘要:全膜法水处理工艺是将超滤、微滤、反渗透、EDI 等不同的膜法处理工艺有机的组合在一起, 达到高效去除污染物及深度脱盐的一种水处理工艺。一般电厂锅炉补给水处理全膜法工艺中都以“叠片过滤器+超滤+一级或二级反渗透+EDI”为主。其中一级反渗透产水中含有 CO_2 , 如不去除将会影响 EDI 系统产水水质, 本文通过实际工程中对一级反渗透产水 pH 的调节, 来消除 CO_2 对 EDI 出水水质的不利影响, 并计算出加碱量的大小。

关键词:全膜法; 超滤; 反渗透; EDI; 加碱; CO_2 ; 电导率

中图分类号: O645.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-7344(2021)19-0243-02

1 项目概述

目前, 越来越多的电厂放弃传统的“阳床+阴床+混床”的锅炉补给水处理工艺, 而改用“超滤(UF)+反渗透(RO)+电除盐(EDI)”的全膜法工艺。全膜法工艺中, 用超滤(UF)除去水中的悬浮物及大分子有机物, 保证反渗透(RO)系统进水水质满足要求, 防止反渗透膜污堵; 用反渗透(RO)去除超滤(UF)产水中的溶解盐和小分子的有机物等, 保证电除盐系统进水水质满足要求; 用电除盐(EDI)进行深度脱盐, 保证电除盐出水水质满足锅炉补给水质要求。其中 EDI 技术是一种将离子交换和电渗析相结合的技术, 在电压的作用下, 使水中的离子从淡水侧进入到相邻的浓水侧, 在淡水侧中填充混合离子交换树脂, 混合离子交换树脂可以极大地提高水中离子的迁移速度, 而失效的离子交换树脂可以利用电解水直接进行再生, 避免了酸碱再生废水的产生, 减少了环境的污染及使用酸碱过程中的风险。并且相对传统的工艺, 全膜法还有占地面积少, 运行成本低, 操作简单等优点。

珠海市某天然气热电厂项目本工程锅炉补给水系统设备按照 $2 \times 180\text{t/h}$ (一期) + $1 \times 120\text{t/h}$ (二期) + $1 \times 120\text{t/h}$ (三期) 共 4 套方案设计。本工程锅炉补给水厂房一次性建成, 本期上 2 套 180t/h 设备, 预留 2 套 120t/h 设备的基础位置。该电厂锅炉补给水处理采用“超滤(UF)+一级反渗透(RO)+二级反渗透(RO)+电除盐(EDI)”的工艺, 单套工艺流程及水平衡图如图 1 所示。

在一级反渗透进口加还原剂 (NaHSO_3) 去除水中的余氯、在一级反渗透进口加阻垢剂来避免一级反渗透的浓水侧因离子的浓缩而结垢; 在一级反渗透产水箱前管道上加 NaOH 提高反渗透产水 pH, 通过控制加 NaOH 量来维持产水 pH 至 8.3 左右。

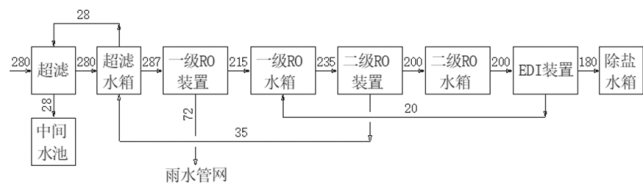


图 1 单套工艺流程及水平衡

(1) 叠片过滤器: 叠片过滤器可连续运行, 逐个过滤单元自动反洗; 过滤器采用程序控制定期反洗或根据过滤器进出口压差控制反洗; 反洗采用内源反冲洗; 自清洗过滤器过滤精度 $100\mu\text{m}$; 自清洗过滤器选用西班牙 Azud 品牌, 型号为 4SK-4。

(2) 超滤: 超滤膜元件选用苏伊士(原美国 GE)的外压式超滤膜, 材质为 PVDF, 型号为 ZW1500-600, 每套 77 支膜, 单支膜面积 55.7m^2 /支。PVDF 膜材料具有低污染特性, 无须频繁和苛刻的清洗方式。出水 $\text{TSS} \leq 1\text{ppm}$, 浊度 $\leq 0.1\text{NTU}$, $\text{SDI} \leq 3$ 。本系统采用 CEB 加强反洗运行方式, 即运行 24~48 个运行周期后, 反洗加次氯酸钠进行加强反洗, 也可视膜的污染程度加酸或碱; 运行几个月压差上升或产水量下降后, 可采用 CIP 化学清洗。

(3) 一级反渗透: 一级反渗透膜元件选用苏伊士(原美国 GE)的 AG 系列抗污染膜 AG8040F-400FR, 每套 264 支, 一段和二段的比例为 29:15。该抗污染复合膜具有高通量、高氯化钠脱除率和低污染的特性。该型号膜的单支产水量可达 $41.3\text{m}^3/\text{d}$, 脱盐率 99.5% 以上, 有效膜面积 37.2m^2 。

(4) 二级反渗透: 二级反渗透膜元件选用苏伊士(原美国 GE)的 AK 系列超低压高脱盐率膜 AK-440, 每套 180 支, 一段和二段的比例为 2:1。该抗超低压复合膜具有高通量、高氯化钠脱除率

的特性。该膜单支膜产水量 $1.81\text{m}^3/\text{h}$, 脱盐率 99.5%, 有效膜面积 40.9m^2 。

(5) EDI: EDI 模块选用美国伊乐科的 EXL-850 标准系列模块, 单套 23 块 EDI 模块。EDI 模块运行过程中将含有氢气和氯气等危险性气体的极水排放至地沟, 并将排气管接至屋顶以上 2m 左右, 将 EDI 模块的浓水接至一级反渗透水箱进行回用, 提高系统的产水率。该模块单个模块设计产水流量为 $8\text{m}^3/\text{h}$, 操作电压 200~400V, 电流 0.5~3A。

