

A/O + 高效沉淀 + 深床滤池用于污水厂提标扩建

李采芳, 杨丹, 王志刚

(中国葛洲坝集团水务运营有限公司, 湖北 武汉 430000)

摘要: 温岭市牧屿污水厂原设计规模为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 出水水质执行一级 B 标准, 现需扩建至 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 同时出水标准提高至地表准 IV 类水质。综合考虑建设工期、投资成本、运行成本、占地面积、运维管理等因素, 主体工艺采用多级缺氧(A)好氧(O) + 高效沉淀池 + 反硝化深床滤池。一年的运行数据表明, 在进水水质不超过设计条件、高效沉淀池前端投加铝盐、缺氧池投加葡萄糖、反硝化深床滤池前端投加乙酸钠时, 可使出水水质稳定达标。与 MBR 工艺相比, 直接运行成本可减少约 $0.20 \text{ 元}/\text{m}^3$ (不包括膜折旧费用)。

关键词: 提标扩建; 准 IV 类水质; 多级 A/O; 高效沉淀池; 反硝化深床滤池

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)16-0088-05

Application of A/O, High Efficiency Sedimentation Tank, Denitrification Deep-bed Filter Process in Upgrading and Expansion of WWTP

LI Cai-fang, YANG Dan, WANG Zhi-gang

(CGGC China Gezhouba Group Water Operation Co. Ltd., Wuhan 430000, China)

Abstract: The original design capacity of Muyu WWTP is $10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$, with the effluent discharge standard of the first level B in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). Currently, it is required to expand the capacity to $50\,000 \text{ m}^3/\text{d}$, and at the same time, the effluent should meet new standard of level sub-IV in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002). Considering the construction period, investment and operation cost, footprint, operation management and other factors, the combined process of multi-stage anoxic/oxic, high efficiency sedimentation tank, denitrification deep-bed filter was adopted. One year's operation data showed that when the actual influent quality was no more than the designed value, dosing aluminum salts at the front of high efficiency sedimentation tank, glucose in the anoxic tank and sodium acetate at the front of deep-bed filter, the effluent could meet the new standard. Compared with MBR technology, the direct operation cost can be reduced by $0.20 \text{ yuan}/\text{m}^3$ (excluding membrane depreciation expense).

Key words: upgrading and expansion; sub-IV standard; multi-stage anoxic-aerobic; high efficiency sedimentation tank; denitrification deep-bed filter

1 项目背景

温岭市牧屿污水处理厂原处理规模为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 于 2013 年底竣工, 设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的

一级 B 标准, 出水最终排入月河。依据《温岭市泽国镇污水专项规划(2013—2020)》, 牧屿污水处理厂的来水量会大幅增加。为满足环保要求, 改善水系环境质量, 台州市要求“全市污水处理厂出水水

质都要提高到地表准Ⅳ类”。为满足日益增长的污水量以及最新的环保要求,牧屿污水处理厂亟需提标和扩建。

2 原污水厂概况

2.1 原处理工艺及进、出水水质

原系统规模为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用改良氧化沟工艺,即倒置 AAO 运行模式(氧化沟),工艺流程:原水→粗细格栅→旋流沉砂→厌氧→兼氧→好氧→沉淀→消毒→排放。表1为原污水处理厂设计和实际进、出水水质。

表1 2014年1月—2016年6月进、出水水质

Tab.1 Influent and effluent quality from Jan. 2014 to Jun. 2016

项 目	2016			
	原设计 进水水质	原设计 出水水质	实际平均 进水水质	实际平均 出水水质
COD	360	60	149	22~35
BOD ₅	180	20	60~65 (单次值)	13~17
SS	300	20	259	7.6~15
NH ₃ -N	40	8(15)	32	12~15
TN	55	20	47	25~28
TP	7	1	4.2	1.5~2.4

原水水质统计缺少 BOD₅ 值,只有 2016 年偶然测定的一两个数据,根据一般城市污水处理厂的数据以及偶然测定的数据,污水处理厂进水 BOD₅ 按照 COD 的一半估算。原水 COD/TN=3.17, COD/TP=35.5, BOD₅/TN=1.6, BOD₅/TP=17.7, 原水碳氮比偏低,碳源不足。

