



移动扫码阅读

肖艳.电厂循环冷却排污水达标外排处理试验研究[J].能源环境保护, 2021, 35(4):34-38.

XIAO Yan. Experimental study on standard discharge treatment of recirculating cooling sewage of a power plant [J]. Energy Environmental Protection, 2021, 35(4):34-38.

电厂循环冷却排污水达标外排处理试验研究

肖 艳

(中煤科工集团杭州研究院有限公司, 浙江 杭州 311201)

摘要:针对电厂循环冷却排污水有机物含量低、氮磷含量高的水质特点,采用同步生物氧化(SBOT)、澄清、砂滤、臭氧氧化及活性炭过滤相结合的处理工艺进行生产性试验。结果表明:SBOT水力停留时间4.5 h、好氧区溶解氧3.0 mg/L、C/N为2左右,澄清池上升流速 $1.93 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、聚合硫酸铝铁投加量35 mg/L、聚丙烯酰胺投加量为0.2 mg/L,滤池滤速8.2 m/h,臭氧投加量55 mg/L、接触时间30 min,活性炭滤池滤速6.8 m/h,出水 COD_{Cr} 最大为12.9 mg/L、最小为7.6 mg/L、平均为10.8 mg/L, NH_4^+-N 最大为0.86 mg/L、最小为0.12 mg/L、平均为0.47 mg/L, TN最大为8.8 mg/L、最小为6.2 mg/L、平均为7.7 mg/L, TP最大为0.21 mg/L、最小为0.08 mg/L、平均为0.15 mg/L, SS最大为2.4 mg/L、最小为0.5 mg/L、平均为1.7 mg/L,相应的平均去除率分别为64.4%、97.2%、75.7%、54.7%及91.9%,满足《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB 33/2169—2018)要求。

关键词:电厂循环冷却排污水;达标处理;SBOT;澄清过滤;臭氧氧化-活性炭吸附

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2021)04-0034-05

Experimental study on standard discharge treatment of recirculating cooling sewage of a power plant

XIAO Yan

(Hangzhou Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group, Hangzhou 311201, China)

Abstract: Based on the water quality characteristics of circulating cooling sewage of power plants, which are low organic matter and high nitrogen and phosphorus concentrations, a combined process of SBOT, clarification, sand filtration, ozone oxidation and activated carbon adsorption was applied for full-scale experiments. Under the conditions that hydraulic residence time (HRT) of SBOT = 4.5 h, dissolved oxygen (DO) in aerobic zone = 3.0 mg/L and C/N is about 2, the results of experiments show that the upward-flow velocity is $1.93 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, the dosage of polymeric aluminum ferric sulphate (PAFS) is 35 mg/L, the dosage of PAM is 0.2 mg/L, the filtration rate is 8.2 m/h, the dosage of ozone is 55 mg/L, the contact time is 30 min, and the filtration rate of activated carbon filter is 6.8 m/h. The maximum, minimum and average concentrations of COD_{Cr} are 12.9 mg/L, 7.6 mg/L and 10.8 mg/L, respectively. Those of NH_4^+-N are 0.86 mg/L, 0.12 mg/L and 0.47 mg/L, respectively. Those of TN are 8.8 mg/L, 6.2 mg/L and 7.7 mg/L, respectively. Those of TP are 0.21 mg/L, 0.08 mg/L and 0.15 mg/L, respectively. Those of SS are 2.4 mg/L, 0.5 mg/L and 1.7 mg/L, respectively. The average removal rates of COD_{Cr} , NH_4^+-N , TN, TP and SS are 64.4%, 97.2%, 75.7%, 54.7% and 91.9%, respectively. The effluent concentrations of those pollutants satisfy the requirements of Discharge standard of major water pollutants for municipal wastewater treatment plant (DB 33/2169—2018).

