

火力发电厂全中水处理系统膜污染防治技术研究

马海龙¹ 张得涛¹ 郭小东² 马正佳¹ 杨克冰¹

1. 华能酒泉发电有限公司 甘肃 酒泉 735000

2. 靖远第二发电有限公司 甘肃 靖远 736000

摘要: 随着国家节水要求,中水更广泛的被用为火力发电厂生产水源。某火力发电厂在实际运行中,中水水质存在浮动范围大,出现水质指标超标情况,加之系统周期制水量大,造成超滤膜与反渗透膜微生物、絮凝剂絮体(聚铁)和少量无机盐垢污染,对膜设备安全稳定运行造成一定影响。本文主要通过水处理系统进行查定,发现杀菌效果不理想,絮凝剂加药量不合理是造成膜污染的主要原因,并提出相应的解决措施。

关键词: 中水;中水处理系统;超滤;反渗透;污染

前言

随着我国积极推进城市市政再生水的回用,2020年城市市政再生水产量达0.609516亿m³/d,回用量135.38亿m³,再生水回用率60.9%^[1]。“水十条”和“十四五”规划等明确要求进一步提高污水处理率和再生水回用率,对工业的取水和用水也做了进一步限制^[2]。因此,城市市政再生水成为我国工业用水的重要水源之一。

火力发电厂是工业用水的大户,用水量占总用水量的8%左右^[3]。在政策法规进一步要求的背景之下,越来越多的火力发电厂特别是新电厂水源开始使用再生水,同时旧电厂也在进行中水回用改造。城市市政再生水替代常规水源已成为解决水资源短缺的不可或缺的重要举措。本文主要对市政再生水回用过程中,火力发电厂水

处理系统中膜处理设备运行时易发生的问题,分析原因并提出改进建议,提高水处理系统运行的可靠性。

1 中水水质

1.1 中水水质分析

城市市政污水水质较复杂,经城市污水处理系统可以去除大部分悬浮物、胶体、有机物、氨氮、磷等,但对碱度、硬度及盐类物质难以去除。为保障电厂设施的安全稳定运行,我国规定电厂循环冷却水和锅炉补给水的进水水质需满足GB/T 19923—2005《城市污水再生利用工业用水水质》的要求。目前火力发电厂主要采用石灰软化,混凝澄清,杀菌过滤工艺对再生水进行继续处理。某火力发电厂中水水质分析结果见表1-1。

表1-1 某火力发电厂中水水质分析结果

项目	单位	结果	项目	单位	结果
电导率	μS/cm	967	透明度		无色透明
pH		7.37	味		无味
K ⁺	mg/L	15.36	浊度	NTU	4.7
Na ⁺	mg/L	66.87	总硬度	mmol/L	3.28
Ca ²⁺	mg/L	88.82	非碳酸盐硬度	mmol/L	1.44
Mg ²⁺	mg/L	54.53	碳酸盐硬度	mmol/L	1.84
F ⁻	mg/L	0.38	甲基橙碱度	mmol/L	1.84
Cl ⁻	mg/L	69.80	酚酞碱度	mmol/L	0
SO ₄ ²⁻	mg/L	142.20	氨氮	mg/L	0.10
NO ₃ ⁻	mg/L	18.58	COD _{Cr}	mg/L	18.56
PO ₄ ³⁻	mg/L	0.36	BOD ₅	mg/L	5.4
悬浮物	mg/L	114.1	溶解固形物	mg/L	466.7
全硅(SiO ₂)	mg/L	2.43	全固形物	mg/L	580.8
离子分析偏差	%	2.48	非活性硅(SiO ₂)	mg/L	2.25

1.2 水质指标分析

(1) 中水硬度指标

由表1-1可知,该火力发电厂所使用中水的硬度值为3.28mmol/L,满足GB/T 19923—2005《城市污水再生利

用工业用水水质》中对硬度的要求。但仍要加强反渗透膜阻垢剂的投加,防止反渗透膜结垢。

(2) 中水COD、BOD₅的含量

COD含量的大小反映了水中受有机物污染的程度,数值越大说明水中受有机物的污染越严重。BOD₅是指在有氧的条件下,水中微生物分解有机物的生物化学过程中所需溶解氧的质量浓度,数值越大说明水中能被生物降解的有机物越多。该火力发电厂所使用的中水BOD₅/COD = 0.29 < 0.3,表示该中水难生物降解,不代表该中水微生物不能繁殖。