原设计出水执行一级 B 标准,从实际运行效果来看,进水水质存在的最大问题是 BOD₅ 浓度偏低,微生物进行脱氮除磷的碳源严重不足,导致氨氮、总氮和总磷去除效果不理想,基本未达到设计出水要求。分析原因,该厂污水主要为牧屿片内企业的工业废水及居民生活用水,目前城镇污水以生活污水为主,由于老城区污水管网系统尚不完善,且多为合流制管渠,污水浓度相对偏低;同时,工业企业多为低水耗、轻污染企业,也会导致污水浓度偏低。

提标前的主要超标污染物是氨氮、总氮、TP。对比《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准, NH₃-N (≤8 mg/L) 的累计达标频率为 73.7%,对比台州市地表准Ⅳ类水标准来判断,则达标率只有 17.7%,而 TN 和 TP 达标率为 0。

2.2 原系统存在的问题

原生化系统设计总停留时间为 16.9 h,其中缺氧段 3.4 h、厌氧段 2.5 h、好氧段 11.0 h,基本满足生化处理及生物脱氮除磷时间要求,但脱氮效率较低,原因主要有:

① 原系统风机运行不正常,原设计的两台风量为 $40 \text{ m}^3/\text{min}$ 的风机损坏(无法使用),只有一台风量为 $18 \text{ m}^3/\text{min}$ 的临时风机,造成氧化沟内曝气量严重不足,硝化效率较低。现场实测缺氧池 DO 为 0.03 mg/L,厌氧池 DO 为 0.04 mg/L,好氧池 DO 为 0.13~0.24 mg/L。

② 进水碳氮比值较低,仅为 1.6,远低于常规碳氮比不低于 4 的要求,反硝化所需碳源不足,生物脱氮除磷效果差。

③ 无后置化学除磷设施,若长期在二沉池出口投加化学除磷药剂,对污泥活性造成不良影响。

3 提标扩建思路

3.1 原系统改造思路

原系统改造要充分考虑本次提标和扩建,力求功能分区明确,工艺流程简洁,主要有以下几点:

① 因提标改造期间不能停水,所以不改造现有构筑物,只更换或增加设备,优化运行参数。

② 优先考虑在原有生化池脱氮,提高脱氮效率,确保现有系统出水氨氮达标,力争 TN 达标,不足部分依靠新建深度处理解决。

③ 优化生化池运行参数,提高生物除磷效率,其次依靠后置化学除磷保证出水达标。

3.2 原系统改造措施

① 更换现有风机,重新核定风量,拟采用设计风量为 $45 \text{ m}^3/\text{min}$ 的风机。增加好氧段(氧化沟)曝气量。为避免改造对现有系统运行的影响,不改动现有氧化沟内的曝气系统,只考虑增加潜水曝气机以增加曝气量。拟采用 2 台螺旋曝气机, $Q=7.12 \text{ m}^3/\text{min}$,充氧量为 $19.8 \text{ kgO}_2/\text{h}$,进水浓度不高时可不运行螺旋曝气机。

② 增加外部碳源投加设施。碳源投加设施及深度处理可在扩建方案中统一考虑,一期改造期间可设临时药剂投加装置。碳源投加点为一期缺氧池、二期 AAOAO 中的最后一个 A 段及深床滤池入口。

③ 增加二沉池剩余污泥回流管路,加大回流量,提高污泥浓度及泥龄。

④ 改造原有系统出水,首先进入后续新建深度处理系统的高效混凝沉淀池进行化学除磷。然后进入深床滤池,必要时在此投加乙酸钠或其他碳源进行深度脱氮。出水消毒排放。

⑤ 考虑到新标准地表准Ⅳ类水质 TN 为 12 mg/L,在冬季水温低时 TN 达标有难度,在进水 TN 浓度高时,原系统进水量控制在 $7\,000\text{ m}^3/\text{d}$,此时扩建部分可处理 $4.3 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的水量。

3.3 提标扩建方案

3.3.1 设计规模及进、出水水质

本次改扩建工程处理现有牧屿、丹崖及大溪三个污水处理厂服务范围内的污水。经统计,污水总量约 $5.34 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,扣除牧屿污水厂原有 $1 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的二级处理能力,近期牧屿污水厂扩建工程规模确定为 $4 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,深度处理规模确定为 $5 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。表2为提标扩建工程设计进、出水水质。

表2 提标扩建设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality for upgrading and expansion project