Key Words: Circulating cooling sewage of power plants; Standard treatment; SBOT; Clarification and filtration; Ozone oxidation and activated carbon adsorption

0 引言

火电厂是用水大户,其中循环冷却水用量占70%~80%,为解决城市水资源紧缺问题,越来越多的电厂采用城市中水作为循环冷却水水源^[3-4]。相对于地表水,城市中水具有水质稳定、水量可靠的优点^[1-2],相对于地下水,城市中水经济性高,对保护地下水资源及生态环境具有积极的意义^[5-6]。目前,城市污水外排一般执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A指标,经过进一步处理后可满足循环冷却水水质要求。为控制冷却塔结垢、生物泥生长及细菌滋生^[7-9],冷却水控制循环倍率3~5倍,经循环浓缩后,循环冷却排污水中的 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TP及SS等污染物浓度远超出城市水体环境,成为新的污染源^[8-9]。为此,各地区根据水体环境不同并参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)制定了地方排放标准,浙江省执行《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB 33/2169—2018),安徽省执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)准IV类。

目前,采用生物法降低水中 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN仍是最经济有效的方法^[10-11]。通常采用曝气生物滤池(BAF)和膜生物反应器(MBR)^[12-13],BAF需要投加大量碳源,运行过程需要定期反冲洗,滤料易板结;MBR膜成本高,使用寿命短,需要定期化学清洗。同步生物氧化工艺(SBOT)是针对低碳源生活污水研发的一种同步去除有机物和氨氮的技术^[14-15],碳需求量小、不需要反冲洗或化学清洗,脱氮效率高。考虑水中悬浮物及难降解有机物,生化后进一步采用混凝沉淀和化学强化氧化吸附技术。本文采用SBOT、澄清池、滤池、臭氧氧化、活性炭吸附工艺进行了生产性试验研究,为电厂循环冷却排污水达标外排或再利用提供技术参考。

1 试验装置与方法

1.1 试验水质

浙江某电厂循环冷却排污水水量为8000 m^3/d ,外排要求满足《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB 33/2169—2018)要求,原水水质及目标水质见表1。

表1 原水水质及目标水质

名称	COD_{Cr}	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	TN	TP	SS	pH
原水水质	53~102	9.6~29.3	28~45	1.2~2.5	17~24	7.2~7.5
目标水质	20	1.5	10	0.3	10	6~9

1.2 试验流程

试验工艺流程详见图1。循环冷却排污水收集在集水池中,自流进入SBOT,池底曝气,出水经水泵提升后进入澄清池,泵前投加混凝剂,泵后投加助凝剂,混凝沉淀后出水自流进入滤池,过滤出水经中间水池提升泵提升至臭氧氧化塔,出水自流进入活性炭滤池,出水达标外排或进一步回用。污水中 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TP主要在SBOT单元中去除,部分TP在澄清过滤单元去除,部分难降解 COD_{Cr} 在臭氧氧化、活性炭过滤单位去除。

1.3 试验装置

试验装置处理水量8000 m^3/d 。SBOT采用2组,每组6格,总有效容积1500 m^3 ,水力停留时间4.5h,SBOT内采用穿孔管鼓风曝气,载体为大孔隙高分子聚合物,型号De-CNitrogen,生物载体

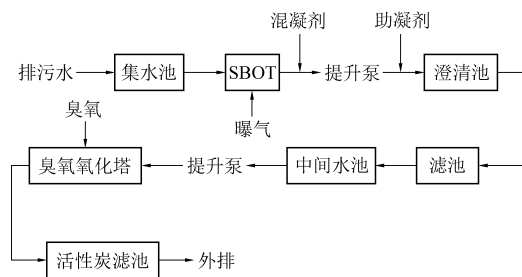


图1 试验工艺流程

Fig.1 Process flow chart of experiments

填充率为45%。澄清池2组,直径12.0m,澄清池上升流速1.93 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。滤池2组,滤料为石英砂、无烟煤双层滤料,厚700mm,正常滤速8.2 m/h ,臭氧氧化塔2组,活性炭滤池2组,炭层厚度2m,滤速6.8 m/h 。试验从2020年9月3日开始,至2020年10月2日结束。

