



火电厂废水回用于循环冷却水系统处理工艺的研究

曾 芳¹, 苏金坡¹, 尹连庆¹, 李 刚², 候文佳¹

(1. 华北电力大学, 河北 保定 071003; 2. 马头发电有限责任公司, 河北 邯郸 056044)

[摘 要] 采用初沉隔油、生物接触氧化、絮凝沉淀、杀菌、过滤等工艺对马头发电有限责任公司厂区总排废水进行处理。运行结果表明,该工艺处理废水效率高,运行稳定,出水浊度 ≤ 5 NTU, $\text{COD}_{\text{Mn}} \leq 4.5$ mg/L, $\text{NH}_3 - \text{N} \leq 1$ mg/L, 满足了电厂循环冷却水补水要求。

[关键词] 火电厂; 废水; 循环冷却水; 生物接触氧化; 絮凝沉淀; 杀菌

[中图分类号] TM621.8

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-3364(2005)08-0052-04

马头发电有限责任公司(马电)总装机容量1 000 MW, 年用新鲜水量2 600万 t, 年排放废水总量约 219 万 t。废水主要包括生活污水、地面冲洗水、机组检修部分污水、煤场部分排水、输煤栈桥冲洗水等。废水水质变化较大, 特别是悬浮物与含油量。

马电所在的邯郸地区水资源短缺, 为节约用水, 减少环境污染, 提高全厂重复用水率, 马电投建污水处理厂对厂区废水进行回收利用。

1 废水处理工艺

1.1 废水处理水质指标

废水处理回用于循环水系统或厂区杂用水系统, 水质要求参照《火力发电厂凝汽器管选材导则》^[1], 结合厂内循环水补水要求确定。马电凝汽器管材为 HSn70-1A 锡黄铜管。废水处理系统进出水水质指标见表 1。

表 1 废水处理系统进出水水质指标 mg/L

项目	pH	油	COD_{Mn}	BOD_5	悬浮物	$\text{NH}_3 - \text{N}$
进水	6.5~9	1~30	4~20	7~22	34~105	1~6
出水	6.0~7.5	≤ 0.5	≤ 4	≤ 5	≤ 5	≤ 1.0

1.2 工艺流程

废水处理技术在国内外已相当成熟, 废水中主要污染物类型以及处理后回用的目的不同, 其处理工艺也不同^[2~4]。考虑到马电废水中生活污水占有较大比例, 因此在处理工艺中采用了生化处理。为了满足循环水补水的水质要求, 在生化处理后进行深度处理。废水处理工艺流程如图 1。

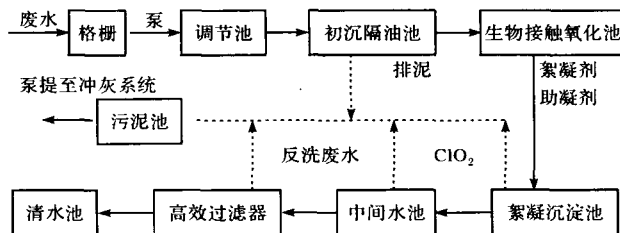


图 1 废水处理工艺流程

1.3 处理工艺的特点

(1) 与传统的生物接触氧化处理比较, 本工艺中生物接触氧化池具有以下优点: 1) 采用兼性生物与好氧生物在微氧条件下共同处理污水, 优化了微生物菌种, 使微生物接种挂膜快, 生长繁殖迅速; 2) 采用立体弹性填料, 保证了生物膜在整个填料层面上均匀生长, 不结



球;3)通过流体的合理变速流动,使装置本体动力消耗减少,氧利用率高,能耗低;4)剩余污泥量少,运行周期长,维护简便。

(2)采用 ClO_2 作为杀菌剂。 ClO_2 较其它杀菌剂有许多优点:杀菌效果好,用量少,作用快;杀菌能力受 pH 值影响小;温度升高,杀菌能力增强;杀菌效果持续时间长;除藻、除臭效果显著^[5,6]。使用 ClO_2 处理废水,设备简单、投资少、能耗小、操作管理方便,出水水质好^[7,8]。

