

工程实例

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.18.019

基于系统性理念的污水处理厂提标改造案例分析

杨磊三, 李骏飞, 周炜峙, 李德强

(广东省建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510010)

摘要: 针对污水处理厂具有复杂性、系统性的特点,提出基于系统性理念的提标改造思路。以南方某污水处理厂提标改造工程为例,从现状调查及分析、目标确定、方案比选及设计、工程评估等方面对系统性理念的应用展开探讨,提出将改良AAO工艺改造为MBBR工艺和加砂高效沉淀池的组合方案,实际出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准和广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准较严值的要求。

关键词: 污水处理厂; 提标改造; 系统性理念; 改良AAO工艺; MBBR工艺; 加砂高效沉淀池

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)18-0101-06

Case Analysis of a WWTP Upgrading and Retrofitting Project Based on Systematic Concept

YANG Lei-san, LI Jun-fei, ZHOU Wei-zhi, LI De-qiang

(Guangdong Architectural Design and Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510010, China)

Abstract: In view of the complex and systemic characteristics of wastewater treatment plant (WWTP), the upgrading and retrofitting idea based on systematic concept is proposed. Taking the upgrading project of a wastewater treatment plant in the south of China as a case, the application of systematic concept is discussed from the aspects of status investigation and analysis, target determination, scheme comparison and design, and project evaluation. The combined scheme of MBBR process and sand efficient sedimentation tank was put forward to improve the modified AAO process. The effluent water quality can stably meet the more stringent requirement of the first level A criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002) and the first level criteria for the second period in *Discharge Limits of Water Pollutants* (DB 44/26 - 2001) by Guangdong Province.

Key words: wastewater treatment plant; upgrading and retrofitting; systematic concept; modified AAO process; MBBR process; sand efficient sedimentation tank

1 提标改造系统性理念

污水处理厂是一个复杂的综合系统。污水处理厂的提标改造是在污水处理厂现状系统基础上,采取合理、有效措施,实现出水达标排放的目标,亦是一个复杂的系统工程,同样需采用系统性理念指导

提标改造工作的开展。

基于系统性理念的污水处理厂提标改造以出水达标排放为目标,以现状存在问题为导向,以污染物总量控制为依据,以总成本节约为原则,做好系统调查及分析、目标制定、方案比选及设计,最后进行工

程评估,污水处理厂提标改造系统性思路如图 1 所示。

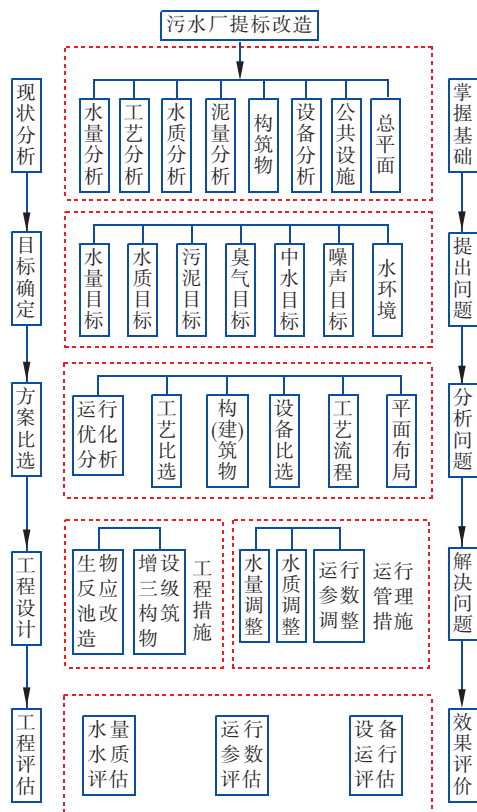


图 1 污水处理厂提标改造系统性思路

Fig. 1 Systematic proposal of upgrading and retrofitting of a wastewater treatment plant

污水厂提标改造系统性理念是掌握基础资料→提出问题→分析问题→解决问题→效果评估的过程。系统调查分析需全面掌握污水厂的设计及运行情况,包含水量、水质、工艺、构筑物、设备等方面的内容。