1.4 试验与分析方法

1.4.1 试验方法

(1) SBOT 运行

试验初期,先将 SBOT 池注满水,投加 SBOT 专用菌种 300 kg,闷曝 3 天,进水量调至 1/3,每天投加菌种 100 kg,3 天后,进水量调至 2/3,每天投加菌种 50 kg,3 天后,进水量调至满负荷。保持池内溶解氧 2~4 mg/L,氨氮负荷为 0.27 kg/(m³·d),为使老化生物膜快速脱落,定期间歇加大曝气量。

(2) 澄清池运行

根据烧杯试验选取了除磷效果较好的聚合硫酸铝铁(PAFS)为混凝剂,投加量为 35 mg/L,聚丙烯酰胺(PAM)为助凝剂,投加量为 0.2 mg/L,运行至反应室污泥沉降比为 30%时开始排泥,运行初期药剂投加量增加 0.5~1.0 倍,稳定后逐步降低药剂量,排泥间隔时间为 2 h,每次排泥时长为 3~5 min。

(3) 滤池运行

通过间歇定时对滤池出水检测,最终确定反冲洗强度为 14.5 L/(s·m²)。

(4) 臭氧-活性炭过滤运行

臭氧接触时间 30 min,臭氧投加量 55 mg/L,活性炭滤池设气水反冲洗,气冲洗强度 15 L/(s·m²),水反冲洗强度 8.0 L/(s·m²)。

1.4.2 分析方法

采用国家标准方法对污水 COD_{Cr}、NH₄⁺-N、TN、TP 等水质指标进行分析。

2 结果与讨论

2.1 对 COD_{Cr} 的去除效果

试验分别考察了 SBOT、臭氧及活性炭过滤单元对 COD_{Cr} 的去除效果,见图 2。

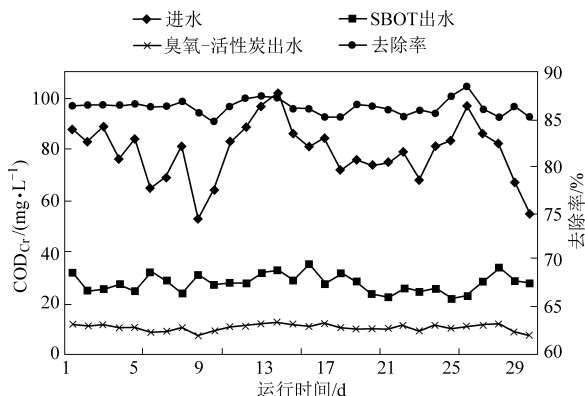


图2 对 COD_{Cr} 的去除效果

Fig.2 Removal effect of COD_{Cr}

从图 2 可见,SBOT 单元出水 COD_{Cr} 最大值 35.4 mg/L,最小值 22.1 mg/L,平均值 28.1 mg/L,平均去除率 64.4%。臭氧氧化-活性炭过滤单元出水 COD_{Cr} 最大值 12.9 mg/L,最小值 7.6 mg/L,平均值 10.8 mg/L,平均去除率 21.9%。COD_{Cr} 总体最大去除率 87.4%,最小去除率 84.7%,平均去除率 86.3%。该污水水源为城市中水,城市污水处理厂生化处理后,COD_{Cr} 多为难降解有机物,经测定 B/C 小于 0.3,可生化性差,SBOT 单元进水端的厌氧区以及池内多孔生物载体内部的厌氧环境为大分子有机物降解提供了有利条件。SBOT 单元末端出现少量玫瑰旋轮虫,说明单元内具有活性污泥的生理特性。臭氧氧化利用过程产物羟基自由基进一步降解有机物,活性炭对有机物的去除开始以物理吸附为主,运行一段时间,碳层表面形成一层生物膜,发生生物降解反应,活性炭滤池具有生物降解功能^[16]。