2 工程概况及主要处理单元配置

2.1 工程概况

厂区外排废水总量约为 250 t/h,考虑到废水排放量变化及处理设施的缓冲能力,取来水不均匀系数为 1.2,工程设计处理量为 300 t/h。整个处理单元占地面积 5 000 m²,主要设施包括废水调节池、初沉隔油池、生物接触氧化池、絮凝沉淀池、中间水池、污泥池、化验室、控制室等,除废水调节池及污泥池建在地下外,其余均为地上建筑物。工程总投资 877.6 万元,于 2003 年 7 月 10 日正式开工,2003 年 12 月 20 日进入 168 h 试运行,通过了环保设施竣工验收。

2.2 设计指标

工程按照表 1 进出水水质指标进行设计。

2.3 主要处理单元

(1)废水调节池 废水调节池采用钢筋混凝土构造,地下式建筑,容积 600 m³,废水停留时间 60 min。调节池入口安装 1 台回转式格栅除污机,主要用于清除污水中较大的悬浮物。池内设有 3 台 160 m³/h 提升泵(1 台备用),并设 1 套投入式液位计。

(2)初沉隔油池 调节池出水经提升泵至初沉隔油池。经斜管沉淀,污水中大部分悬浮物被去除。池内装有浮子式隔油阀以除去废水中的浮油。初沉隔油池容积 375 m³,停留时间 35 min,斜管体积为 45 m³。

(3)生物接触氧化池 初沉隔油池出水自流进入生物接触氧化池,利用池内弹性立体填料载体上丰富的好氧微生物,对污水中的有机物进行氧化分解,去除绝大部分溶解性有机物及部分油类。生物接触氧化池容积 990 m³,废水停留时间 2.6 h。采用鼓风微孔曝

气方式,微孔曝气器 392 个,设计水气比为 1:2~1:4。每格设溶氧仪 1 台,控制出水溶解氧范围(2.0~3.0)mg/L。生物接触氧化池底部设有排泥装置,排泥周期为 5 天,每次排泥时间为(3~5)min。

(4)絮凝沉淀池 生物接触氧化池出水自流进入絮凝沉淀池,通过投加絮凝剂(PAC)和助凝剂(PAM),去除水中的大部分悬浮物及部分有机物。絮凝沉淀池容积 600 m³,废水停留时间 45 min,絮凝段设 LFI 絮凝搅拌机 2 台,斜管沉淀段斜管体积 45 m³。

(5)中间水池 中间水池通过投加 ClO_2 杀灭水中绝大部分微生物。 ClO_2 投加剂量为(3~6)mg/L,当余氯低于 0.2 mg/L 时加大投药量,余氯高于 0.5 mg/L 时减少投药量。中间水池容积 320 m³,池内设 3 台 155 m³/h 提升泵(1 台备用),并设 1 套投入式液位计。

(6)高效过滤器 中间水池出水经高效过滤器的过滤,水中的悬浮物和有机物被进一步去除。过滤机理主要包括颗粒迁移及粘附等作用,同时絮凝颗粒的吸附架桥作用也会存在。高效过滤器定期或根据出水浊度进行反洗,反洗水排向污泥池。高效过滤器的出水水质清澈,可直接补入循环冷却水系统。设高效过滤器 2 台,交替运行,出力 200 m³/h。

(7)污泥池 池中的污泥主要来自于初沉隔油池、生物接触氧化池、絮凝沉淀池。污泥定期排放,自流进入污泥池,经污泥泵提升至电厂冲灰系统。污泥池采用地下式建筑,设有 2 台流量 90 m³/h 的污泥泵。