目标的制定,是以水质目标为核心,涵盖水量、污泥处理处置、臭气、中水回用、噪声等全方位的目标体系。系统性方案比选及设计,结合现状调查分析成果,根据处理目标体系,对污染控制次序、污水的可生化性、处理等级展开分析,而后对工艺流程、构筑物方案、设备选型、总平面布局进行方案比选,再进行系统性技术比选和经济分析,提出最终解决方案,包括提出优化运行方案的非工程措施和实施必要的工程措施。随后进行提标改造工程设计及工程实施。

系统性评估在工程建成后的运行阶段,主要包括水量、水质评估,运行参数评估和设备运行评估等

3 个方面的内容。以华南地区某城镇污水处理厂为案例,对基于系统性理念的污水处理厂提标改造展开分析。

2 现状调查及分析

2.1 工程概况

该城镇污水处理厂于 2010 年建成,设计规模 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。主体工艺采用改良 $A^2/O + 二沉池 + 紫外消毒$ 工艺,并辅以临时化学除磷设施。现状全年平均进水量约 $7.81 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,进水量呈现较明显的季节变化特点,旱季水量少(1 月—4 月),雨季水量大(6 月—10 月)。该厂平均外运污泥量为 $30.13 \text{ m}^3/\text{d}$,污泥含水率为 77%,产泥量约为 $3.86 \text{ t}/10^4 \text{ m}^3$ 污水,低于《城镇污水处理厂污泥处理处置技术指南(试行)》中全国平均水平($5 \sim 10 \text{ t}/10^4 \text{ m}^3$ 污水)。污泥产量偏低是因下游的处置单位无法及时处置污泥,导致生化系统排泥不及时,污泥停留时间延长,产量降低。

该污水处理厂提标改造前设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准和广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准的较严值。设计进、出水水质如表 1 所示。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

mg · L ⁻¹						
项目	COD	BOD ₅	TP	NH ₄ ⁺ - N	TN	SS
设计进水水质	280	140	4	25	35	250
设计出水水质	40	20	0.5	8	20	20
一级 A 标准	50	10	0.5	5	15	10

由表 1 可知,出水 COD 和 TP 已达到或严于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。

2.2 水质分析

水质分析是提标改造工作的基础,也是决定处理工艺的关键因素。

① 实际进、出水水质

2017 年该污水厂主要进、出水水质见表 2。由表 2 可知,该污水处理厂主要指标的进水值远低于设计进水值,COD、BOD₅ 存在较明显的季节性波动规律,主要是由于河水、地下水、雨水、山泉水等外水汇入污水管造成,稀释了污水的浓度,特别是在雨季 COD、BOD₅ 指标降低趋势明显。

在现状进水水质条件下,采用具备脱氮除磷功能的改良 A²/O 工艺,并辅助临时化学除磷设施,污水处理厂运行状态良好,除 TN 外,各项指标的去除

率较好,出水水质优于排放标准。其中 COD、BOD₅、NH₄⁺-N、TN、TP 可达到一级 A 标准,SS 可达到一级 B 标准,无法达到一级 A 标准。

表 2 实际进、出水水质

Tab. 2 Actual influent and effluent quality

项目	进水波动范围/ (mg · L ⁻¹)	进水平均值/ (mg · L ⁻¹)	出水波动范围/ (mg · L ⁻¹)	出水平均值/ (mg · L ⁻¹)	去除率/%
COD	62.7 ~ 247.8	132.9	8.4 ~ 24.8	14.2	89.3
BOD ₅	22.1 ~ 99.3	46.0	1.9 ~ 6.6	3.6	92.2
NH ₄ ⁺ -N	6.4 ~ 18.0	11.5	0.1 ~ 3.8	0.6	94.5
TN	8.7 ~ 24.0	16.0	5.7 ~ 13.8	9.8	38.5
SS	30.0 ~ 202.0	85.9	1.2 ~ 14.8	5.2	93.9
TP	0.9 ~ 5.3	2.1	0.1 ~ 0.5	0.3	84.1