2.2 对 NH₄⁺-N 的去除效果

对 NH₄⁺-N 的去除效果见图 3。

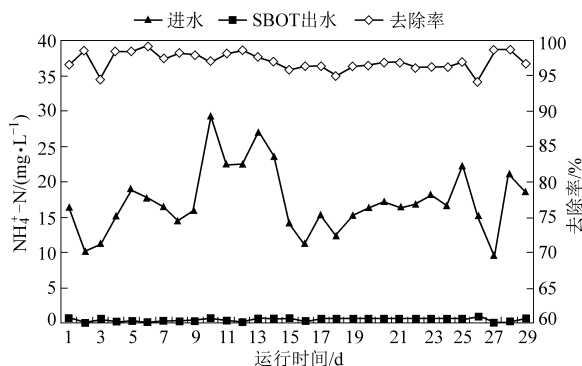


图3 对 NH₄⁺-N 的去除效果

Fig.3 Removal effect of NH₄⁺-N

从图 3 可见,SBOT 单元出水 NH₄⁺-N 最大为 0.86 mg/L,最小为 0.12 mg/L,平均为 0.47 mg/L。NH₄⁺-N 最大去除率为 99.3%,最小为 94.4%,平均为 97.2%。SBOT 单元 NH₄⁺-N 的去除效果与曝气均匀度、曝气量、生物载体量密切相关,一定范围内溶解氧含量越高,NH₄⁺-N 去除效果越好。试验中发现,溶解氧超过 6 mg/L 时,生物载体磨损增加,总氮去除效果受到影响,分析原因为过高的溶解氧为好氧菌大量生长繁殖提供条件,导致大量消耗可降解有机物,水中有机物含量过低,混合液中夹带氧气回流进入厌氧区,不利于厌氧菌和兼性菌的生长繁殖。为节省能耗,降低碳源消耗,保证总氮脱除效果,溶解氧控制在 3.0 mg/L 左右。

2.3 对 TN 的去除效果

对 TN 的去除效果见图 4。

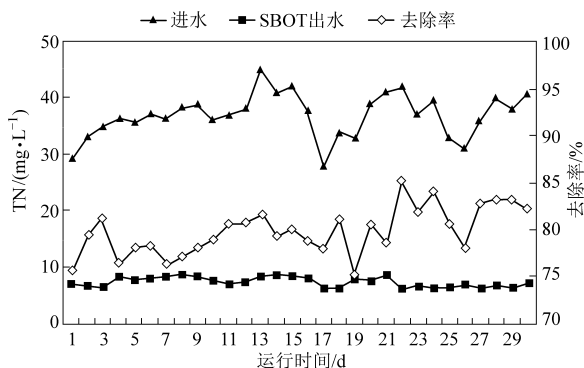


图 4 对 TN 的去除效果

Fig.4 Removal effect of TN

从图 4 可见,SBOT 单元出水 TN 最大为 8.8 mg/L,最小为 6.2 mg/L,平均为 7.7 mg/L。TN 最大去除率为 81.5%,最小为 75.1%,平均为 75.7%。TN 的去除效果与 C/N、回流比、pH 密切相关。SBOT 单元结合了生物膜法和活性污泥法两者特性,池内水流切割气泡运动,氧利用率高,生物载体固定微生物后形成流化状态,微生物量可达 10~20 g/L,单个生物载体(7.5 cm×7.5 cm×7.5 cm)由内到外依次形成厌氧、缺氧、好氧的微环境,形成上万个短程硝化反硝化及厌氧氨氧化微单元,在低 C/N(2.0 左右)条件下仍具备较好的脱氮效果。

