



文章栏目：工程创新与行业动态

DOI 10.12030/j.cjee.201911090

中图分类号 X703.1

文献标识码 A

沈家辰, 黄梦霞, 谢国建, 等. 高校实验室废水处理站的运行与调试[J]. 环境工程学报, 2020, 14(7): 1950-1957.

SHEN Jiachen, HUANG Mengxia, XIE Guojian, et al. Daily operation and management of wastewater treatment station in university laboratories[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(7): 1950-1957.

高校实验室废水处理站的运行与调试

沈家辰¹, 黄梦霞¹, 谢国建², 蔡鲁祥³, 毛芝娟¹, 沙昊雷^{1,*}

1. 浙江万里学院生物与环境学院, 宁波 315100

2. 杭州市萧山区人民政府南阳街道办事处, 杭州 311227

3. 宁波财经学院艺术设计学院, 宁波 315175

第一作者: 沈家辰(1996—), 男, 硕士研究生。研究方向: 环境污染防治等。E-mail: 965433088@qq.com

*通信作者: 沙昊雷(1981—), 男, 硕士, 高级实验师。研究方向: 环境监测等。E-mail: hlsha@zww.edu.cn

摘要 针对宁波某高校实验室废水处理站运行情况, 研究了该废水处理站 pH、NH₃-N、COD 以及重金属的处理效果, 并对生物膜镜检和胞外聚合物 (EPS) 提取分析。实验结果表明: 出水 COD 小于 40 mg·L⁻¹, NH₃-N 去除率维持在 70%~90%, 且出水 pH、NH₃-N、COD 均满足《污水综合排放标准》(GB 8978-1996) 一级排放标准, 重金属满足《污水综合排放标准》(GB 8978-1996) 三级排放标准; 但运行期间废水处理站出现了 COD 和重金属去除效率低的情况, 最终确定原因为废水处理站低负荷运行以及中和调节池和接触氧化池曝气过度。因此, 建议减少中和调节和接触氧化池的曝气量, 并适当投加碳源以保持废水站稳定运行。

关键词 实验室废水; 废水处理站; 生物膜; 运行调试

我国高等教育水平的不断发展和科研活动的日渐频繁, 导致产生了大量的实验废水^[1]。而实验废水常含有毒有害的化学物质, 直接排放不仅会对环境造成多样性的污染, 危害到人们生活健康^[2-3], 并有可能对污水处理厂造成损害^[4]。不同实验室科研课题不同, 实验项目不同, 与其他废水相比, 实验室废水成分更为复杂^[5]。实验室废水不仅具有间歇性强、数量少、危害大等特点^[6], 而且处理起来难度较大, 因此, 科研人员一直在寻求一种经济、绿色、高效的处理方法^[7-8]。本研究以某高校实验室废水处理站(简称废水站)为研究对象, 综合评价了废水站的处理效果、运行情况、生物膜性状, 以为高校和科研单位实验室废水的处理提供参考。

1 实验部分

1.1 实验室废水来源、水质及工艺介绍

废水站收集的废水为 2 幢从事生物、环境、食品教学研究的实验楼排放的实验废水, 包括强酸强碱溶液、有机废液、清洗废水和一些伴随教学活动间歇排放的低浓度重金属、细菌等实验废液, B/C 为 0.4~0.5, 可生化性较好。高浓度的有机废液、重金属废液等未纳入本废水站, 经收集后统一处置。

废水站选用的处理工艺为生物膜法, 因为生物膜法具有容积负荷高、抗负荷冲击能力强等优

收稿日期: 2019-11-17; 录用日期: 2020-03-01

基金项目: 宁波市公益类科技计划项目(2019C50002); 浙江省科技计划项目(2017C37071)

点,可以较好地针对实验室废水间歇性强、水质变化较大的特点来进行处理,且占地面积小。设计每天运行20 h,处理废水水量为 $0.5\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,化学需氧量(COD)为 $150\sim 800\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,生化需氧量(BOD_5)为 $80\sim 400\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,悬浮物(SS)为 $120\sim 520\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)为 $6\sim 45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,总铜为 $2\sim 4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,总锌为 $5\sim 10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。实验室废水收集后经废水站处理,出水要求达到《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)三级标准,内部质控要求达到一级标准。设计处理水质及排放标准见表1,废水站主要构筑物见表2。

