

浸没式超滤膜在电厂废水回用中的应用

冯暨伟

(华电水务膜分离科技(天津)有限公司,天津 300143)

摘 要:以乌达热电循环冷却排污水回用实例为基础,介绍了浸没式超滤的技术特点、膜组件特点和超滤运行情况,并对超滤运行参数进行了分析。超滤膜运行效果表明,某国产浸没式超滤膜组件在该项目中的应用是可靠的,可为其他北方内陆地区电厂废水回用提供参考。

关键词:超滤;浸没式膜;中空纤维膜;循环冷却排污水;废水回用

中图分类号:X 781.2 **文献标志码:**B **文章编号:**1674 - 1951 (2018)04 - 0063 - 04

0 引言

内蒙古华电乌达热电有限公司(以下简称乌达热电)位于内蒙古自治区乌海市内,全厂水源原设计为近河道的自备井地下水。由于近年来内蒙古自治区不断提升环保指标要求,乌达热电需停止使用地下水作为全厂水源,生产用水水源改为当地市政污水厂达标排放水,黄河水作为备用水源,生活用水水源改为市政自来水。由于市政污水处理厂提供水源为低污染类水源,有机物含量较高,为了节约用水,考虑新建规模为 97 m³/h 的冷却塔排污水回收系统。同时,考虑到系统运行安全和远期扩建需要,设计建设 3 套每套出力为 49 m³/h 的循环冷却水回收系统,正常运行 2 套,循环备用 1 套。市政污水处理厂提供水源通过该回收系统处理后,作为电厂生水补充水源回用到电厂生产用水中。

1 水质分析

乌达热电水源由近河道地下水改为市政污水厂达标排放水,水源类型由水质优异的地下水调整为

受污染的回用水,使整个电厂水处理系统都面临较大的运行风险,因此,需要根据水源特性,选择有针对性的工艺应对方案。项目配套的市政污水处理厂水源水质和循环水排污水回用取水点采样水质见表 1。由表 1 可见,循环排污水水质由于其浓缩倍率提升,表现为碱度、硬度、氯离子等增加,同时水中有机污染物指标化学需氧量(COD)也相应增高^[1-2]。在分析水源水质时,应重点考虑控制有机污染物,减少对反渗透膜造成的污染。综合目前成熟的应用工艺技术,选择机械加速澄清池和超滤的组合工艺作为反渗透预处理工艺,通过投加药剂使污染物通过团聚和分子键桥联、静电吸附等作用^[3-4],形成稳定的矾花沉淀下来,依靠超滤技术将水中不易沉降的悬浮物进一步除去。

2 工艺流程

根据循环水排污水水质特点,重点控制其悬浮物和有机污染物,通过比较确定工艺流程为“机械加速澄清池+浸没式超滤+反渗透系统”,具体如图 1 所示。其中,超滤组件选用 HFS-30 型浸没式中空

表 1 水质一览

项目	COD/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	总氮 TN/(mg·L ⁻¹)	总磷 TP/(mg·L ⁻¹)	浊度/(mg·L ⁻¹)
污水厂供水	≤30.00	≤2.00	≤15.00	≤0.50	≤5.00
循环排污水	60.00	0.01	—	2.59	10.00
循环冷却水 ^③	≤60.00	≤5.00(1.00 ^④)	—	≤1.00	≤5.00

项目	硬度 ^① /(mg·L ⁻¹)	碱度 ^② /(mg·L ⁻¹)	电导率/(μS·cm ⁻¹)	全铁/(mg·L ⁻¹)	Cl ⁻ /(mg·L ⁻¹)
污水厂供水	≤70.00	≤70.00	≤350.00	≤0.30	≤200.00
循环排污水	912.00	813.00	—	0.03	479.00
循环冷却水 ^③	≤250.00	≤200.00	—	≤0.50	≤250.00

注:①全硬度以 CaCO₃ 计;②全碱度以 CaCO₃ 计;③ GB/T 50050—2017《工业循环冷却水处理设计规范》循环冷却水系统补充水质指标要求;④换热器为铜合金换热器时。