2.4 对 TP 的去除效果

对 TP 的去除效果见图 5。

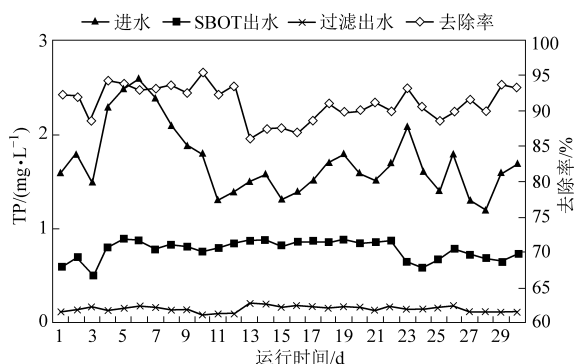


图 5 对 TP 的去除效果

Fig.5 Removal effect of TP

从图 5 可见,SBOT 出水 TP 最大为 0.94 mg/L,最小为 0.52 mg/L,平均为 0.78 mg/L,过滤出水 TP 最大为 0.21 mg/L,最小为 0.08 mg/L,平均为 0.15 mg/L,TP 去除率最大为 95.5%,最小为 86.0%,平均为 91.2%。TP 的去除主要依靠生化

需要辅助化学除磷^[17],澄清单元投加的聚合铝铁水解产生氢氧化铁,氢氧化铁凝胶团吸附磷酸根,生成 FePO_4 、 $\text{Fe}_{2.5}\text{PO}_4(\text{OH})_{4.5}$ 等难溶化合物^[18]。

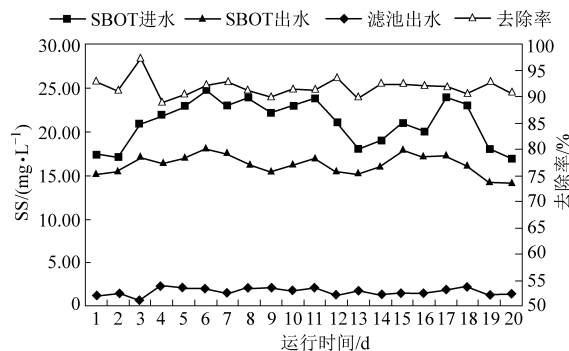


图 6 对 SS 的去除效果

Fig.6 Removal effect of SS

2.5 对 SS 的去除效果

对 SS 的去除效果见图 6。从图 6 可见,SBOT 单元出水 SS 最大为 18.2 mg/L,最小为 14.3 mg/L,平均为 16.3 mg/L。过滤出水 SS 最大为 2.4 mg/L,最小为 0.5 mg/L,平均为 1.7 mg/L。SS 去除率最大为 97.6%,最小为 89.1%,平均为 91.9%。SS 主要为老化脱落的生物膜及部分无机污泥颗粒,少部分通过底部排泥管排走,大部分在澄清单元混凝沉淀去除,残余少部分胶体物过滤去除。

3 结 论

(1) 采用 SBOT、澄清、过滤、臭氧氧化、活性炭吸附工艺相结合,处理电厂循环冷却排污水,出水 COD_{Cr} 最大为 12.9 mg/L,最小为 7.6 mg/L,平均为 10.8 mg/L; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 最大为 0.86 mg/L,最小为 0.12 mg/L,平均为 0.47 mg/L; TN 最大为 8.8 mg/L,最小为 6.2 mg/L,平均为 7.7 mg/L; TP 最大为 0.21 mg/L,最小为 0.08 mg/L,平均为 0.15 mg/L; SS 最大为 2.4 mg/L,最小为 0.5 mg/L,平均为 1.7 mg/L。可满足《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB 33/2169—2018)要求。

(2) SBOT 工艺对难降解、低碳源污水具有较好的处理效果,水力停留时间 4.5 h,溶解氧 3.0 mg/L,生物载体填充率 45%。 COD_{Cr} 平均去除率 64.4%,氨氮平均去除率 97.2%,TN 平均去除率 75.7%,TP 平均去除率 54.7%。较传统生化工艺,具有水力停留时间短、占地面积省、能耗低、不需要投加碳源、运行成本低的优点。