项 目	设计进水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	设计出水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除率/%
COD	360	30	91.7
BOD ₅	180	6	96.7
SS	300	5	98.3
NH ₃ -N	40	1.5(2.5)	96.3
TN	55	12(15)	78.2
TP	7	0.3	95.7

3.3.2 提标扩建工艺

综合考虑投资模式、建设工期、处理效果、用地条件、工程投资、运行成本等多方面因素,本项目扩建 $4 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 主体工艺采用 AAOAO 工艺^[1],以增加达标可靠性。深度处理设计规模为 $5 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,主体工艺采用高效沉淀池+反硝化深床滤池^[2,3]。

工艺流程见图1。

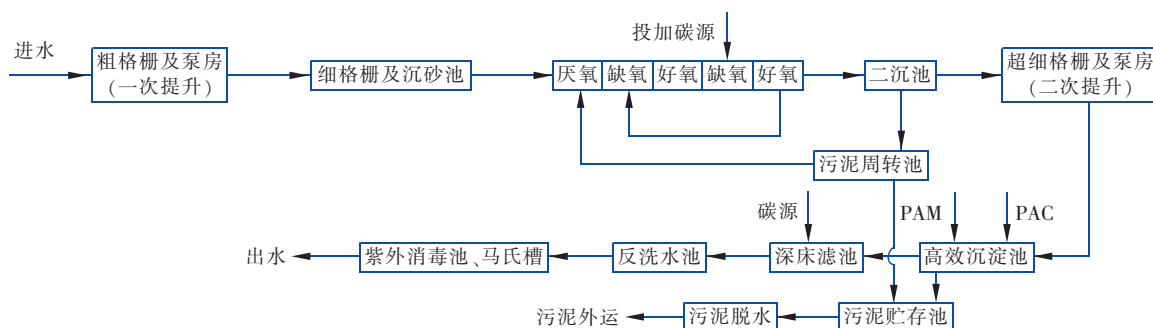


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

污水首先经过粗格栅去除大的漂浮物,再由泵提升至细格栅进一步去除细小漂浮物,细格栅出水流入沉砂池去除水中粒径较大的砂石,除砂后的污水自流进入 AAOAO 生化反应池,分别进行预缺氧调节、厌氧、缺氧、好氧、缺氧、好氧多级反应,去除大部分有机物、氨氮、总氮、总磷。设计多点进水,采用可调节进水堰,充分利用原水碳源。出水流入二沉池进行泥水分离,二沉池清水经超细格栅后进入二次提升泵房。经二次提升后的污水及原系统改造后的二沉池出水一起进入高效沉淀池,投加 PAC、PAM 进行化学除磷,出水进入深床滤池进一步去除悬浮物、TN,出水经紫外消毒后达标排放。

二沉池污泥部分回流到 AAOAO 池的厌氧/缺氧调节区,其余污泥和高效沉淀池污泥共同排至污泥池后进行浓缩压滤。工艺流程见图2。

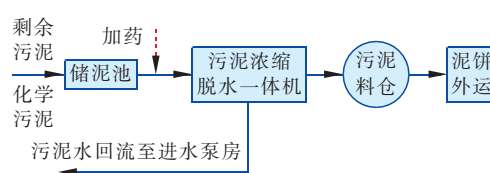


图2 污泥处理工艺流程

Fig.2 Flow chart of sludge treatment process

设计还考虑污水处理厂一旦出现异常情况,可通过在高效沉淀池投加活性炭、生化池增加填料等方式改善处理效果,并预留进一步提标改造位置。

4 提标扩建后运行现状

提标扩建工程于2017年初完工,经近3个月的调试,自5月份开始系统进入稳定运行期,各项出水指标稳定达到地表准Ⅳ类标准。表3为月平均进水、生化池出水、深床滤池进水、出水等水质数据。

