

设计经验

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2024. 20. 008

武汉汉西污水处理厂提标工程设计与运行

黄 兴

(上实环境控股<武汉>有限公司, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 武汉汉西污水处理厂工程规模为 $60\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,原出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级B标准,尾水通过李家墩明渠排入府河,并最终汇入长江。提标工程在充分利用现有二级生物处理系统的基础上,采用絮凝-沉淀-过滤的深度处理工艺,将出水标准提升至GB 18918—2002的一级A标准。通过集约化布置深度处理构筑物,解决了用地紧张的问题。对深度处理进水接驳及改造进行精细化设计,在整个项目施工过程中,现状工程仅在深度处理进水接驳时短暂停产。采取构筑物防淹水安全措施后,仅在夏季汛期才启动尾水提升泵进行强排,其余时段整个深度处理均可实现尾水自排,极大节约了能源和运行费用。通水运行后,目前该工程实际处理规模约 $(63\sim 65)\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,超负荷运行6%左右,尾水各项指标优于一级A标准。

关键词: 污水处理厂; 深度处理; 絮凝-沉淀-过滤; 进水接驳; 尾水自排

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)20-0053-06

Design and Operation of Wuhan Hanxi WWTP Upgrading Project

HUANG Xing

(SIIC Environment Holdings <Wuhan> Co. Ltd., Wuhan 430074, China)

Abstract: Wuhan Hanxi wastewater treatment plant (WWTP), with treatment capacity of $60\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, previously should comply with the first level B criteria of the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant*(GB 18918—2002). The tail water was discharged into the Yangtze River through Lijiadun open channel and the Fu River. In order to upgrade the effluent to the first level A criteria, the advanced treatment process of flocculation, sedimentation and filtration is adopted based on full use of the existing secondary biological treatment system. The intensive layout of advanced treatment structures effectively solves the problem of land shortage. By the fine design of water inlet connection and innovation, the sewage treatment system operates normally except the inlet connection of advanced treatment process in the whole construction process of the project. The tail water of advanced treatment can realize self-draining in most time, and only has to be discharged by pump in the summer flooding season due to the safety measures taken for tail water discharge to prevent flooding, which greatly saves energy and operation cost. After operation, the actual treatment capacity of the whole plant is about $(63\sim 65)\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, and the overload operation is about 6%. In addition, all the effluent indicators are superior to the first level A criteria.

Key words: wastewater treatment plant; advanced treatment; flocculation, sedimentation and filtration; water inlet connection; tail water self-draining

1 项目背景

武汉汉西污水处理厂现状规模为 $60\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, 分两期建设^[1]。一期工程于 2006 年 9 月投入运行, 规模为 $40\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, 出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的二级标准; 二期工程于 2016 年底运行, 建成后处理能力扩大至 $60\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, 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。

根据最新的武汉市污水收集与处理专项规划以及武汉市环保局的相关要求, 汉西污水处理厂出水水质亟待提标至 GB 18918—2002 一级 A 标准。

2 提标前污水厂现状

2.1 现状工艺流程

汉西污水处理厂现状一、二期均采用 A/A/O 处

理工艺, 一、二期二沉池出水分别进行液氯消毒和紫外线消毒, 经出水结合井混合后达到一级 B 标准。现状工艺流程见图 1。

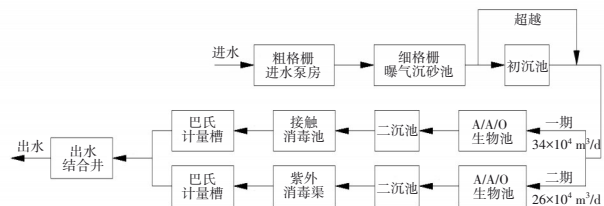


图 1 现状污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of current wastewater treatment process

2.2 提标前实际处理效果

根据 2016 年 1 月—10 月的污水处理厂运行报表, 进、出水水质统计如表 1 所示。

表 1 提标前污水处理厂进、出水水质

Tab.1 Influent and effluent quality of the WWTP before upgrading

mg·L⁻¹

项目	进水						出水					
	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
最大值	396	138.4	842	24.28	26.8	7.85	49.2	18.4	19	1.31	13.4	1.48
最小值	103	54.6	42	0.19	12	0.47	10	4.9	2	0.1	6.86	0.15
平均值	155.9	71.0	127.6	15.4	20.1	2.2	20.5	9.2	7.2	0.2	11.4	1.0
一级 B 标准							60	20	20	8(15)	20	1
一级 A 标准							50	10	10	5(8)	15	0.5