(3) 澄清单元上升流速 $1.93 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,聚合硫酸铝铁(PAFS)投加量为 35 mg/L,聚丙烯酰胺(PAM)投加量为 0.2 mg/L,滤池滤速 8.2 m/h,

可有效去除水中 TP 和 SS, 具有运行管理简单、出水稳定的优点。

(4) 臭氧氧化、活性炭吸附可进一步去除难降解有机物, 臭氧投加量 55 mg/L, 接触时间 30 min, 活性炭滤速 6.8 m/h, COD_{Cr} 去除率 21.9%, 随着运行时间的延长, 活性炭逐步发挥了生物活性炭过滤的作用。

参考文献

- [1] 李锐, 何世德, 张占梅, 等. 城市中水在电厂循环冷却水系统的应用与展望 [J]. 环境科学与管理, 2008, 33 (3): 152-155.
- [2] Wijesinghe B, Kaye R B, Fell C. Reuse of treated sewage effluent for cooling water make up: A feasibility study and a pilot plant study [J]. Water Science & Technology, 1996, 33 (10-11): 363-369.
- [3] 席占生. 城市中水作为电厂水源的可行性分析方法研究 [D]. 北京: 清华大学, 2005: 34.
- [4] 罗利家, 何绍良, 王传军, 等. 中水回用于循环冷却水系统的研究 [J]. 中国电力, 2006 (11): 17-20.
- [5] 王建华, 江东, 姚治君, 等. 现代水资源评价及水资源学学科体系研究 [J]. 地球科学进展, 2002, 17 (1): 12-17.
- [6] 李冰, 赵乐军, 邵林. 我国城市中水回用于工业循环冷却水的现状及建议 [J]. 工业水处理, 2007, 27 (7): 89-92.
- [7] 陈林, 刘东征, 陈永祥. 火力发电厂水处理及水质控制 [J]. 化工管理, 2018, 491 (20): 204-205.
- [8] Gunten U V. Ozonation of drinking water: part I. Oxidation kinetics and product formation [J]. Water Research, 2003, 37 (7): 1443-1467.
- [9] Gunten U V. Ozonation of drinking water: Part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine [J]. Water Research, 2003, 37 (7): 1469-1487.
- [10] 邵青. 水处理及循环再利用技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 49-50.
- [11] Wang W L, Free M L. Prediction and measurement of corrosion inhibition of mild steel using nonionic surfactants in chloride media [J]. Corrosion Science, 2004, 46 (10): 2601-2611.
- [12] 格根图雅, 丁杰, 苏尼娜, 等. 膜生物反应器在城市中水回用中的应用 [J]. 水处理技术, 2008 (10): 76-79.
- [13] 张汝玲. 膜生物反应器在废水处理中的应用 [J]. 科海故事博览: 科教创新, 2011 (4): 39.
- [14] 肖艳. 煤矿工人村生活污水处理脱氮工业性试验研究 [J]. 辽宁工程技术大学学报, 2015 (7): 40-43.
- [15] 肖艳. 城镇污水处理厂提标改造多污染物深度去除实践 [J]. 能源环境保护, 2020, 34 (6): 51-54.
- [16] Imai A, Matsushige K, Nagai T. Trihalomethane formation potential of dissolved organic matter in a shallow eutrophic lake [J]. Water Research, 2003, 37 (17): 4284-4294.
- [17] Uhlmann D, RöSke I, Hupfer M, et al. A simple method to distinguish between polyphosphate and other phosphate fractions of activated sludge [J]. Water Research, 1990, 24 (11): 1355-1360.
- [18] 李久义, 吴晓清, 陈福泰, 等. Fe (III) 对活性污泥絮体结构和生物絮凝作用的影响 [J]. 环境科学学报, 2003, 23 (5): 582-587.