表1 实验室废水处理的设计水质及排放标准

Table 1 Design water quality and discharge standards for laboratory wastewater treatment

水质及标准	COD/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	BOD_5 /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	SS/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_3\text{-N}$ /($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	总铜/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	总锌/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	pH
设计水质	150~800	80~400	120~520	6~45	2~4	5~10	—
三级排放标准	500	300	400	—	2.0	5.0	6~9
一级排放标准	100	20	70	15	0.5	2.0	6~9

废水经过格栅去除大颗粒不溶解物质后,首先用泵从集水井打入中和调节池调节水质,再进行兼氧(A)和好养(O)两段生物反应。在A段反应过程中,通过微生物兼氧水解,提高废水可生化性并去除部分污染物,该反应于水解酸化池中进行。在O段反应过程中,通过异养菌经好氧代谢进一步分解去除污染物,该过程由2个接触氧化池完成,在水解酸化池和接触氧化池中,悬挂组合填料,以供微生物生长挂膜。随后流入沉淀池,将脱落的生物膜沉淀分离。最后经过消毒池消毒处理排入市政管网。废水站工艺流程见图1,废水站概况见图2。

表2 废水处理站主要构筑物

Table 2 Main structure of the sewage treatment station

建筑名称	数量/个	长/m	宽/m	高/m
集水池	1	3.0	5.0	3.0
中和调节池	1	2.0	1.8	2.3
水解酸化池	1	2.0	2.0	2.3
接触氧化池	2	2.0	1.5	2.3
沉淀池	1	1.0	0.8	2.0
消毒池	1	1.0	0.8	2.0
出水井	1	—	—	—
污泥池	1	1.0	1.0	2.0

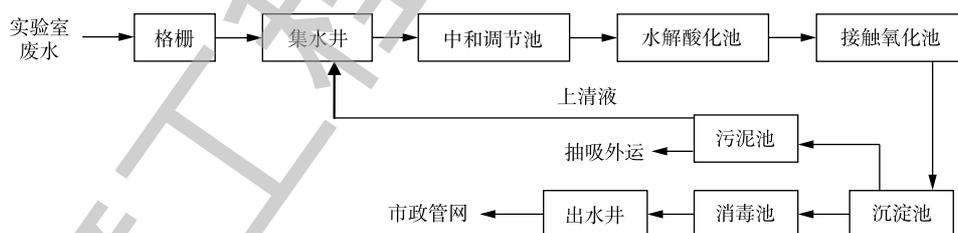


图1 废水站工艺流程图

Fig. 1 Process flow chart of the wastewater station

1.2 材料与方法

实验中各项指标的检测方法和设备^[3,9-11]见表3。实验中所用的生物膜取自废水站接触氧化池组合填料,所用试剂均为分析纯。

在实验过程中,每间隔2~3 d,对中和调节池、水解酸化池、接触氧化池和消毒沉淀池的pH、DO、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、COD、重金属的含量进行1次监测。综合考虑文献中的方法^[11-14],本



(a) 废水站外观

(b) 废水站内部

图2 废水站概况

Fig. 2 Overview of wastewater station

表3 水质检测依据及仪器

Table 3 Methods and instruments for water quality test

指标	分析标准	测定仪器或设备
浊度	散射法	XZ-0101-E智能浊度仪
SS	国家标准(GB 11901-1989)	玻璃漏斗、烘箱等
pH	玻璃电极法	便携式pH测定仪
DO	电化学探头法	便携式DO测定仪
NH ₃ -N	水杨酸-次氯酸盐光度法	UV-1800型紫外可见分光光度计
COD	重铬酸盐法(GB/T 11914-1989)	电炉、滴定管、铁架台等
重金属	原子吸收分光光度法	WYS-2200原子吸收分光光度计
MLVSS	标准测定方法	烘箱、马弗炉等
EPS	加热法	漏斗、量筒、水浴锅等
蛋白质	双缩脲法	UV-1800型紫外可见分光光度计
多糖	硫酸-苯酚法	UV-1800型紫外可见分光光度计
DNA	二苯胺显色法	UV-1800型紫外可见分光光度计