2 水处理系统概况

某火力发电厂锅炉补给水处理工艺为:城市中水→中水调节池→中水深度处理系统→生水箱→超滤给水泵→自清洗过滤器→超滤装置→清水箱→反渗透给水泵→反渗透保安过滤器→反渗透装置→离子交换除盐系统→除盐水箱。中水为城市市政二级处理再生水,市政自来水为备用水源,实际运行中全部为中水。

超滤装置为压力式,过滤方式为死端过滤。每套超滤装置额定产水量为115m³/h,出水浊度 ≤ 0.1NTU,出水污染指数(SDI₁₅) ≤ 4。反渗透装置为一级两段,按照12:6排列,每套反渗透共108根膜元件。每套反渗透装置额定出力为75m³/h,回收率为75%。

3 膜设备指标异常

冬季机组向城市供热,制水量增大。膜处理设备

运行期间,超滤跨膜压差上升至0.05Mpa,反渗透一段压差上升至0.44Mpa。测试超滤装置出水水质污染指数(SDI₁₅) = 5.8,大于反渗透进水要求。检查发现,超滤反洗水颜色较深为红褐色,取超滤进水水样静置后底部出现较多红褐色絮体。判断超滤膜主要存在聚铁污染。

反渗透进口保安过滤器滤芯附着较多生物粘泥和水线虫,且滤芯运行一周就需要更换。一段膜元件表面主要呈深红棕色,进水端覆盖一层褐色粘泥,有腥臭味,其灼烧减量为89.3%,对剩余的物质进行XRF分析,其主要成分为钙、铁及硅的化合物,其中二段膜表面较干净。判断反渗透膜主要存在聚铁和微生物污染及少量的无机盐垢。

为恢复膜设备性能,进行了在线化学清洗,清洗工艺为碱洗→杀菌→酸洗。清洗后膜设备恢复性能,但随着膜设备运行,特别是冬季机组供热时,水处理系统制水量增大,膜设备膜压差上涨较快,污染情况尤为严重。

4 膜设备污染原因分析

4.1 机械加速澄清池运行效果

城市中水浊度较低,机械加速澄清池运行过程中投加混凝剂(聚合硫酸铁)后,出水浊度和COD反而上升。主要原因为:(1)聚合硫酸铁加药量不合适,实际加药量为3.6mg/L,助凝剂加药量为0.5mg/L。混凝剂和助凝剂加药量较大。(2)澄清池泥渣量较小,分离效果不好,细小的絮体混合在出水中。机械加速澄清池进、出水水质分析结果见表4-1。

表4-1 机械加速澄清池进、出水水质分析结果

取样点	电导率 μS/cm	pH	浊度 NTU	Fe μg/L	全硅 mg/L	氨氮 mg/L	COD _{cr} mg/L
机械加速澄清池入口	989	7.74	3.77	33.5	15.79	0.10	18.31
机械加速澄清池出口	998	7.71	4.64	174.1	13.12	0.08	19.59

由表4-1可以看出,机械加速澄清池出水浊度、COD不降反升,出水铁含量上涨了5倍。澄清池运行状况不良,造成了出水混有絮体使浊度增大,造成超滤膜聚铁污染。

4.2 超滤反渗透系统水质监测分析

现场调研发现,目前只有机械加速澄清池入口设置杀菌剂加药点,杀菌剂为10%含量的次氯酸钠,加药量3-4mg/L,后续设备余氯含量不足,杀菌效果不明显。对水处理系统的余氯及细菌总数进行监测,具体分析结果见表4-2。

表4-2 水处理系统余氯及对应细菌总数

取样点	余氯 mg/L	细菌总数 CFU/mL
城市中水	0	6.05 × 10 ⁵
变孔隙滤池出口	0.155	6.85 × 10 ⁵

续表:

取样点	余氯 mg/L	细菌总数 CFU/mL
超滤装置入口	0.153	2.92 × 10 ⁴
超滤装置出口	0.049	3.34 × 10 ⁴
反渗透装置入口	0	5.54 × 10 ⁴
反渗透装置产水	0	4.65 × 10 ⁵

由水质分析结果可以看出,超滤装置入口余氯含量偏低,细菌总数较城市中水有所下降,但在反渗透装置仍然存在大量繁殖,由此可见微生物是造成膜设备污染的主要原因。

5 解决措施

5.1 优化机械加速澄清池加药量及混凝效果

优化运行方式,提高澄清池出水水质。具体措施:

(1) 进行烧杯混凝试验, 筛选出最优加药量, 依据GB 16881-2008《水的混凝沉淀试杯试验方法》, 取机械加速澄清池入口的水样, 按照0mg/L、1mg/L、2mg/L、3mg/L、4mg/L、5mg/L、6mg/L、7mg/L、10mg/L加量进行试验。具体试验步骤: 设定搅拌器转速120r/min搅拌2min, 调整转速40r/min搅拌10min后, 静置40min后用移液管

吸取上清液分析水质。经试验得出混凝剂最优加药量为2mg/L, 助凝剂最优加药量为0.3mg/L。(2) 调整搅拌器转速, 正常运行时一般转速在3.5~5r/min之间, 由于中水浊度较低, 分离室停留时间过短。

优化调整后机械加速澄清池进出口水质分析见表5-1。

表5-1 优化调整后机械加速澄清池进出水水质分析结果

取样点	电导率	pH	浊度	Fe	全硅	氨氮	COD _{Cr}
	$\mu\text{S}/\text{cm}$		NTU	$\mu\text{g}/\text{L}$	mg/L	mg/L	mg/L
机械加速澄清池入口	989	7.74	4.77	33.5	15.79	0.10	18.31
机械加速澄清池出口	991	7.71	1.64	43.5	13.12	0.08	16.5

测试超滤装置出水水质污染指数(SDI₁₅) \leq 2.0, 超滤运行情况得到了明显改善。

5.2 优化调整杀菌剂

依据DL/T 5483-2013《火力发电厂再生水深度处理设计规范》^[7]设计工艺流程要求将杀菌剂加药点调整至机械加速澄清池出口, 并优化调整杀菌剂投加量。通过杀菌剂投加量优化调整试验, 得到最佳杀菌剂加药量为4.5mg/L。对水处理系统的余氯及细菌总数进行监测, 具体分析结果见表5-2。

表5-2 水处理系统余氯及对应细菌总数

取样点	余氯	细菌总数
	mg/L	CFU/mL
城市中水	0	6.05×10^5
变孔隙滤池出口	0.432	32
超滤装置入口	0.353	15
超滤装置出口	0.249	5
反渗透装置入口	0	0
反渗透装置产水	0	0

由表5-2可以看出, 调整杀菌剂加药点和投加量后, 杀菌效果较明显, 反渗透保安过滤器滤芯更换时间延长。检查保安过滤器内部, 照片见图5-1, 由图可以看出保安过滤器内部几乎没有微生物粘泥, 运行状况良好。



图5-1 反渗透进口保安过滤器

结束语

综合水处理系统查定和水质分析, 超滤膜和反渗透膜主要为混凝剂絮体(聚铁)和微生物污染。通过对机械加速澄清池运行情况和杀菌剂投加量优化调整后, 超滤膜和反渗透膜污染得到明显改善。由于膜组件污染受水源、季节、处理方式、设备条件、维护方式等多因素影响, 运行人员应当加强水质监测, 不断总结运行经验, 保证膜设备安全稳定运行。

参考文献

- [1]中华人民共和国住房和城乡建设部.2020年城乡建设统计年鉴.(2021-10-11)Ministry of Housing and Urban-Rural Development,PRC (mohurd.gov.cn)
- [2]魏源送, 郑利兵等.热电厂中水回用深度处理技术与国内应用进展[J].水资源保护,2018,34(06):1-11+16.
- [3]SAFAR I I,WALKER M E,HSIEH M K,et al.Utilization of municipal wastewater for cooling in thermoelectric power plants[J].Fuel,2013,111:103-113.