② 可生化性分析

实际进水可生化性分析见表 3。BOD₅/COD、BOD₅/TN、BOD₅/TP 三个指标全年内均存在较大的波动。BOD₅/COD 平均值为 0.35,表明污水的可生化性较好,全年小于标准值的天数占比为 21%,主要集中在 1 月—2 月。BOD₅/TN 平均值为 2.88,全年小于标准值^[1]的天数占比为 62%,表明生物脱氮时碳源不足。BOD₅/TP 的平均值为 23.39,满足生物除磷要求,全年低于《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2016 年版)标准值的天数占比为 20%,主要集中在 1 月—2 月。

表 3 实际进水可生化性分析

Tab. 3 Biodegradability analysis of actual influent

项目	波动范围	平均值	标准值	<标准值 天数占比/%
BOD ₅ /COD	0.17 ~ 0.49	0.35	0.3	21
BOD ₅ /TN	1.66 ~ 5.04	2.88	3	62
BOD ₅ /TP	10.76 ~ 87.84	23.39	17	20

表 4 现状生物反应池参数分析

Tab. 4 Parameters analysis of current biological reaction tank

区域	池体设计参数		现状设计复核(一级 B)	规范推荐值	
	容积/m ³	停留时间/h	关键参数	关键参数	停留时间/h
预缺氧区	2 207.91	0.53	$L_s = 0.12 \text{ kgBOD}_5 / (\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$; $L_{TN} = 0.03 \text{ kgTN} / (\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$; $K_{de}(20) = 0.06 \text{ kgNO}_3^- - \text{N} / (\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$; 气水比为 4.76 : 1	$L_s = 0.1 \sim 0.20 \text{ kgBOD}_5 / (\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$;	0.5
厌氧区	3 622.55	0.87		$L_{TN} \leq 0.05 \text{ kgTN} / (\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$;	1 ~ 2
缺氧区	5 985.25	1.44		$K_{de}(20) = 0.03 \sim 0.06 \text{ kgNO}_3^- - \text{N} / (\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$; 鼓风机供气能力为	0.5 ~ 3
好氧区	25 875.72	6.21		4.7 : 1	8 ~ 16

② 沉淀池

现状沉淀池为辐流式,设 4 座,池径 40 m,表面负荷为 1.08 m³/(m² · h),符合规范的要求[0.6 ~ 1.5 m³/(m² · h)],但难以将出水 SS 稳定控制在 10 mg/L 以下^[2],需针对 SS 采取提标措施。

2.3 现状处理设施处理能力分析

污水处理厂的提标改造需对现状污水、污泥处理系统进行复核计算,预处理部分满足处理要求,不再分析。以下对生物反应池、沉淀池、加药间设备及脱水设备展开分析计算。

① 生物反应池

现状生物反应池设 2 座,单座尺寸 72.00 m × 48.10 m × 6.80 m。生物反应池关键参数包括停留时间、BOD₅ 污泥负荷、总氮负荷率、脱氮速率、气水比等,对设计工况(出水一级 B 标准)现状生物反应池复核见表 4。由表 4 可知:a. 现状设计工况 BOD₅ 污泥负荷、总氮负荷率在规范推荐值范围内,脱氮速率达到规范的高值,鼓风设备的供气能力与气水比需求(4.76 : 1)接近,生物反应池的设计参数可实现出水一级 B 达标排放的要求。b. 现状池体缺氧区池容和曝气设备规格设计富余度不高,在设计水质条件下已满负荷运行。c. 现状生物反应池内回流比为 100%,偏小,脱氮效率不高。

③ 加药间

现状污水处理厂出水 TP 执行 0.5 mg/L 标准,设计 PAC 投量为 25 mg/L。在生物反应池上方设置 2 套临时加药设置,每套加药设施包含 2 台隔膜泵, Q = 200 L/h, P = 0.4 MPa, 1 套储药罐,容积 7.5 m³。