纤维超滤膜元件。
机械加速澄清池主要用于去除水体中的大颗粒

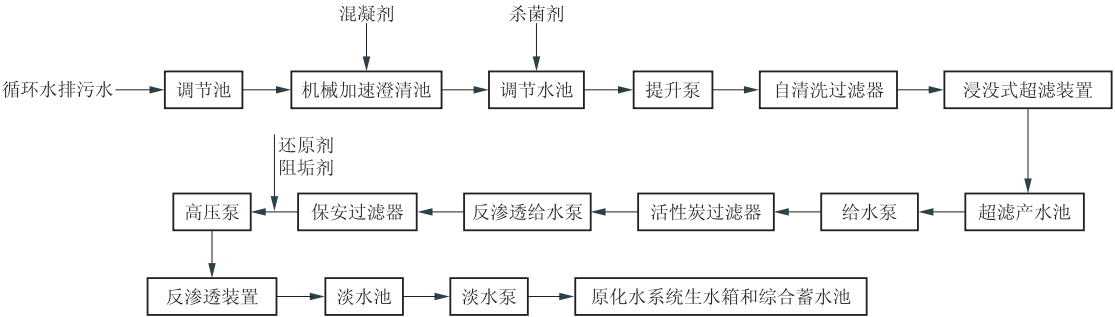


图 1 循环冷却排污水回用流程

物质、大直径悬浮物胶体等。机械加速澄清池具有处理效果较稳定、适应性较强的特点,常作为电厂原水预处理工艺,但其运行操作有较高技术要求,加药量、药剂类型、水温、藻类、搅拌器转速等都会影响出水效果,甚至会出现矾花无法沉降的“翻池”现象,造成出水水质超标。

浸没式超滤膜是将膜组件放置在膜池中,通过负压抽吸或虹吸自流方式过滤水,通常用于原水水质波动较大的中水回用或已有滤池改造项目上。由于开放式的膜池结构,使其具有进水水质要求较宽松、耐冲击负荷能力强、对预处理的要求较低等特点^[5];同时,具有出水水质稳定、占地面积小、运行成本低等优势,可用于反渗透前处理,去除胶体、浊度、细菌、病毒等,达到反渗透系统进水水质要求。浸没式超滤对预处理的要求较低、耐冲击负荷能力强,因此,应用于污染较严重的水质处理和规模较大的工程时,更具优势。

反渗透技术主要用于除盐,需要对反渗透膜的进水污染指数(SDI)、进水浊度进行控制,通常要求 SDI 不高于 4,浊度不高于 0.2 NTU。反渗透前的预处理效果越好,出水水质越稳定,反渗透膜运行越稳定。

3 系统设计

3.1 浸没式产品特点

HFS-30 型浸没式膜产品是一种具有内部支撑结构的加强型浸没式中空纤维膜产品,可应用在浸没式超滤和膜生物反应器(MBR)工艺中。

浸没式超滤系统流程如图 2 所示,其工作方式 为 HFS-30 膜箱直接浸没在曝气池中,或将膜箱装于单独的膜池中。多个膜箱并排排布在一起形成一个膜列,直接与出水母管连接,出水母管再透过产水泵将过滤水抽出,在运行过程中通过鼓风机曝气,使得气泡上升冲刷超滤膜表面,减少膜表面污染物附着。该项目所采用的浸没式超滤膜产品技术规格见表 2。

3.2 乌达热电水源切换超滤设计参数

浸没式超滤用于循环水排污水回收利用,设置

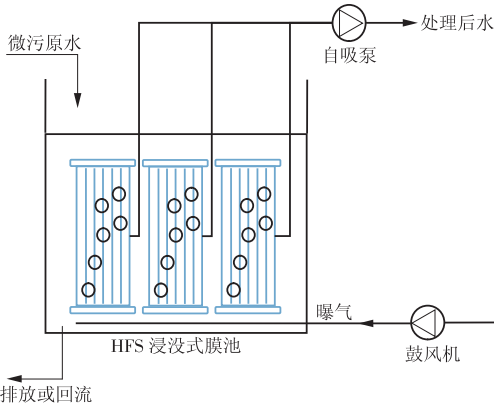


图 2 浸没式超滤流程

表 2 HFS-30 膜组件规格

项目	典型值
膜材料	聚偏氟乙烯(PVDF)
膜元件结构方式	带衬帘式膜
膜平均孔径/ μm	<0.04
膜元件面积/ m^2	30
最大透膜压差/ kPa	80
一般操作透膜压差/ kPa	7~50
最大反洗透膜压差/ kPa	69
最大操作温度/ $^{\circ}\text{C}$	40.0
产水悬浮物/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	<1
产水浊度/NTU	≤ 0.2