3 处理效果及效益分析

3.1 处理效果

马电污水处理厂运行初期,出水水质波动较大,但随着生物接触氧化池处理效果的稳定及絮凝剂(PAC)、助凝剂(PAM)投药量的进一步优化,出水水质逐渐稳定。除 COD_{Mn} 偶有超标外,主要污染物的去除效果均达到了设计指标。系统对 COD_{Mn} 、 BOD_5 、氨氮的去除作用主要集中在初沉隔油池、生物接触氧化池和絮凝沉淀池,3 个主要处理单元对 COD_{Mn} 去除率大于 50%,对 BOD_5 去除率大于 60%,对氨氮去除率大于 60%。而高效过滤器主要降低出水浊度,对 COD_{Mn} 的去除率小于 5%。表 2 是污水处理厂进出水主要污染物的变化情况。

表 2 马电污水处理厂进出水主要水质指标

时间	BOD ₅ /mg·L ⁻¹		COD _{Mn} /mg·L ⁻¹		浊度/NTU		pH		NH ₃ -N/mg·L ⁻¹		细菌个数/个·L ⁻¹	
	进	出	进	出	进	出	进	出	进	出	进	出
12月22日	18.6	4.37	10.34	4.03	33.4	2.37	7.36	7.09	0.96	0.36	2.1×10 ⁶	9.7×10 ²
1月22日	20.7	3.38	11.2	3.67	29.8	1.19	8.10	7.87	3.01	0.86	7.6×10 ⁵	6.6×10 ²
2月22日	19.8	3.45	9.72	3.52	22.7	3.13	7.26	7.03	2.24	0.56	6.4×10 ⁵	7.2×10 ²
3月22日	15.9	3.56	7.23	3.42	15.7	2.16	6.97	6.86	1.09	0.47	8.3×10 ⁵	6.3×10 ²
4月22日	19.97	2.39	10.7	4.21	19.6	1.06	7.37	7.28	5.25	0.78	9.2×10 ⁶	8.6×10 ²
5月22日	23.7	4.25	12.3	4.31	35.2	2.36	7.78	7.43	0.76	0.28	8.6×10 ⁵	7.6×10 ⁶
6月22日	25.8	4.15	13.8	2.89	17.8	3.24	8.23	7.98	4.23	0.85	6.7×10 ⁶	4.6×10 ⁶
7月22日	24.3	3.68	14.3	3.49	25.7	2.23	7.85	7.46	3.37	0.67	7.6×10 ⁶	5.9×10 ⁶

由表 2 可见,系统出水 pH 值较进水有一定程度的降低,主要原因是絮凝剂(PAC)呈酸性,投加后会降低絮凝沉淀池出水 pH 值;同时氨氮的硝化反应是一个消耗碱度的过程,也会引起出水 pH 值的降低^[9]。

3.2 出水水质分析

污水经深度处理后是否可以作为循环冷却水的补充水,需要将其与循环冷却水补水的水质作进一步的对比分析,并按照国家环保总局、天津大学等单位提出的“冷却回用水质建议值”^[10](表 3)进行比较。马电经深度处理后的废水水质见表 3。

表 3 循环水补充水标准及马电深度处理后的出水水质

项 目	循环水补充水标准			马电出水
	一类(好)	二类(较好)	三类(允许)	
pH	6~9	6~9	6~9	7.5~8.5
浊度/NTU	<5	<10	<20	<5
COD _{Cr} /mg·L ⁻¹	<40	<60	<20	<20
氯离子/mg·L ⁻¹	<300			<150
电导率/μS·cm ⁻¹	<300	<1 000	<1 500	<1 100
总硬度/mmol·L ⁻¹	<2	<3.5		<8
NH ₃ -N/mg·L ⁻¹	<1	<60		<1

由表 3 和《火力发电厂凝汽器管选材导则》可以看出,除电导率、硬度偏高以外,废水经深度处理后的水质基本上能达到循环水补充水的二类标准,满足循环水系统的补水要求。马电在实际运行中,将深度处理后的污水和生水按 1:1 混合后补入循环水系统,维持系统浓缩倍率 2.0~2.5,凝汽器铜管腐蚀速度小于 0.005 mm/a,粘泥附着速度每月低于 10 mg/cm²。未发生因补水水质不合格而影响循环冷却水系统正常运行的情况。