提标前, 出水 BOD₅、COD、NH₃-N、TN 平均值已经优于一级 B 标准, 基本稳定达到一级 A 标准, 出水 SS、TP 平均值优于一级 B 标准, 但不能稳定达到一级 A 标准。

3 提标工程设计

3.1 设计进、出水水质

武汉市大部分污水厂进水浓度偏低^[2], 根据现状水质调查, 汉西污水处理厂进水水质与武汉市其他污水厂接近。提标工程设计进、出水水质见表 2。

表 2 设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality mg·L⁻¹

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
设计进水	260	130	190	25	35	4
设计出水	50	10	10	5(8)	15	0.5

3.2 提标工艺

3.2.1 现状二级生物系统复核

汉西污水处理厂现状采用 A/A/O 处理工艺, 对有机污染物进行吸附降解; 采取微孔鼓风机曝气方式, 利用厌氧池、缺氧池、好氧池的不同功能达到良

好的氧化和脱氮效果^[3]。通过前两期的工程建设, 二级生物处理系统有 2 条生产线, 一期处理规模为 $34\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, 二期处理规模为 $26\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。在设计进水水量、水质情况下, 主要针对出水 BOD₅、COD、NH₃-N、TN 等指标的达标性对 2 条生产线的生物池和二沉池进行复核, 计算结果如表 3 所示。

表 3 现状二级生物处理系统复核计算

Tab.3 Review calculation of current secondary biological treatment system

项目	一期	二期
处理规模/ ($10^4\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$)	34	26
生物池	污泥浓度 3.5 g/L; 总泥龄 12.7 d; 污泥负荷 0.099 kgBOD ₅ /(kg MLSS·d); 总停留时间 10.17 h, 其中厌氧区、缺氧区、好氧区分别为 1.21、2.86、6.1 h	污泥浓度 3.5 g/L; 总泥龄 14 d; 污泥负荷 0.091 kgBOD ₅ /(kg MLSS·d); 总停留时间 11.3 h, 其中厌氧区、缺氧区、好氧区分别为 1.5、3.4、6.4 h
二沉池表面负荷/($\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$)	1.17	1.0

经核算,现有的 A/A/O 反应池在设计规模与水质条件下,能够满足生物处理的除碳、硝化、反硝化等需要,出水 COD、BOD₅、NH₃-N、TN 等指标可达到一级 A 标准。

3.2.2 提标工程工艺

根据对该污水处理厂现状构筑物和处理效果的分析以及水质、水量要求,该污水处理厂提标工程总体思路为:

① 充分利用现状 A/A/O 生物池进行生物脱氮除磷,以降低 COD、BOD₅ 指标和生物脱氮为主,生物除磷为辅。在二级生化处理段保证二沉池出水 COD、BOD₅、NH₃-N、TN 等指标达到一级 A 标准,后续深度处理无需新增除碳、硝化及反硝化等设施。

② 在现有二级生物处理系统后增加絮凝-沉淀-过滤为主体的深度处理工艺,进一步降低 TP、SS 等指标,同时辅助化学除磷,进一步去除磷和悬浮物,以保障出厂水水质达到一级 A 标准。

③ 根据工艺比选,同时结合厂区用地紧张的情况,深度处理均采用集成化程度较高的工艺,絮凝-沉淀采用高效沉淀池,过滤采用机械式微孔过滤设备(精密过滤器)^[3],同时配套 PAC、PAM、碳源投加设施和建筑物。

④ 现状一期采用液氯消毒,二期采用紫外线消毒,提标工程需将现有消毒设施废弃,将两期二沉池出水整合并经深度处理后,重新设置 1 座紫外线消毒池。

⑤ 高效沉淀池新增的化学污泥就近进入现状污泥浓缩池,在现状污泥脱水车间内新增一套污泥离心脱水机及配套设备。

3.3 尾水排放方案

根据现状二沉池出水水位标高、深度处理工艺方案和受纳水体的水位情况,尾水排放有设置中间提升泵房或尾水排放泵房 2 个方案。因设置中间提升泵房方案需对二沉池出水进行常年提升,故不推荐;设置尾水排放泵房方案虽然深度处理构筑物埋深较深,但全年绝大部分时段尾水可以自排,仅在汛期需要强排,极大节省了常年运行费用,故推荐采用此方案。

3.4 主要构(建)筑物及设计参数

① 高效沉淀池。共 12 座,单座规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,包括 1 格快速混合池、1 格絮凝池和 1 格沉淀池,单座高效沉淀池设计参数: $Q_{\max}=2\,708 \text{ m}^3/\text{h}$;快速混合

