4×100 t/h 循环水排污水膜处理系统运行实践及优化分析

郭包生, 杨立君, 宋莲杰, 韩 磊
(大唐国际托克托发电有限责任公司, 内蒙古托克托 010206)

摘 要: 介绍托克托发电厂循环水排污水处理系统运行中出现的问题, 以及分析思路和解决的方案。该系统在国内电力系统中投产较早, 规模较大, 在调试过程中取得了不少经验。目前该系统运行状况良好, 已成为后建的类似电厂学习的对象。

关键词: 循环水排污水; 超滤; 反渗透
中图分类号: TK223.5 **文献标识码**: B **文章编号**: 1003-9171(2005)12-0015-04

Analysis on Operation of Recirculating Water Blowdown Water Film Processing System

Guo Bao-sheng, Yang Li-jun, Song Lian-jie, Han Lei
(Inner Mongolia Datang International Tuoketuo Power Generation Co. Ltd., Tuoketuo 010206, China)

Abstract: This paper introduces the present problems in operation of recirculating water blowdown water processing system, some analytical thinking, and solution. This system, it's going into operation is earlier in the similar systems of domestic power enterprise. It's size is bigger. And a lot of experience is got by test running. Now, the operation of this system is very good. And It is becoming the aim of similar constructing power plant learning.

Key words: recirculating water blowdown water; super-filter; hyper-filtration

1 系统简介

大唐国际托克托发电有限责任公司(下称托电)循环水排污水处理系统(下称系统)主要包括2台出力450 t/h 的机械加速澄清池; 10 台直径为3 200 mm, 出力为67～83 m^3/h 的多介质过滤器(采用进口双速水帽, 内装细砂和无烟煤); 4 套出力167 t/h 的超滤装置; 4 套出力100 t/h 的反渗透装置。膜组件的设计水通量按照膜元件制造厂《导则》中规定的水通量低值选取。

系统流程如下:

循环水排污水→生水池→机械加速澄清池→多介质过滤器→超滤→5 μm 保安过滤器→反渗透→产品水箱。

生水池进水电动阀门根据生水池液位自动开启和关闭。澄清池内设置泥位监测仪表, 根据泥位定期自动排泥。多介质过滤器根据其累计制水量进行自动反洗。超滤装置的运行及反洗自动控制, 根据超滤水池的水位自动控制启、停。反渗透系统的运行根据超滤水池、渗透水箱的水位及系统制水量自动控制运行方式。

凝聚澄清、超滤、反渗透系统及整个水处理设备的控制系统采用一套 PLC 装置, 该装置设计有与全厂水控制点(在锅炉补给水车间)的通信接口。

1.1 机械加速澄清池

机械加速澄清池是利用池中积聚的泥渣与原水中的杂质颗粒相互接触、吸附, 以达到清水较快分离的作用, 可较充分发挥混凝剂的作用和提高澄清效率。如需加 PAM (聚丙烯酰胺), 必须选用相对分子质量为 400×10^4～800×10^4 的阴离子型或中性的 PAM。托电的实践证明, 机械加速澄清池对保证超滤、反渗透的稳定运行起到了非常重要的作用(从 2004 年 10 月底至 2005 年 4 月, 托电水塔循环水的浊度高达50～90 NTU, 但机械加速澄清池的出水一直很稳定, 维持在 5～10 NTU 左右)。

1.2 超滤系统

每套超滤系统净出力为167 t/h，设计水的利用率为90%左右，配置80根1.5 m长的225PVC，VFC0.8型膜元件，分别安装在20根压力容器中，压力容器材质为FRP，采取卧式布置，同反渗透相似，超滤膜以串联的形式安装在压力容器内。超滤膜采用荷兰NORIT公司的孔径为20 nm的中空纤维膜，由亲水性的聚醚砜中空纤维组成，水中的最小颗粒外径一般都大于20 nm，因此超滤系统能产出SDI指数小于2、浊度小于0.15的高品质水，托电超滤产水的SDI指数一般为1～2。

每一根超滤膜元件含有上千根中空纤维束，其有效过滤面积为35 m^2，截留相对分子质量为15×10^4，每根中空膜丝的内径为0.8 mm，为内压式。被截留的悬浮物、细菌、大分子有机物、胶体等堆积在中空纤维内表面，此时超滤膜的压差会逐渐增加，每运行20 min就用超滤产水进行1次反洗，反洗流量一般为产水量的3～4倍，反洗排水回收到生水池。反洗15次左右之后，分别进行1次加HCl的反洗和加NaClO的反洗，以增强反洗效果，清洗膜表面粘附着的不易冲洗掉的污染物和微生物。超滤反洗过程中，要求反洗压差小于0.05 MPa，并保证清洗水流量为150 L/(m^2·h)。超滤设备的运行、反洗程序见表1。