次实验采用效果较好的加热法提取 EPS。取 50 mL 泥水混合液，于 3 500 r·min⁻¹ 离心 10 min 后，弃去上清液，加蒸馏水，补足体积后混匀，重复 3 次，制得混合液；将混合液在 80 ℃ 水浴中，加热 40 min 后，在 12 000 r·min⁻¹ 离心 15 min，取上清液，用孔径为 0.22 μm 的滤膜过滤得到 EPS^[11-13]。EPS 浓度用蛋白质、多糖、DNA 之和表示。

2 结果与讨论

2.1 进水、出水水样表观结果

在调试实验 1 个月期间，废水站的进出水流量、自动监控设备及各项处理设施均运行正常。废水站进水、出水水质见图 3 和图 4。由图 3 和图 4 可知，进水水质颜色偏黄，内含较多肉眼可见不溶颗粒，测量显示浊度为 62.91 NTU，SS 为 323.1 mg·L⁻¹；经废水站处理后，出水有了明显的改善，水质澄清透明，无明显的颜色，无肉眼可见不溶性颗粒，出水浊度为 2.37 NTU，SS 为 63.2 mg·L⁻¹。



图3 处理前进水水质外观

Fig. 3 Appearance of inlet water quality before treatment

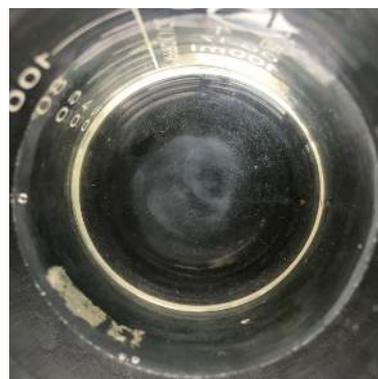


图4 处理后出水水质外观

Fig. 4 Appearance of effluent water quality after treatment

2.2 pH、DO、NH₃-N、COD 去除效果

调试实验阶段 pH、DO、NH₃-N、COD 监测情况见图 5~图 8。水解酸化、接触氧化过程最佳 pH 分别为 6.0~8.0 和 6.5~9.5^[3,15]，由图 5 可见，废水站各单元 pH 均可保持在最佳范围内。最终出水