表3 提标扩建后实际进、出水水质

Tab.3 Actual influent and effluent quality after upgrading and expansion

mg · L⁻¹

项 目	COD			BOD ₅			NH ₃ -N			SS			TN			TP		
	进水	深床滤池进水	出水	进水	深床滤池进水	出水	进水	深床滤池进水	出水	进水	深床滤池进水	出水	进水	深床滤池进水	出水	进水	高效沉淀池进水	出水
2017年5月	336	82.3	14.2	119.0	1.50	2.01	37.9	7.9	4.70	341	12.1	5.2	50.8	26.5	9.7	5.79	2.93	0.19
2017年6月	264	58.1	9.7	91.0	2.80	1.87	26.1	1.48	1.12	270	14.0	5.5	33.9	15.4	4.49	3.93	1.42	0.29
2017年7月	316	44.0	14.3	110.0	2.40	1.91	36.1	0.81	0.66	360	11.4	3.7	47.3	26.3	11.6	4.73	2.17	0.25
2017年8月	207	38.4	15.4	68.3	1.80	1.89	28.4	0.99	0.27	224	9.2	2.4	36.8	20.2	12.1	3.79	1.96	0.34
2017年9月	236	63.8	15.6	80.2	2.50	1.69	41.7	1.90	1.80	228	4.5	5.4	49.1	31.1	12.4	4.71	2.15	0.28
2017年10月	277	82.0	20.1	94.2	1.76	1.95	33.2	0.90	0.71	365	3.7	3.2	43.4	26.4	10.5	4.18	1.25	0.10
2017年11月	371	54.9	11.4	144.5	2.56	2.01	35.9	0.27	0.28	551	6.0	4.0	49.1	19.7	7.9	5.09	1.39	0.13
2017年12月	424	64.6	9.7	153.1	1.70	1.93	41.5	0.43	0.22	566	4.9	3.2	55.0	16.5	7.2	7.23	1.49	0.09
2018年1月	359	48.6	11.8	129.2	2.20	1.92	34.6	0.32	0.21	284	9.2	2.2	47.4	13.4	8.3	5.96	0.97	0.04
2018年2月	252	52.1	13.0	95.8	1.68	1.99	35.1	0.06	0.10	187	2.9	1.9	43.1	16.6	11.1	4.84	1.40	0.05
2018年3月	316	65.6	10.9	120.1	2.56	1.88	33.8	0.38	0.22	242	2.6	1.7	45.7	14.5	9.4	6.01	1.74	0.06
2018年4月	352	62.3	11.4	130.2	1.95	1.86	35.5	0.41	0.23	283	3.7	1.8	47.8	13.2	7.0	6.12	1.55	0.05

分析表3可知:

① COD/NH₃-N。提标扩建前,因进水含有较少难降解COD,在运行正常情况下,原倒置AAO工艺(氧化沟)二沉池出水COD基本小于准Ⅳ标准(30 mg/L);提标扩建后,新建4×10⁴ m³/d主体工艺采用AAOAO,生化池总停留时间长达23.4 h,出水COD更低,原系统和新建系统出水混合后进入深度处理后,总出水COD进一步降至9~20 mg/L。

由于原系统风机效率不高,在提标扩建时更换原风机为效率较高的空气悬浮风机(考虑到管路等,风量维持不变),又增加2台螺旋式风机曝气,提高了有机物降解率和硝化效果,故出水BOD₅和NH₃-N大大降低。表3中出现出水BOD₅比深床滤池进水高的情况,分析是由于在深床滤池入口投加了过量的乙酸钠所致。

② SS。提标扩建前,原系统二沉池出水SS在15 mg/L左右,因地表准Ⅳ类SS为5 mg/L,增加高效沉淀池并在入口处投加铝盐或铁盐,再经深床滤池过滤后^[4,5],出水SS可稳定低于5 mg/L。

③ TN。TN的去除优先考虑在生化池。由于原系统缺氧池停留时间有限、内回流泵及管路偏小等原因,经核算,在进水TN为55 mg/L时,要想保证生化池出水TN<20 mg/L,刚性进水量不能超过7 000 m³/d,故在新建4×10⁴ m³/d设施时生化池按进水量4.3×10⁴ m³/d校核,在此条件下,总停留时间为21.76 h,进入深床滤池混合水TN可稳定在20~25 mg/L,通过在反硝化深床滤池投加乙酸钠,

出水TN<12 mg/L。

④ 碳源。2017年上半年仅在滤池投加乙酸钠,后经大量试验,发现在缺氧池投加葡萄糖和滤池前投加乙酸钠时,碳源投加费用最低。

⑤ TP。扩建系统进水量为4.3×10⁴ m³/d时,原系统二沉池出水TP为1.5~2.5 mg/L,在高效沉淀池投加液体铝盐,过滤后出水平均TP<0.3 mg/L。