表1 超滤设备的运行、反洗程序

操作		时间	流量/($m^3\cdot h^{-1}$)	泵种类(3)
运行		21 min	167	清水泵
反洗		60 s	670	①
反洗加HCl 630 mg/L	反洗	60 s	670	①
	投药	60 s	350	①、②
	浸泡	10 min		
	冲洗	180 s	670	①
反洗加NaClO 200 mg/L	反洗	60 s	670	①
	投药	60 s	350	①、③
	浸泡	10 min		
	冲洗	180 s	670	①

注：(1)第1～2步骤循环进行15次左右，且运行和反洗为左右同时进出；

(2)每隔6 h左右进行1次第3步骤和1次第4步骤；

(3)①表示开启超滤反洗泵，②表示HCl计量泵；③表示NaClO计量泵。

超滤过滤类似常规的微孔过滤，为全量过滤，而不是横流过滤，即在过滤过程中无浓水排放。进水温度要求控制在20℃左右，温度太高，超滤膜水解加速。为避免大颗粒堵塞中空膜丝的通道，每套超滤进水装置配置1台精度为150 μm的管道式保安过滤器，进水压力一般小于0.2 MPa(不要超过0.3 MPa)，进出口压差要求小于0.1 MPa。

1.3 反渗透系统

反渗透出力为100 t/h，设计水的回收率为60%，配置120根1 m长的美国陶氏BW30-365FR膜元件，分别安装在20根材质为FRP的压力容器中。压力容器排列形式为一级两段，一段、二段比为13∶7，脱盐率不小于97%(3年内)，反渗透进水加HCl和阻垢剂，托电运行中控制进水pH为7～7.5，阻垢剂加药量约为6 mg/L。

2 托电2005年循环水水质统计分析

如图1所示，循环水浓缩倍率与总磷的变化规律基本相同；硬度、碱度及氯根波动变化的一致性很差。

如图2所示，循环水氯根与电导的变化规律基本相同，而硫酸根与氯根和电导波动变化的一致性很差。

如图3所示，循环水中COD_{Mn}一直大于10 mg/L(O_2含量，下同)，反映水中有机物的污染指数较高，现场应加强抑制微生物生长的工作，控制好系统粘泥。

如图4所示，循环水浊度一直大于20 NTU，现场应做好系统悬浮物及粘泥的控制工作。

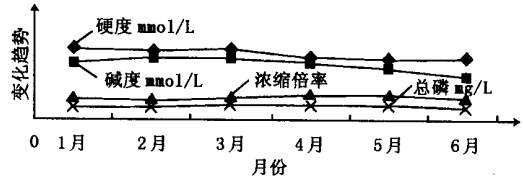

图1 循环水硬度、碱度、浓缩倍率、总磷变化图

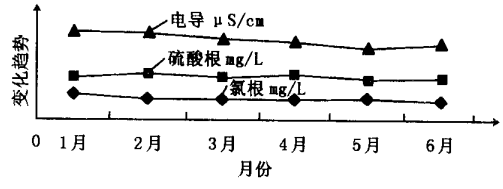

图2 循环水氯根、硫酸根电导变化图

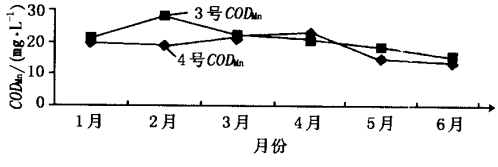

图3 循环水COD_{Mn}变化图

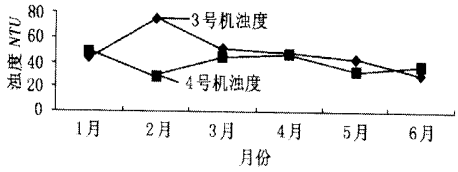

图4　循环水浊度变化图

3　运行中的问题及解决方案

3.1　保安过滤器5 μm 滤芯使用周期偏短

2004 年9 月16 日之前循环水排污水处理站的来水温度比较稳定, 维持在25℃左右, 5 μm 滤芯(下称滤芯) 状态一直很好, 没有更换过。

10 月2 日至 10 月19 日循环水排污水处理站的来水温度降低至20～ 15℃左右, 10 月20 日来水温度开始降至15～ 10℃左右, 滤芯压差开始上升至0. 09MPa, 10 月25 日来水温度降至7. 7 ℃, 滤芯压差在1 天之内上升至0. 2MPa, 10 月29 日1 号保安过滤器按厂家要求第1 次更换了滤芯。