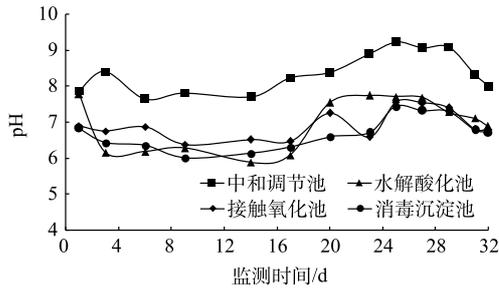


图5 监测期间 pH 的变化

Fig. 5 Change of pH during monitoring period

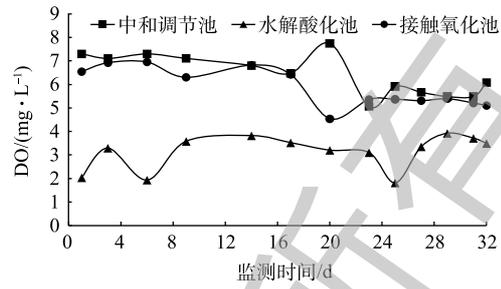


图6 监测期间 DO 的变化

Fig. 6 Change of DO during monitoring period

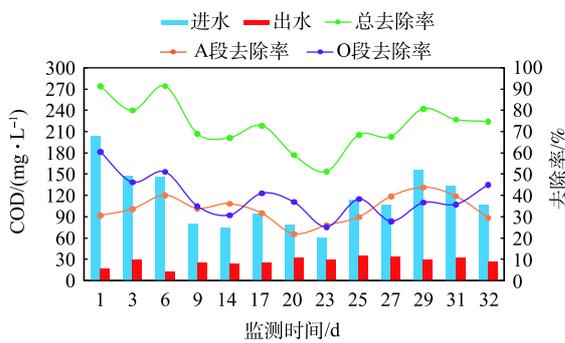


图7 监测期间 COD 及去除率的变化

Fig. 7 Change of COD and removal rate during monitoring period

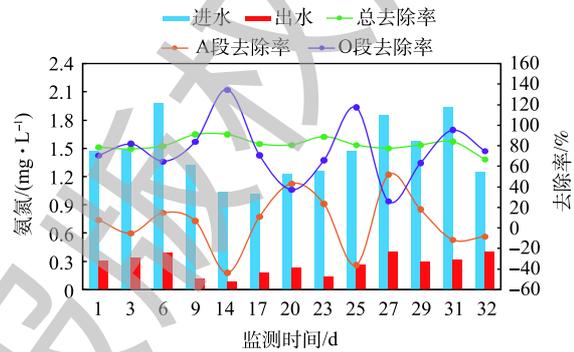


图8 监测期间 NH₃-N 及去除率的变化

Fig. 8 Change of NH₃-N and removal rate during monitoring period

pH 满足《污水综合排放标准》(GB 8978-1996) 一级标准 (pH=6~9)。

水解酸化过程 DO 须维持在 $0.2\sim 0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ [13,16]；接触氧化过程 DO 须维持在 $2.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上 [17-18]。由图 6 可见，水解酸化池 DO 长期高于 $2.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，接触氧化池 DO 处在 $5.0\sim 7.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。究其原因，发现水解酸化池无法维持兼氧环境是由于中和调节池过度曝气的高 DO 废水 ($5.0\sim 8.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 流入所致；而接触氧化池虽能满足氧化条件，但长期过度曝气可能会造成菌胶团破碎，使微生物活性减小 [19]。

由图 7 可见，废水站进水 COD 低于 $200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，经处理后出水 COD 可低于 $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，平均去除率为 72.98%，出水可以满足《污水综合排放标准》(GB 8978-1996) 一级标准，A 段 COD 平均去除率为 33.66%，略低于 O 段 (39.32%)。期间，接触氧化池 COD 容积负荷为 $0.09\sim 0.30\text{ kg}\cdot(\text{m}^3\cdot\text{d})^{-1}$ ，长期低负荷运行，不仅导致细菌生长繁殖受到抑制，还会降低生物膜 EPS 浓度，影响了污染物的吸附和分解 [20-21]，因此，在 20~23 d，COD 的去除率低于 60%。

由图 8 可见，实验室排放的废水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量低于 $2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，经废水站处理后，出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量均小于 $0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，去除率稳定维持在 70%~90%，出水满足《污水综合排放标准》(GB 8978-1996) 一级标准。且 $\text{NH}_3\text{-N}$ 主要在 O 段得到去除，而 A 段对于 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率较低，甚至时常出现负值，这是由于在兼氧水解过程中，微生物分解含氮有机物，释放大量 $\text{NH}_3\text{-N}$ 导致 [22]。

2.3 重金属去除效果

调试实验阶段重金属 (Zn、Cu、Cr、Cd) 的监测情况见图 9~图 12。可以看出，实验室废水的排放间歇性强，废水站对 4 种重金属的去除率均未高于 50%。Zn 出水浓度可以满足《污水综合排放标准》(GB 8978-1996) 三级标准 ($\text{Zn}\leq 5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)，但与要求的一级标准 ($\text{Zn}\leq 2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 仍有差距；Cu 出水浓度可以满足《污水综合排放标准》(GB 8978-1996) 二级标准 ($\text{Cu}\leq 1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)，略高于要求