现状临时加药设施能够满足投药需求,但存在设置不规范、运行管理不便以及有安全风险,无法根据水质的变化实现投药量的自动化调节等问题。

④ 脱水车间

现状设计干泥量为 10.33 tDS/d,脱水机房设 2 台带式浓缩脱水机,无备用,带宽 2 m,处理能力 400 kgDS/h,运行时间 13 h,效果良好。

⑤ 鼓风机房

现状鼓风机房共设置 4 台鼓风机,3 大 1 小。大鼓风机 $Q=7\ 800\ \text{m}^3/\text{h}$, $P=66\ \text{kPa}$,2 用 1 备;小鼓风机 $Q=4\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$, $P=66\ \text{kPa}$,1 台,运行良好。

3 目标的确定

① 水量:处理规模为 $10 \times 10^4\ \text{m}^3/\text{d}$ 。

② 水质:出水水质满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准及广东省《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准的较严值,即 $\text{COD} \leq 40\ \text{mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 10\ \text{mg/L}$ 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N} \leq 5\ \text{mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 15\ \text{mg/L}$ 、 $\text{SS} \leq 10\ \text{mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 0.5\ \text{mg/L}$ 。

③ 污泥:出泥含水率 $\leq 80\%$ 。

④ 臭气:执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中大气污染物排放的二级标准。

⑤ 中水回用:执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)标准。

⑥ 噪声:厂界噪声应达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348—2008)2 类标准。

⑦ 水环境:排放水体水环境目标为地表水 IV 类水体。

4 方案比选及工艺流程确定

由于场地所限,对于 COD 、 BOD_5 、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TN 等指标,优先采用现状挖潜增效和优化运行管理的措施保证处理效果,主要包括合理分配进水碳源、提高混合液回流比、合理控制 DO 、提升系统容积负荷、协同降低系统污泥负荷等措施^[2]。根据上述分析,本项目现状构筑物及设备的设计富余度不高,运

行管理优化空间较小,为实现提标改造目标,需采取深度处理工程措施。

4.1 TN 达标工艺比选

提标改造中针对 TN 达标的主流工艺为 MBBR 和反硝化滤池。因现状改造用地有限,反硝化滤池用地紧张,实施难度高。MBBR 工艺不新增用地和水头损失,无需设置中间提升泵房,工程投资和运行费用较小,施工周期较短,运行管理简便,综合考虑后选取 MBBR 作为 TN 达标改造的工艺。

4.2 TP 和 SS 达标工艺比选

提标改造中针对 TP 和 SS 达标的主流工艺为加砂高效沉淀池和连续流砂滤池。加砂高效沉淀池占地面积小、耐冲击性能好、水损小、运行费用低、运行管理简便,综合考虑提标改造用地限制,选择加砂高效沉淀池作为 TP 和 SS 达标改造工艺。

4.3 工艺流程的确定

经比选论证,提标改造主体工艺将现有改良 AAO 工艺改造为 MBBR 工艺,三级处理新建加砂高效沉淀池。

工艺流程如图 2 所示。

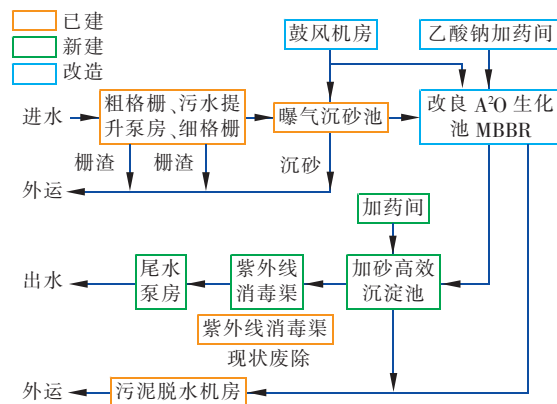


图 2 提标改造工艺流程

Fig. 2 Flow chart of upgrading and retrofitting process

5 方案设计

5.1 主要建(构)筑物

提标改造主要包括改造构筑物、新建构筑物和废弃构筑物,如表 5 所示。

表 5 提标改造建(构)筑物

Tab. 5 Main upgrading and retrofitting structures

项 目	数量/座	尺寸/(m × m × m)	备注
改造构筑物	改良 AAO 生物反应池	2	72 × 48.1 × 6.8
	鼓风机房	1	25.5 × 9 × 6.5
	加药间	1	25.5 × 9 × 6.5
			改造为 MBBR 工艺
			更换设备
			改造为乙酸钠加药间