10 月25 日至11 月26 日来水温度降至15～ 5℃, 滤芯压差上升速度加快, 11 月26 日1、2 号保安过滤器滤芯压差分别上升至0. 26MPa 和0. 28 MPa, 11 月27 日、12 月16 日, 2005 年1 月5 日、1 月9 日对1、2 号保安过滤器的滤芯又进行了4 次更换。

以 1 号保安过滤器为例, 第1～ 4 次更换滤芯的周期分别为110 天、30 天、20 天、4 天。

滤芯使用周期短的原因分析:

(1) 超滤水池内壁的防腐漆脱落, 水中杂质增多

2004 年10 月之前循环水排污水处理站的来水温度维持在 25℃左右, 波动很小, 超滤水池内壁热胀冷缩变化不大, 防腐漆破坏不严重, 因此脱落到水中的杂质较少; 而2004 年10 月之后, 循环水排污水处理站的来水温度降至20～ 7℃, 波动较大, 超滤水池内壁防腐漆受到热胀冷缩的影响, 脱落到水中的杂质增多, 滤芯使用周期越来越短。

(2) 超滤水池内壁的防腐工艺不适于5 μm 滤芯

在工艺流程中, 由于超滤出水先进入超滤水池, 然后通过提升泵进入保安过滤器, 超滤膜元件的出水精度是20 nm, 而5 μm 滤芯的出水精度是5 000 nm, 有超滤在前面把关, 5 μm 滤芯怎么会20 天就污堵呢? 问题应该出在超滤与保安过滤器之间的超滤水池上。

2005 年1 月10 日, 对 2 个超滤水池中的 1 个解列清理检查, 发现池底较干净, 但池内壁的防腐漆有多处手掌大的鼓包脱落, 而且内壁黑色的防腐漆用手能涂抹下来少量黑色颗粒, 每次更换下来的5 μm 滤芯表面也是呈黑色, 这说明超滤水池防腐工艺不当, 是造成5 μm 滤芯使用周期异常偏短的主要原因。

3.2　反渗透启动过程中材质为PVC 的产水管频繁爆裂

在 2004 年系统投运后, 反渗透启动过程中, 产水PVC 管频繁爆裂达10 次左右。分析认为, 反渗透启动过程中产水管排地沟门开启后, 使得反渗透产水侧排空并造成负压状态, 这种情况下, 启动反渗透高压泵后, 在反渗透产水管侧产生了"水锤"效应, 致使产水管爆破。

2004 年12 月6 日拆下了反渗透产水管排地沟门的气动头, 使得该阀门信号反馈正常(实际上阀门不再动作), 2 套反渗透产水管未再发生爆裂现象。该方法简单巧妙, 如通过更改程序, 取消反渗透启动前开启产水管排地沟门这一步, 工作将比较复杂。

3.3　反渗透装置的化学清洗

反渗透装置投运1 年以来, 每半年进行1 次化学清洗。第2 次清洗前后参数对比见表2。

3.3.1　2 号反渗透装置的化学清洗

2005 年 6 月29 日17：00 配 8 m^3 碱洗液(氢氧化钠浓度约0. 1%, EDTA 浓度约 0. 1%)。17：35 至6 月30 日2：00 清洗一段, 2：00 至9：00 清洗二段, 9：00 至 10：00 同时清洗一、二段, 11：30 至13：30 水冲洗。

6 月30 日14：15 配 8 m^3 酸洗液(盐酸浓度约 0. 2%)。15：30 至16：30 清洗一段, 16：30 至7 月1 日2：00 清洗二段, 2：00 至9：00清洗一段, 9：00 至10：00 同时清洗一、二段, 11：30 开始水冲洗, 14：00 投运。

3.3.2　1 号反渗透装置的化学清洗

2005 年 7 月4 日3：00 至 8：30 清洗二段, 测酸浓度约0. 08%, 补加30% 盐酸25 L, 9：30 开始药液循环, 投加热; 9：30 至 16：30 时清洗二段, 10：10 测酸浓度约 0. 21%, 13：30 测酸浓度约0. 18%; 16：30 至7 月5 日2：20 清洗一段, 3：00 至5：00 水冲洗。7 月6 日投运后各项参数良好, 因此未进行碱洗。