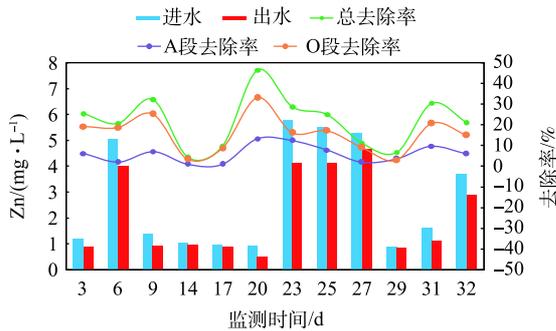


图 9 监测期间 Zn 浓度及去除率的变化

Fig. 9 Change of Zn concentration and removal rate during monitoring period

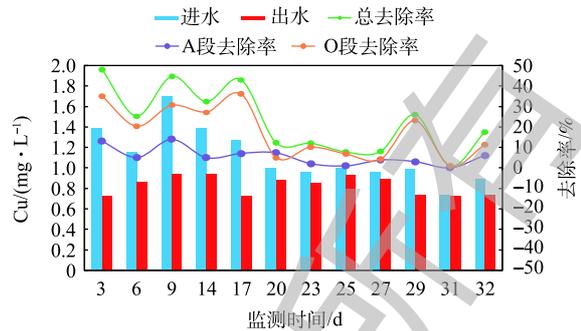


图 10 监测期间 Cu 浓度及去除率的变化

Fig. 10 Change of Cu concentration and removal rate during monitoring period

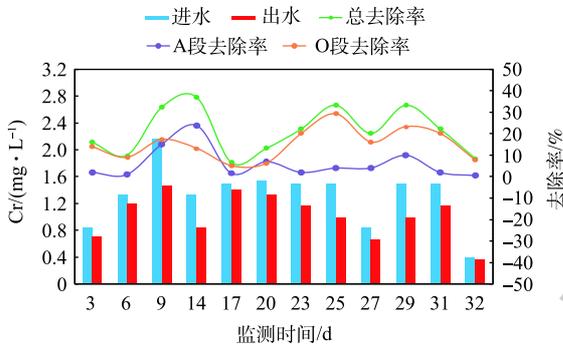


图 11 监测期间 Cr 浓度及去除率的变化

Fig. 11 Change of Cr concentration and removal rate during monitoring period

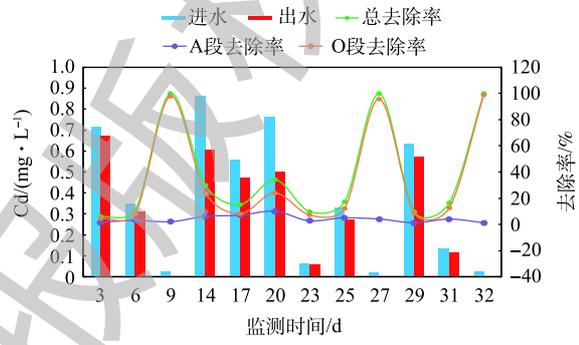


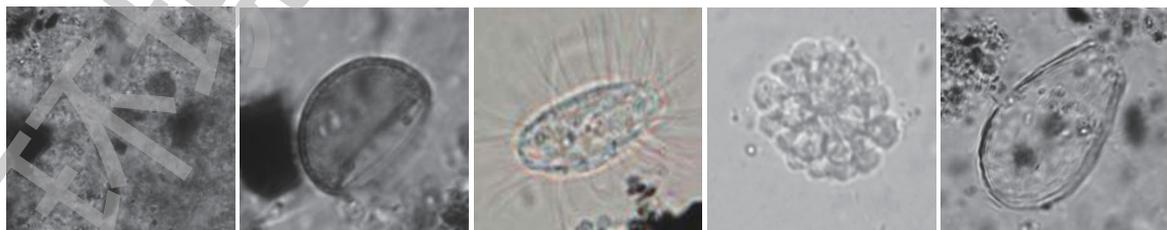
图 12 监测期间 Cd 的浓度变化及去除率

Fig. 12 Change of Cd concentration and removal rate during monitoring period

的一级标准 ($Cu \leq 0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$); Cr、Cd 出水浓度均可满足《污水综合排放标准》(GB 8978-1996) 第一类污染物最高允许排放标准 ($Cr \leq 1.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $Cd \leq 0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 其中有 3 d 的 Cd 出水浓度过小, 未有检出。且大部分重金属在 O 段得到去除, 在 A 段的去除率很小。这是由于生物膜主要通过 EPS 的吸附作用来去除重金属离子, 而 O 段生物膜 EPS 及其所带的负电荷高于 A 段, 因而更易吸附重金属离子^[23-25]。此外, 废水站对 4 种重金属的去除率均未高于 50%。影响生物膜 EPS 吸附重金属离子的主要因素为 pH、吸附时间、温度、EPS 浓度及组成^[23-31]。废水站接触氧化池 pH(pH=6.0~8.0) 在最佳范围内, HRT(HRT=13.8 h) 可以满足生物膜对重金属的吸附时间要求, 而温度的影响并不大^[26-32], 故废水站重金属去除率低的原因可能为生物膜 EPS 浓度或组成异常所致。

2.4 生物膜镜检结果

废水站在 1 个月的运行过程中, 出现接触氧化池曝气过度和 COD 去除率较低的情况, 因此, 有必要对生物膜进行镜检。由图 13 可知, 菌胶团体积大、结构紧密, 大多数无色透明, 生物膜性