续表 5 (Continued)

项 目		数量/座	尺寸/(m×m×m)	备注
新建构筑物	加砂高效沉淀池及加药间	1	65×12×7.5	
	紫外线消毒渠	1	14×5.5×4.5	
	尾水泵房	1	13×11×11	雨季使用
废弃构筑物	紫外线消毒渠	1	14.3×5.9×4.5	

5.2 生物反应池

生物反应池改造:

① 将好氧区第一廊道改造为缺氧/好氧可调节区。调整后总停留时间(9.05 h)不变,其中预缺氧区、厌氧区不变,缺氧区停留时间增至 3 h(新增部分为缺氧/好氧调节区),好氧区停留时间减至 4.65 h。调节区拆除原有曝气器,增设好氧专用推流器 9 台(库备 1 台),功率 7.5 kW。

② 将好氧区第二、三廊道改造为 MBBR 填料区,投加填料 4 800 m³,填充率 18.61%。导流墙改

造为弧形,设置潜水搅拌机 9 台(库备 1 台),功率 5.5 kW,增设辅助穿孔曝气管系统 4 套,增设侧向平板出水筛网。

③ 改造好氧区混合液回流泵,每组设置混合液回流泵 2 台,共设置 8 台, $Q=1\,050\text{ m}^3/\text{h}$, $H=10\text{ kPa}$, $N=5.5\text{ kW}$,改造后混合液回流比达到 200%。

④ 每组缺氧区中后部增设碳源投加点,根据需要投加碳源。

改造后的生物反应池主要设计参数如表 6 所示。

表 6 改造生物反应池参数

Tab. 6 Parameters of modified biological reaction tank

项目	池体设计参数		池体改造参数		其他关键技术参数
	容积/m ³	停留时间/h	容积/m ³	停留时间/h	
预缺氧区	2 207.91	0.53	2 207.91	0.53	$L_s=0.17\text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$; $L_{TN}=0.05\text{ kgTN}/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$; $K_{de}(20)=0.05\text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$; 气水比为 5.5:1; 混合液回流比为 200%
厌氧区	3 622.55	0.87	3 622.55	0.87	
缺氧区	5 985.25	1.44	12 485.25	3.00	
好氧区	25 875.72	6.21	19 375.72	4.65	

5.3 加砂高效沉淀池

加砂高效沉淀池与加药间合建,设计表面负荷为 $25\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,混合时间 2.0 min,配置快速搅拌机 2 套, $D=2.0\text{ m}$, $N=7.0\text{ kW}$;絮凝时间 5.0 min,配置慢速搅拌机 2 套, $D=2.5\text{ m}$, $N=5.5\text{ kW}$ 。刮泥机设置 2 台, $D=9.0\text{ m}$, $N=3.0\text{ kW}$ 。石英砂投加量 3 mg/L ,配置泥砂分离器 6 套,4 用 2 备,单套 $Q=80\text{ m}^3/\text{h}$;微砂循环泵 6 台,4 用 2 备,单套 $Q=80\text{ m}^3/\text{h}$, $H=200\text{ kPa}$, $N=15\text{ kW}$ (变频);污泥泵 3 台,2 用 1 备,单套 $Q=40\text{ m}^3/\text{h}$, $H=150\text{ kPa}$, $N=5.5\text{ kW}$ 。

5.4 紫外线消毒渠及尾水泵房

紫外线消毒渠设置 2 套,240 支灯管,功率 75 kW,出水粪大肠菌群数 $\leq 1\,000$ 个/L。设置尾水泵房 1 座,配置 4 台水泵,3 用 1 备, $Q=502\text{ L/h}$, $H=40\text{ kPa}$, $N=37\text{ kW}$,旱季常水位时,尾水重力排出,雨季高水位时,压力排出。