为 3 个系列单元,每个系列单元都能单独运行,也可以同时运行,系统净出力 $3\times 75\text{ m}^3/\text{h}$,2 用 1 备。表 3 为超滤系统的设计参数,膜净通量为 35 L/h ,回收率不低于 90%。浸没式超滤系统共采用 222 支 HFS-30 浸没式超滤膜片,膜池为防腐处理钢结构,共 3 个膜池,每个膜池设置 1 个膜框架单元,每个单元安装 74 片浸没式超滤膜片。

3.3 浸没式超滤系统运行参数

浸没式超滤系统的运行分为产水、反洗、化学加强洗和化学清洗几个部分。其中,日常制水过程中按照“产水+反洗”运行,固定间隔时间进行化学加强洗,当化学加强洗无法保证运行跨膜压差在 50 kPa 以内运行或每 3 个月到期时,需要进行离线化

表 3 浸没式超滤系统设计参数

设计参数	设计值
设计产水量/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	5 400 (225 m^3/h)
设计膜型号	HFS-30
膜池数(格)	3
每个膜池膜数量	74
总膜支数	222
设计净通量/($\text{L} \cdot \text{h}^{-1}$)	35
设计回收率/%	≥ 90

学清洗。浸没式超滤膜是将超滤膜置于构筑物内,污水进入构筑物后接触到超滤膜外表面,超滤膜通过膜抽吸水泵的作用,将清水透过膜孔进入膜管内侧从而分离出来,将污水中的颗粒物、污染物截留在水中。系统运行一定时间后,需要程序控制对膜组件进行反冲洗。反冲洗的主要目的是,防止渗滤液中的污染物在膜表面沉积,利用清水反向冲洗,使膜外表面的污染物质剥落下来。一般每次反洗时长为 0.5 ~ 1.0 min,超滤膜每过滤 15.0 ~ 30.0 min 进行一次反洗。反洗时曝气风机同时启动,对膜丝表面进行空气擦洗,清除表面附着的污染物。为保持膜的长期运行,需要定期对膜进行短期的化学加药浸泡,减缓膜表面的污染。通常为 1 ~ 3 天 1 次,每次 30.0 min,可以根据污染物的不同选择不同的清洗剂。为保持膜的性能,膜组件应该定期进行化学清洗,一般推荐 3 个月进行 1 次化学清洗。浸没式超滤膜系统详细运行参数见表 4。

表 4 浸没式超滤膜系统详细运行参数

项目	运行参数	周期
过滤	通 量 范 围 35 ~ 40 L/h,	10.0 min
	<69 kPa	
反洗	1.5 倍过滤通量,反洗压力 20 ~ 55 kPa	1.0 min
化学加强洗	900 mg/L 次氯酸钠	1 ~ 3 次/周
	2000 mg/L 柠檬酸	1 ~ 3 次/周
化学清洗(就地 清洗(CIP))	第 1 步 2000 mg/L 次氯酸钠	1 次/3 月
	第 2 步 2000 mg/L 柠檬酸	1 次/3 月