(a) 菌胶团(400倍) (b) 衣壳虫(1 000倍) (c) 游仆(1 000倍) (d) 吸管虫(1 000倍) (e) 板壳虫(1 000倍)

图 13 生物膜镜检

Fig. 13 Biofilm microscopic images

状较好；另外还发现了较多衣壳虫、吸管虫、板壳虫、游仆等标志型微生物。吸管虫、衣壳虫的存在是优质出水的标志，但吸管虫大量存在表示生物膜可能处于老化、解体等不利状态；衣壳虫、板壳虫、游仆大量出现表明存在负荷较低、停留时间过长和溶解氧浓度高的情况^[33]。可见目前生物膜性状还较好，但确实存在负荷低和曝气过度的情况，且正处在向老化过度的状态。

2.5 生物膜 EPS 浓度及组成

废水站在1个月运行中，COD和重金属的去除效率不高的原因可能为生物膜EPS浓度或组分异常，为分析出现异常的原因，提取生物膜EPS并分析其浓度及组分。生物膜EPS浓度为 $230.27 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ，由图14可见，蛋白质含量最高(73.95%)、多糖次之(23.10%)、DNA最低(2.95%)，这说明加热法对细胞的破坏程度较小，提取效果较好^[13]。

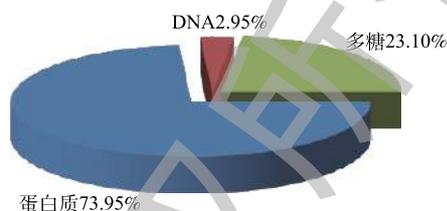


图 14 EPS 各组分占比

Fig. 14 Proportion of EPS components

表4列举了几种选用不同条件加热法提取生物膜EPS的结果，由于工艺流程和提取条件的不同，因此，结果中EPS浓度及成分含量的变化很大^[34]。可以看出，在李继宏等^[11]的研究中，提取时的加热温度、时间与本研究一致，且废水处理工艺相近，而EPS浓度是本研究的1.31倍，主要差别为蛋白质含量。也有研究^[35-38]认为，DO升高使微生物代谢加快，当污水中底物被消耗殆尽时，处在饥饿状态的微生物会将部分EPS作为有机底物利用，造成EPS浓度下降，而废水站同样存在进水负荷低、曝气过度的问题。李延军等^[38]还指出，EPS含量的变化主要来自蛋白质，这也与本研究得到的结果一致。因此可以推测，废水站COD和重金属去除率低是由于低负荷运行和过度曝气引起的生物膜EPS含量下降所致。

表 4 加热法提取生物膜 EPS 的条件及结果

Table 4 Conditions and results of extracting EPS from biofilm by heating method

工艺	提取时间/min	提取温度/℃	EPS/(mg·g ⁻¹)	蛋白质/(mg·g ⁻¹)	多糖/(mg·g ⁻¹)	DNA/(mg·g ⁻¹)	来源
MBR	40	80	230.27	170.28	53.20	6.79	本研究
MBR	40	80	302.51	252.40	44.66	5.45	[11]
BAF	60	60	132.00	—	—	9.20	[35]
HMBR	60	30	23.16	16.56	4.80	1.80	[14]

3 结论

1) 实验室废水经废水站处理后，出水pH、NH₃-N、COD均能满足《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)一级排放标准，出水重金属也能满足相应的国家标准。

2) 废水站运行期间，水解酸化池DO过高，主要是由中和调节池过度曝气的高DO废水流入导致，因此，可通过降低中和调节池曝气量，为后续水解酸化提供兼氧环境。

3) 废水站运行期间，出现COD和重金属去除率低的情况，通过生物膜镜检和EPS浓度及成分测定，确定是由接触氧化池过度曝气和低负荷运行造成的，可通过降低废水站接触氧化池的曝气量，并适当提高进水负荷来解决。

参考文献

[1] 姜龙, 许广波. 分析化学实验室废水处理技术研究进展[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(5): 885-887.