3.3 效益分析

马电厂区年总排工业废水约 219 万 t。目前取水费用为 1.5 元/t,城市污水处理费用为 0.25 元/t,排污水费为 0.05 元/t。在南水北调工程投入运营后,预计取水费用将涨至 3 元/t 以上。

3.3.1 运行成本

工程设计处理量为 300 t/h,产水量按 250 t/h,运行费用构成如下:电费 0.18 元/m³,药品费用 0.065 元/m³,人工费用 0.086 元/m³,检修费用 0.18 元/m³,运行成本约为 0.511 元/m³,年运行成本为 111.91 万元。

3.3.2 经济效益

污水处理厂按目前运行情况每年可产清水 200 万 m³。处理后的清水全部用于循环冷却水系统,每年可节约取水费用 300 万元,同时免交排污费 60 万元,直接经济效益 360 万元/年。扣除系统年运行费用 111.91 万元,每年纯收益 248.09 万元。工程总投资 877 万元,预计三年半即可收回投资。

3.3.3 社会效益

项目实施后,马电每年可减少污水排放 219 万 t,有效避免了污水对附近生态环境、地下水体的污染,对改善本地的水资源环境有着重要的意义。

4 运行中应注意的问题

- (1)运行中有时出水 COD_{Mn} 偏高。经分析,酸性废水会导致生物接触氧化池生物膜脱落,影响有机物的去除效果。对于大多数微生物来说,适宜生长的 pH 范围为 6.0~9.0,因此应控制生物接触氧化池进水 pH 值在这一范围内。
- (2)每次加药应严格控制剂量,以确保实际加药量与理论值相同。同时应定期校核计量泵,以便及时掌握计量泵的实际流量。加药量应按流量成比例投加,



当出水浊度异常升高或降低时,应及时调整投药量。

(3)废水调节池容积较小且没有搅拌设备,而生活污水、煤场排水、输煤栈桥冲洗水及夏季雨水夹杂的大量悬浮物在废水调节池内沉积,使得调节池有效容积变小,调节能力降低。因此,应对废水调节池定期排泥。

5 结 论

马电污水处理厂的运行实践表明,电厂废水采用一级处理、二级生化处理和深度处理后,水质可满足循环水补充水的要求。将处理后的废水用作循环冷却水补水,既节约了水资源,又保护了环境,具有明显的经济效益、社会效益和环境效益。

【参 考 文 献】

- [1] DL/T 712-2000,火力发电厂凝汽器管材选材导则[S].
- [2] 李青,胡竹玲.发电企业的工业污水与生活废水回收技术[J].山东电力高等专科学校学报,2002,5(2).
- [3] 黄德勇,杨宝红,王璟,等.废水在电厂循环水系统中的应用[J].热力发电,2003,(5).
- [4] 王江华,殷同伟,王丽.热电厂废水的处理及利用[J].能源环境保护,2003,17(1).
- [5] 郑建华,韩舞鹰.新型消毒剂—— ClO_2 的制备方法及应用现状[J].水处理技术,2001,27(3).
- [6] 张固诚.稳定性二氧化氯在给水处理中的应用[J].工业用水与废水,2001,32(5).
- [7] 陈鸿林,张长寿,苏静.二氧化氯在工业废水处理中的应用[J].工业水处理,1999,19(6).
- [8] 毕向阳.二氧化氯和液氯在工业循环冷却水中的应用比较[J].山西化工,2000,20(4).
- [9] 梅翔,陈洪斌,高廷耀,等.微污染源水生物接触氧化处理工艺的启动与运行工况的调节[J].给水排水,1999,25(4).
- [10] 董辅祥,董欣东.城市与工业节约用水理论[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [11] 李贤贵.火电厂废水的净化与回收利用[J].石油化工环境保护,2001,(4).
- [12] 赵太平.黄岛电厂的废水回收利用[J].电力环境保护,2001,17(1).
- [13] 魏有权,王化军,张强.电厂冲灰水回用于冷却循环水系统的试验研究[J].环境污染治理技术与设备,2002,3(9).