表2 第2次清洗前后参数对比

参数	2号反渗透装置		1号反渗透装置	
	清洗前	清洗后	清洗前	清洗后
反渗透装置进水温度/℃	27.81	28.19	27.81	28.21
反渗透装置进水pH	7.02	7.05	7.02	7.00
反渗透装置进水ORP/mV	370.93	429.58	370.93	405.16
反渗透装置进水电导/(μS·cm⁻¹)	1 603.5	1 710	1 603.5	1 615.3
一段进水压力/MPa	1.18	1.05	1.25	1.15
一段浓水压力/MPa	1.0	0.90	1.10	1.00
二段浓水压力/MPa	0.72	0.68	0.85	0.81
一段产水流量/(t·h⁻¹)	55	61	57.5	64.5
二段产水流量/(t·h⁻¹)	16	38	35	38
二段浓水流量/(t·h⁻¹)	70	71	68.7	68.5
产水电导/(μS·cm⁻¹)	34.59	51.7	49.07	49

4 优化建议和分析

(1) 循环水排污水冬季水温在10℃以下，夏季在30℃左右，对超滤膜和反渗透膜均不利。另外由于环境温度昼夜温差大，机组负荷也是昼夜波动大，导致冬季循环水水温昼夜温差大，造成冬季机械加速澄清池每天都产生“翻池”现象，出水浊度时常高达50～100 NTU，所以在系统设计时，需要重点考虑将凝汽器入口和出口的循环水按配比混合在一起，保证混合后的水温波动不大，维持在20～25℃，然后供给循环水排污水回用系统。例如可考虑分别在凝汽器入口和出口进入循环水排污水处理系统的管路上增加受温度测点控制的电动调节门，通过调节阀门开度控制从凝汽器入口和出口进入循环水排污水处理系统的水量，从而达到调节温度的目的。

(2) 超滤反洗加NaOH，有利于清洗膜表面粘附着的不易冲洗掉的污染物和微生物，但反洗水中含有絮凝剂的Al^{3+}，二者的溶度积极小，反应生成了大量乳状沉淀。所以，如果超滤前面的预处理系统采用了絮凝剂澄清处理，再加NaOH反洗超滤就不合理。

(3) 反渗透保安过滤器前面的水池防腐材料最好用PVC等板材，以免防腐漆或玻璃钢环氧树脂脱落后，频繁快速地污染5 μm滤芯。

(4) 由于超滤的自用水率随着超滤的污染程度的增大而增大，因此超滤出力要大于反渗透进水流量的20%左右，才能保证反渗透的连续稳定运行。

(5) 实践证明，加NaClO反洗超滤对降低超滤压差比加HCl反洗超滤更有效，而且NaClO溶液在偏酸性条件下的杀菌效果会更好(有关资料介绍，HClO比ClO^{-}的杀菌能力高100倍，在pH为7.5时，仅有50%的余氯以HClO形式存在；但在pH为6.5时，90%的余氯以HClO形式存在)，所以建议在设计NaClO加药系统时，应给NaClO药箱设计1根加HCl管，这有利于进一步提高加NaClO反洗超滤的效果。

(6) 加药反洗时，超滤反洗泵出力太大，使得进入超滤的药液浓度过低，不利于提高或控制合适的药液浸泡浓度，如果单设1台小流量反洗泵，专门用于加药这一步序，则有利于提高或控制合适的药液浸泡浓度，增强反洗效果，节约药品。

(7) 为了保证反渗透阻垢剂连续、均匀、准确地加入，托电以反渗透阻垢剂药箱液位的下降速度作为监控指标，当发现药箱液位的下降速度不符合要求时，及时调整加药计量泵的冲程和频率(这比监控加药计量泵的冲程和频率更准确合理，因为加药计量泵的冲程和频率并不能直观反映加药量，即使同样的冲程和频率情况下，也会由于系统阻力发生异常或加药箱、加药管路发生异常等因素导致加药量不能准确地加入)。

(8) 注意循环水水质状况，当循环水水质发生明显改变时或循环水加药处理方式(包括改变加药量和加药种类)改变时，应加强超滤和反渗透运行工况监督或将水源切换到水质更好的水塔。

(9) 当循环水排污水携带较多杀菌灭藻药剂产生的泡沫时，应将水源切换到水质更好，没有泡沫的水塔，或停运超滤和反渗透装置。源水携带泡沫将影响超滤和反渗透装置的正常运行，使反渗透产生“气塞”现象。

收稿日期：2005-09-19

作者简介：郭包生(1971-)，男，内蒙古大学化学专业毕业，高级工程师，现从事电厂化学专业技术管理工作。

H2Onote.com