- [2] 章明如. 小型污水厂处理工艺及其应用[J]. 同煤科技, 2010, 23(1): 53-54.
- [3] 万金保, 付煜, 刘峰, 等. 水解酸化-生物接触氧化工艺处理生活污水[J]. 水处理技术, 2018, 44(3): 129-131.
- [4] 赵晶晶, 常健辉. 试谈实验室废液处理方法[J]. 广东化工, 2012, 39(2): 132-133.
- [5] 丛涛泉, 李长波, 赵国峥. 高校实验室废水处理工程设计[J]. 实验室研究与探索, 2014, 33(9): 48-51.
- [6] DONG X Q, WANG Y Q, LI X Q, et al. Process simulation of laboratory wastewater treatment via supercritical water oxidation[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2014, 53(18): 7723-7729.
- [7] 冯文池. 关于实验室废水处理方法的探讨[J]. 山东化工, 2018, 47(21): 180-181.
- [8] HEAIY M G, BURKE P, RODGERS M. The use of laboratory sand, soil and crushed-glass filter columns for polishing domestic-strength synthetic wastewater that has undergone secondary treatment[J]. *Journal of Environmental Science and Health*, 2010, 45(12): 1635-1641.
- [9] 吕鹏军, 李俊勇. 环境水质分析中重金属检测技术研究[J]. 清洗世界, 2019, 35(4): 27-28.
- [10] 张敏, 宋昭峥, 孙珊珊, 等. 改进型A/O生物膜工艺在油田污水达标外排中的应用[J]. 环境工程学报, 2016, 10(3): 1035-1040.
- [11] 李继宏, 单士亮, 李亮, 等. 膜生物反应器中EPS的提取方法[J]. 环境工程, 2013, 31(3): 10-14.
- [12] 黄兴, 孙宝盛, 吕英. MBR中活性污泥胞外聚合物的物理提取方法研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(5): 80-83.
- [13] ZOREL J A, AQUINO S F, SANSON A L, et al. Evaluation of EPS extraction protocols from anaerobic sludge for gel-based proteomic studies[J]. *Water Science & Technology*, 2015, 72(4): 535-542.
- [14] 陈华, 胡以松, 王晓昌, 等. 复合式膜生物反应器中胞外聚合物提取方法综合评价[J]. 环境工程学报, 2013, 7(8): 2904-2908.
- [15] 赵贤慧. 生物接触氧化法及其研究进展[J]. 工业安全与环保, 2010, 36(9): 26-28.
- [16] 丁绍兰, 曹凯, 李华, 等. 水解多级好氧耦合工艺处理制革废水的研究[J]. 中国皮革, 2017, 46(8): 56-65.
- [17] 盛晓琳, 崔灿灿, 王家德, 等. 硝化污泥富集及其强化高氨氮冲击的中试研究[J]. 环境科学, 2018, 39(4): 1697-1703.
- [18] 李德生, 崔玉玮, 李金龙, 等. 基于化学与生物膜耦合深度脱除地下水中硝酸盐氮[J]. 环境工程学报, 2018, 12(12): 3362-3370.
- [19] 张晓, 唐建光. 污水处理A/O工艺低负荷运行污泥性状改善调整实例[J]. 山东化工, 2017, 46(20): 160-163.
- [20] 郝二成, 袁星, 阜崴. 污泥膨胀原因及控制措施研究[J]. 环境工程, 2017, 35(7): 18-22.
- [21] 张兰河, 王莹, 马放, 等. 进水容积负荷对胞外聚合物的影响[J]. 南京理工大学学报, 2012, 36(3): 545-550.
- [22] 胡小兵, 叶星, 周元凯, 等. 胞外聚合物对活性污泥吸附生活污水碳源的影响[J]. 环境科学学报, 2016, 36(11): 4062-4069.
- [23] HAMMAINI A, GONZALEZ F, BALLESTER A, et al. Biosorption of heavy metals by activated sludge and their desorption characteristics[J]. *Journal of Environmental Management*, 2006, 84(4): 419-426.
- [24] HU Z Q, JIN J, ABRUNA H D, et al. Spatial distributions of copper in microbial biofilms by scanning electrochemical microscopy[J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, 41(3): 936-941.
- [25] LIU H, FANG H H. Extraction of extracellular polymeric substances (EPS) of sludges[J]. *Journal of Biotechnology*, 2002, 95(3): 249-256.
- [26] 马双进, 胡亚虎, 王厚成, 等. 活性污泥对重金属离子吸附特性的研究[J]. 工业用水与废水, 2018, 49(6): 9-13.