4 运行分析

系统自 2016 年 10 月正式投运,至今已超过 1 年,运行效果良好,出水水质稳定,确保了后续工艺系统的安全运行。

4.1 进水温度变化

在浸没式超滤装置运行时,记录超滤进水温度,由于循环排污水经过自然冷却后水温基本上维持在 20.0℃ 左右,水温随季节性变化有一定同向趋势

(如图 3 所示),温度波动范围为 11.5 ~ 28.7℃。

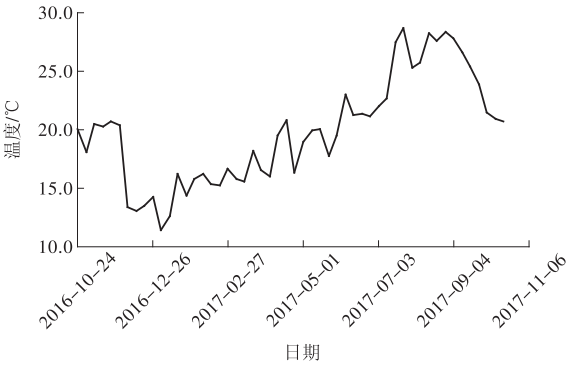


图 3 进水温度变化趋势

水温对运行工况的影响主要体现在,水温越低,水的黏度越高,造成运行压力升高,一般运行时,操作压力控制不变的情况下,仅水温的变化就会造成膜通量的对应变化。一般浸没式超滤标准运行温度为 25.0℃,与之偏差会造成温度对膜通量的影响,因此,对于膜运行工况的分析,需要进行温度校正后得到标准化运行参数,本项目的校正系数为 0.46 ~ 1.15。

4.2 通量变化(温度标准化)

本项目日常运行主要为电厂提供备用水源,基本上为单套开启,剩余 2 套轮换备用;冬季供热时,为 2 套开启,1 套备用。电厂运行主要通过超滤开启套数和超滤产水箱进行水量调节,因此,考察运行数据主要研究单套运行通量变化趋势,并按照温度校正系数将通量转换成 25.0℃ 标准条件下的标准化通量变化趋势进行研究。浸没式超滤膜运行通量及标准化通量变化趋势如图 4 所示。

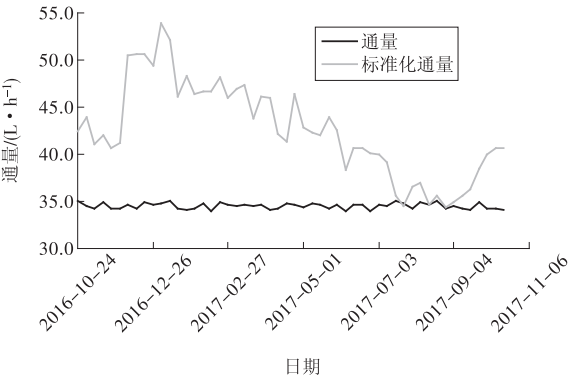


图 4 浸没式超滤膜运行通量及标准化通量变化趋势

由图 4 可知:随着时间的变化,系统净通量维持在 35 L/h 左右;经过标准化后发现,随运行时间增加,标准化通量有降低趋势,但趋势平缓。因此,可以判断存在一定量的不可逆膜污染,但其污染量较小,目前的清洗方式有效果。

4.3 跨膜压差变化

按照“跨膜压差 (TMP) = 进水压力 - 出水压力”公式计算出跨膜压差,由于进水压力为零,出水压力为自吸泵负压,故浸没式超滤膜的跨膜压差在不考虑液位差和管道损失的情况下,可近似视为自吸泵的运行压力。对浸没式超滤跨膜压差变化趋势进行研究,得出其变化趋势曲线如图 5 所示。

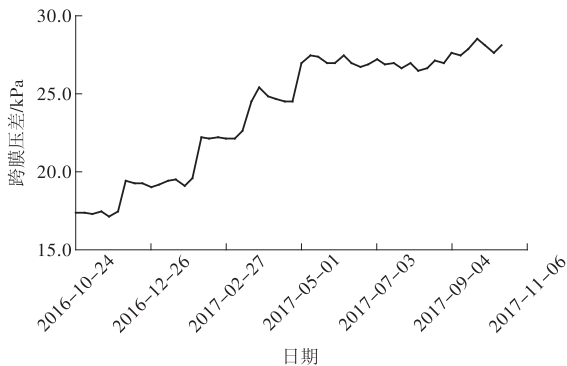


图 5 浸没式超滤膜跨膜压差变化趋势

由图 5 可知,跨膜压差随系统运行时长增加而增大,经过 1 年的运行数据分析,其跨膜压差基本稳定在 25 kPa 左右,系统运行较稳定。

4.4 浊度去除效果

通过对超滤系统进水母管浊度和超滤装置产水浊度对比分析(如图 6 所示),可直观了解超滤膜浊度去除效果。由图 6 可知,超滤系统原水浊度存在一定幅度波动,超滤装置出水的浊度一般维持在 0.1 NTU 以下,能很好地满足反渗透进水浊度的要求。可以看出,超滤装置对浊度的去除效果非常明显,并且在水质有波动的情况下,依然能保证水质稳定。