5 结论

① 将污水厂出水由一级B标准提高至地表准Ⅳ类标准时,选用多级A/O+高效沉淀池+反硝化深床滤池是基本可行的。

② 如果进水中含有部分难降解的COD,仅靠生化单元难以使出水COD稳定<30 mg/L,此时要考虑在滤池后设高级氧化单元(如臭氧氧化)。

③ 由于进水TN波动较大(最高时可达70 mg/L)且进水碳源的不足,生化单元的TN去除率最高为70%,不仅造成在反硝化深床滤池投加乙酸钠成本过高,而且有出水COD、BOD₅升高的趋势。后经多次试验,改为缺氧池投加葡萄糖和滤池前投加乙酸钠,碳源投加费用最低。

参考文献:

- [1] 黄开,于春洲,魏飞,等. 多级AO工艺在国内的应用现状[J]. 环境科学与管理,2007,32(2):73-76.
Huang Kai, Yu Chunzhou, Wei Fei, et al. Domestic application present state of multi-level A/O technology[J].

- Environmental Science and Management, 2007, 32(2): 73 - 76 (in Chinese).
- [2] 李慧. 高效沉淀池的工艺设计与应用案例[J]. 净水技术, 2012, 31(2): 84 - 87.
Li Hui. Design and application cases of technological processes for high-efficiency sedimentation tank[J]. Water Purification Technology, 2012, 31(2): 84 - 87 (in Chinese).
- [3] 李伟进. 城市污水处理厂升级改造的案例分析[J]. 水工业市场, 2011, (4): 37 - 41.
Li Weijin. Case analysis in upgrading and extension project of wastewater treatment plant[J]. Water Industry Market, 2011, (4): 37 - 41 (in Chinese).
- [4] 钱勇, 沈仲韬, 范建国, 等. STS 滤池组合工艺处理污水的中试研究[J]. 中国给水排水, 2008, 24(23): 11 - 15.
Qian Yong, Shen Zhongtao, Fan Jianguo, *et al.* Study on STS biofiltration technology for wastewater treatment[J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(23): 11 - 15 (in Chinese).
- [5] 沈晓铃, 李大成, 蒋岚岚, 等. 深床反硝化滤池在污水厂提标扩建工程中的应用[J]. 中国给水排水, 2010,

26(4): 32 - 34.

Shen Xiaoling, Li Dacheng, Jiang Lanlan, *et al.* Application of deep-bed denitrification filter in upgrading and extension project of WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(4): 32 - 34 (in Chinese).



作者简介: 李采芳 (1976 -), 女, 山西阳城人, 硕士, 高级工程师, 从事供水和污水处理工作。

E-mail: fionali@cgge.cn

收稿日期: 2018 - 05 - 07

(上接第 87 页)

- C/N wastewater by combined A^2/O process with multi-point feeding[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2013, 64(10): 3805 - 3811 (in Chinese).
- [2] 鲍立新. 深床滤池在无锡市芦村污水处理厂的运行效果[J]. 中国给水排水, 2012, 28(6): 41 - 43.
Bao Lixin. Operation efficiency of deep bed filter in Lucun wastewater treatment plant in Wuxi[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(6): 41 - 43 (in Chinese).
- [3] 汪浩, 刘操, 马宁, 等. 基于再生水厂提标改造的 A^2/O - MBR 工艺试验研究[J]. 给水排水, 2015, 41(1): 70 - 75.
Wang Hao, Liu Cao, Ma Ning, *et al.* Study on domestic wastewater reclamation by A^2/O - MBR process based on WWTPs upgrading and reconstruction [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(1): 70 - 75 (in Chinese).
- [4] 刘智晓, 胡春萍, 詹卫东, 等. 侧流污泥生物强化技术及其在污水厂升级改造中的适用性[J]. 中国给水排水, 2010, 26(16): 1 - 6.
Liu Zhixiao, Hu Chunping, Zhan Weidong, *et al.* Side-stream sludge bio-augmentation technologies and their ap-

plicability in upgrading and reconstruction of wastewater treatment plants[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(16): 1 - 6 (in Chinese).



作者简介: 徐一兰 (1965 -), 女, 浙江海宁人, 大学本科, 高级工程师, 总经理, 从事水处理工作 (工程投资建设、综合运行管理) 近 28 年。

E-mail: hnswtz@163.com

收稿日期: 2018 - 04 - 12