- [27] 唐虹, 康得军, 谢丹瑜. 活性污泥吸附重金属离子的影响因素[J]. 工业用水与废水, 2015, 46(6): 1-5.
- [28] 李军强. 活性污泥对重金属 Cr^{6+} 和 Cu^{2+} 的吸附研究[J]. 山西化工, 2009, 29(4): 66-68.
- [29] WEI L L, LI Y J, NOGUERA D R, et al. Adsorption of Cu^{2+} and Zn^{2+} by extracellular polymeric substances (EPS) in different sludges: Effect of EPS fractional polarity on binding mechanism[J]. Journal of Hazardous Materials, 2016, 321(8): 473-483.
- [30] 吴云海, 胡玥, 谢正威. SBR活性污泥吸附水中重金属离子的研究[J]. 水资源保护, 2010, 26(5): 71-74.
- [31] 简磊, 李炳辉, 郭训文, 等. 胞外聚合物对重金属离子的吸附[J]. 广东化工, 2015, 42(9): 143-146.
- [32] 董博, 袁国强, 欧杰, 等. 微生物对实验室废水中重金属吸附作用的辅助因子[J]. 广东农业科学, 2013, 40(20): 182-184.
- [33] 郑雅楠, 王淑莹, 郭建华, 等. 利用微型生物指示评价污水处理厂运行的研究进展[J]. 微生物学通报, 2008, 35(12): 1943-1949.
- [34] 杨文静, 樊耀波, 徐国良, 等. EPS及其在膜生物反应器中的作用和影响[J]. 膜科学与技术, 2010, 30(4): 90-96.
- [35] 顾超超, 郭彦海, 孙许超, 等. 曝气生物滤池生物膜胞外聚合物提取方法对比研究[J]. 东华大学学报(社会科学版), 2017, 43(5): 720-726.
- [36] 李莹, 田林, 张宏伟, 等. 膜生物反应器中运行参数对污泥胞外聚合物的影响[J]. 环境工程学报, 2011, 5(7): 1562-1566.
- [37] 李硕, 彭永臻, 王然登. 胞外聚合物在污水生物处理中的作用[J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2016, 33(4): 515-520.
- [38] 李延军, 李秀芬, 华兆哲, 等. 好氧颗粒污泥胞外聚合物的产生及其分布[J]. 环境化学, 2006, 25(4): 439-443.

(本文编辑: 郑晓梅, 张利田)

Daily operation and management of wastewater treatment station in university laboratories

SHEN Jiachen¹, HUANG Mengxia¹, XIE Guojian², CAI Luxiang³, MAO Zhijuan¹, SHA Haolei^{1,*}

1. College of Biological & Environmental Sciences, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China

2. Nanyang Street Agency of Xiaoshan District People's Government in Hangzhou, Hangzhou 311227, China

3. College of Arts and Design, Ningbo University of Finance & Economics, Ningbo 315175, China

*Corresponding author, E-mail: hlsha@zvwu.edu.cn

Abstract Aiming at the operation of the laboratory wastewater treatment station in a university in Ningbo, the treatment effects of pH, $\text{NH}_3\text{-N}$, COD and heavy metals in this station were studied, the biofilm was observed with microscopy and the extracellular polymer (EPS) were extracted and analyzed. The experimental results showed that the effluent COD was lower than $40 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, the $\text{NH}_3\text{-N}$ removal rate was maintained at 70%~90%, and the effluent pH, $\text{NH}_3\text{-N}$ and COD met the first-level discharge standard of Integrated Wastewater Discharge Standard (GB 8978-1996), and the effluent heavy metals met the third-level discharge standard of Integrated Wastewater Discharge Standard (GB 8978-1996), but low removal rates of COD and heavy metals in wastewater treatment station occurred sometimes during operation. The final determined reason was the low-loading operation of the wastewater treatment station and the excessive aeration of the neutralization regulation tank and the contact oxidation tank. Therefore, it is suggested to reduce the aeration of neutralization regulation and contact oxidation tank, and add carbon source properly to maintain the stable operation of wastewater station.

Keywords laboratory wastewater; wastewater treatment station; biofilm; operation and debugging