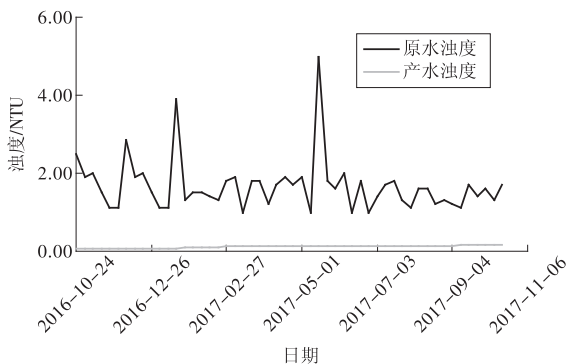


图 6 浸没式超滤膜浊度去除效果

4.5 产水 SDI 变化

浸没式对超滤膜产水 SDI 变化趋势如图 7 所示,可以看到,超滤系统出水 SDI 都在 3 以下,说明浸没式超滤应用在循环冷却排污水回用项目上,可确保产水 SDI 较为稳定,运行可靠。

目前,在反渗透膜的进水水质要求方面,SDI 是个关键指标,一般要求小于 4 即可满足要求。本项目

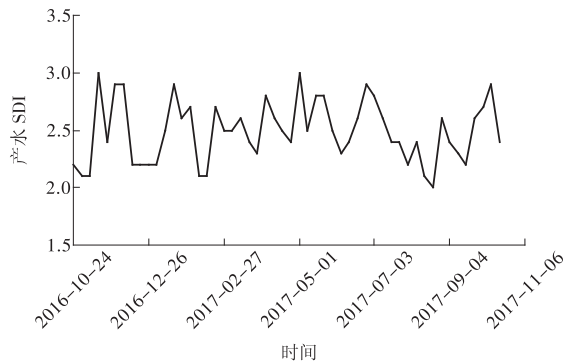


图 7 浸没式超滤膜产水 SDI 变化趋势

循环冷却排污水经过浸没式超滤膜过滤后,SDI 基本上小于 3,可满足进入反渗透膜的进水 SDI 要求。

5 结束语

电厂循环水综合利用是目前电厂在减排方面的重点研究领域,本文介绍了 HFS-30 超滤膜在北方内陆地区电厂实施循环排污水回用节水减排项目上的应用情况。该项目于 2016 年 8 月投入运行至今,水质达标,超滤及后续反渗透系统运行效果良好。从超滤运行数据分析,循环冷却水排污水温度变化不大,温度波动对通量的影响较小,由于水质特点,机械加速澄清池的出水有较大的波动性,虽然超滤进水浊度波动较大,但通过浸没式超滤膜过滤后,能保证出水浊度稳定在 0.1 NTU 以下,SDI 维持在 3 以下。国产浸没式超滤膜的可靠性在乌达热电运行中得到了检验,出水水质优良,过滤效果明显。

参考文献:

[1] 苏金坡,檀素丽,尹连庆,等. 膜法处理电厂循环冷却系统排污水的工艺研究[J]. 工业水处理,2005,25(12): 50-53.

[2] 田玲,王九思,李玉金. 水处理絮凝剂的絮凝原理及其研究进展[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版),2004,18(1):54-57.

[3] 孟宪革,谢春玲. 超滤/反渗透膜技术在循环冷却排污水回用中的工业应用试验[J]. 宁夏电力,2006(5): 62-66.

[4] 连坤宙,陈景硕,刘朝霞,等. 火电厂脱硫废水微滤、反渗透膜法深度处理试验研究[J]. 中国电力,2016,49(2): 148-152,175.

[5] 周秀凤. 浸没式膜系统的特点及应用[J]. 环保科技,2013,19(4):39-42.

(本文责编:白银雷)

作者简介:

冯暨伟(1981—),男,四川富顺人,工程师,硕士,从事膜分离技术方面的工作(E-mail:fsmilenow@126.com)。