(6) 一级反渗透、二级反渗透、EDI 系统共用一套化学清洗装置, 当压差升高、产水量下降后, 根据实际情况选用不同的药剂进行化学清洗。

2 CO_2 去除的理论及方法

EDI 系统对于进水的 CO_2 含量有着严格的要求, 一般要求 CO_2 小于 5ppm, 最佳要求小于 2ppm。降低 CO_2 的方法有采用除碳器和加碱提高 pH 后通过二级反渗透去除。除碳器除 CO_2 是利用亨利定律的原理, 原水进入除碳器上部, 由配水装置均匀的配水后淋下, 通过鲍尔环填料后, 进入底部的水箱, 鼓风机从底部送入空气, 空气与水在填料层经过充分接触后由除碳器中的上部排出, 在除碳器中, 由上而下的经过水被填料后分散成许多小水滴, 从而使空气与水之间有很大的接触面积, 空气中的 CO_2 分压约为大气压力的 0.03%, 这样水中溶解的 CO_2 就会被空气带走; 加碱提高 pH 除 CO_2 的原理是通过提高 pH, 将水中的 CO_2 转化为 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 后通过反渗透膜去除。

根据相关的研究理论表明, 当水的 pH 小于 4.3 时, 水中 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 将转化为 CO_2 ; 而随着水的 pH 的升高, 水中 CO_2 便转化 HCO_3^- , 而当水的 pH 升高至 8.3 时, 水中 98% 以上的碳酸化合物将会转化为 HCO_3^- ; 当 pH 大于 8.3 时, HCO_3^- 便转化为 CO_3^{2-} ; 当 pH 大于 12 时, 水中碳酸化合物都转化为 CO_3^{2-} 。而水体中 pH 一般都小于 8.3, 故天然水中只含有 CO_2 和 HCO_3^- 。利用除碳器并不能完全去除水中的 CO_2 , 一般出水都含有 5ppm 左右的 CO_2 , 对后续 EDI 出水水质不利; 而利用加碱装置将一级反渗透产水 pH 调节至 8.3 左右, 可将水中的 CO_2 基本都转化为 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} , 再通过二级反渗透基本都可以去除, 可提高 EDI 系统出水水质。

3 一级反渗透产水 pH 调节及对电除盐产水水质影响

本工程锅炉补给水系统于 2019 年 12 月开始调试, 由于锅炉补给水系统没有设置加碱装置, 锅炉补给水加碱装置与工业废水处理加碱装置共用一套设备, 而工业废水处理系统迟迟未移交分系统调试, 导致补给水系统开始调试时, 反渗透加碱装置无

法使用。开始调试时, EDI 系统产水电导还能保持在 $0.07\mu\text{S}/\text{cm}$, 随着逐渐运行, EDI 系统产水电导不断的升高到 $0.2\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上, 经过各方的分析, 一致认为没有投用加碱装置, 导致水中溶解的 CO_2 无法去除而影响到 EDI 系统的产水水质。

于是将 #2 机组闭式水加碱装置临时运至锅炉补给水车间内, 利用闭式水加碱装置的加碱罐、搅拌机及控制箱, 并将正式加碱泵装至临时加碱设备中, 其中加碱泵的额定流量为 $85\text{L}/\text{H}$ 。经过不段的调整加药量及碱的浓度, 最终确定将加碱泵的频率调至 25Hz, 行程调至 20%, 碱的浓度按照水和碱液 (31% 浓度) 1:9 的比例配置, 配置后的稀碱液浓度约为 4.15%, 密度为 $1.034\text{kg}/\text{L}$ 。将一级反渗透系统调整至设计工况下运行, 产水流量为 $215\text{t}/\text{h}$ 左右, 可将产水 pH 调至 8.3~8.5, 计算得加碱量约为 $0.042\text{mol}/\text{L}$ 。

该工程的一级反渗透系统进水管电导为 $400\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右, 一级反渗透产水管电导为 $5\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右, 通过加碱调节后, pH 为 8.3 左右, 电导率为 $12\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右, 二级反渗透系统产水管电导小于 $1\mu\text{S}/\text{cm}$, 一级和二级反渗透系统脱盐率均满足设计要求。反渗透加碱装置投用后, EDI 产水电导开始下降, 最终稳定在 $0.068\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右, 产水硅 5ppm 左右。后续运行稳定, 未出现电导升高问题。

4 结语

全膜法水处理工艺中 EDI 进水 CO_2 含量的控制十分重要, 由于反渗透膜及 EDI 系统离子膜对 CO_2 气体都基本没有去除作用, 未去除的 CO_2 会溶解到除盐水中, 溶解的 CO_2 将会对除盐水的电导产生极大的影响, 导致系统出水水质无法满足要求。在已调试的几个全膜法水处理工程中, 都通过在一级反渗透产水侧加 NaOH 将 pH 提高到 8.3 左右将水中的 CO_2 转化为碳酸化合物后去除, EDI 系统出水水质稳定可靠, 故采用这种方法是成熟可靠的。

参考文献

- [1] 莫庆时. 两级反渗透系统加碱调节 pH 值的分析[J]. 水处理技术, 2005 (6): 79-80.
- [2] 周虎. 两级反渗透加碱调节 PH 及加碱位置的分析[J]. 科技与企业, 2015 (2): 237.
- [3] 李培元, 周柏青. 火力发电厂水处理及水质控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.

收稿日期: 2021-04-08

作者简介: 潘小锋 (1981—), 男, 汉族, 江苏南通人, 本科, 工程师, 研究方向为电厂环保化学。