5.5 附属建(构)筑物

① 加药间

提标改造后,TP 和 SS 均执行一级 A 标准,设计 PAC 投药量为 50 mg/L ,现有临时投药设施不能满足投加量和运行管理的需求,需新建加药间,与加砂高效沉淀池合建。加药间投加 PAC 和 PAM 两种药剂,投量分别为 50 mg/L 和 1 mg/L ,投加 PAC 设置 3 台泵(2 用 1 备),投加 PAM 设置 4 台泵(3 用 1 备), $Q=300\text{ L/h}$, $P=0.4\text{ MPa}$, $N=0.55\text{ kW}$ 。

由现状运行数据可知,进水碳源出现间歇性不足,经计算需投加外部碳源去除的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 5 mg/L ,乙酸钠溶液投加浓度为 33%,投加量为 60.61 mg/L 。现状加药间改造为乙酸钠投加间,设置 4 台隔膜泵,3 用 1 备, $Q=300\text{ L/h}$, $P=0.4\text{ MPa}$, $N=0.55\text{ kW}$ 。

② 脱水车间

提标改造后总干泥量为 12.59 tDS/d ,按照现状 2 台脱水机、处理能力 400 kgDS/h 计算,需延长脱水机的工作时间至 16 h。

③ 鼓风机房

提标改造将其中的小鼓风机更换为大鼓风机,

更换后为3用1备,气水比为5.6:1。

6 工程评估

该污水处理厂提标改造工程实施后,出水水质稳定达到设计标准。2020年6月—8月污水处理厂平均处理水量约为 $8.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,实际进、出水水质如表7所示。

表7 2020年6月—8月进、出水水质

Tab.7 Actual influent and effluent quality from Jun. to Aug. 2020 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	进水 波动范围	进水 平均值	出水 波动范围	出水 平均值
COD	103.0~228.0	152.8	11.0~19.0	12.4
BOD ₅	35.7~85.9	50.4	0.6~1.8	1.5
NH ₄ ⁺ -N	11.0~18.9	12.3	0.1~1.6	0.3
TN	16.1~23.2	17.2	7.9~13.4	9.8
SS	60.0~276.0	105.6	3.0~9.0	4.8
TP	1.4~4.6	2.4	0.1~0.3	0.2

本提标改造项目工程费用约5 530.56万元,吨水投资为553.01元/ m^3 ,提标改造部分的单位总成本为0.45元/ m^3 ,单位经营成本为0.22元/ m^3 ,投资和运行费用较低。本工程新增占地为3 300 m^2 ,吨水新增占地为0.033 $\text{m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,节地效果显著。

7 结语

污水处理厂提标改造是复杂的系统工程,结合南方某城市污水处理厂提标改造工程实践,探讨了基于系统性理念提标改造思路的应用。通过污水处

理厂的现状水质、构筑物及设备设计参数系统分析,结合提标改造的目标,对TN、TP和SS的达标方案展开系统论证,提出改良AAO工艺改造为MBBR工艺,增加加砂高效沉淀池的组合工艺方案,工程实施后达到了预期目标,取得了较好的工程效益和环境效益,可为类似工程提供参考。

参考文献:

- [1] 郑兴灿. 城镇污水处理厂一级A稳定达标技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
ZHENG Xingcan. Technology of Stably Meeting the First Level A Criteria for Urban Wastewater Treatment Plants [M]. Beijing:China Architecture & Building Press,2015 (in Chinese).
- [2] 杨磊三,李骏飞,余涛,等. 广州新华污水处理厂提标改造工程设计[J]. 中国给水排水,2016,32(8):47-50.
YANG Leisan, LI Junfei, YU Tao, et al. Design of upgrading and retrofitting project of Guangzhou Xinhua WWTP[J]. China Water & Wastewater,2016,32(8):47-50(in Chinese).

作者简介:杨磊三(1985—),男,山东滕州人,硕士,高级工程师,主要从事给排水工程设计工作。

E-mail:343241123@qq.com

收稿日期:2020-09-08

修回日期:2020-11-14

(编辑:衣春敏)

节约每一滴水,

回收每一滴水,

让每一滴水多循环一次