池有效容积 76.3 m^3 ,快速混合时间最小 1.7 min 、最大 2.2 min ;③ 絮凝池有效容积 340 m^3 ,絮凝时间最小 7.5 min 、最大 9.7 min ;斜管面积 154 m^2 ,斜管区上升流速最小 13.5 m/h 、最大 17.6 m/h 。单座高效沉淀池主要设备:推进式搅拌器 1 台,电机功率 11 kW (变频);快速混合器 1 台,电机功率 15 kW (变频);刮泥机 1 台, $D=15 \text{ m}$, $H=7.7 \text{ m}$,电机功率 1.5 kW ;污泥泵 3 台,单台 $Q=70 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=0.4 \text{ MPa}$ 、 $N=15 \text{ kW}$ 。

② 微过滤车间及配电间。共安装 24 台精密过滤器设备,单台设备规模为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (最大处理能力 130%),20 用 4 备。精密过滤器为连续过滤、连续反冲洗,核心过滤模块为高强度不锈钢滤网,滤筒直径 $1\,300 \text{ mm}$,滤筒长度 $4\,010 \text{ mm}$,材质为 316L 不锈钢。单台过滤器功率 4.75 kW ,其中减速机 0.75 kW ,反冲洗水泵 4 kW 。

③ 紫外消毒池及尾水泵房。紫外消毒池设置 6 个渠道,共 144 个模块,总功率 312 kW 。进水 TSS 最大值 10 mg/L ,平均固体颗粒尺寸 $30 \mu\text{m}$, 253.7 nm 波长处的紫外透光率为 65% (最小值);出水粪大肠菌群 $<1\,000$ 个/L。尾水泵房共设 7 台立式轴流泵,5 用 2 备。单台水泵参数: $Q=5\,000 \sim 6\,500 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=40 \sim 80 \text{ kPa}$, $N=200 \text{ kW}$,均设置变频。

④ 加药间。混凝剂采用液态 PAC(有效含量 10%),设计最大投加量 72 mg/L ;助凝剂采用 PAM,设计投加量 0.6 mg/L ,投加浓度 0.5% 。设置混凝剂(PAC)投加泵和助凝剂(PAM)投加泵各 16 台,12 用 4 备,单泵参数: $Q=940 \text{ L/h}$, $P=0.4 \text{ MPa}$, $N=0.24 \text{ kW}$ 。设置干粉制备装置 2 套,1 用 1 备,单套参数: $Q=10\,000 \text{ L/h}$, $N=5.5 \text{ kW}$ 。

⑤ 碳源投加间。采用乙酸钠原液,最大投加量为 40 mg/L ,投加浓度 20% ,设置乙酸钠原液储罐 5 个,单个尺寸 $\varnothing 3\,200 \text{ mm} \times 3\,500 \text{ mm}$ 。碳源投加点为沉砂池出水井,采用 3 台计量泵,2 用 1 备,单泵参数: $Q=2\,500 \text{ L/h}$, $P=0.4 \text{ MPa}$ 。

⑥ 现状脱水车间改造。新增剩余污泥干质量 18.4 t/d ,污泥含水率 98% ,污泥量为 $920 \text{ m}^3/\text{d}$ 。在现状脱水机房内新增污泥浓缩脱水一体机及辅助设备 1 套,处理能力 $60 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

3.5 深度处理构筑物平面布置

深度处理部分用地仅为 1.56 hm^2 (23.4 亩),只有将污水深度处理构筑物集约化布置,才能从根本

上解决用地紧张的问题。将高效沉淀池、微过滤车间、紫外线消毒池、尾水泵房、配电间5个构(建)筑物集中布置(见图2),总平面尺寸为104.5 m×98.28 m。这种集约化布置方式的优点:①从根本上解决用地紧张的问题;②有利于基坑整体开挖,减少基坑开挖支护的工程量和投资;③构筑物之间采用渠道连接,渠道短,断面尺寸较大,水头损失小,有利于降低整个深度处理的水头损失,节约电耗和运行成本。



图2 提标后深度处理构筑物的平面布置

Fig.2 Layout plan of advanced treatment after upgrading

4 设计经验

4.1 提标工艺针对性强,实用经济

针对提标前出水指标 BOD_5 、 COD 、 NH_3-N 、 TN 已经基本达到一级A标准,出水 SS 、 TP 指标达到一级B标准,但不能稳定达到一级A标准的情况,深度处理采用高效沉淀池+精密过滤器工艺。其中,高效沉淀池集混合、反应、沉淀于一体,处理效果好,出水水质较为稳定,且占地面积小,综合投资省;精密过滤器过滤单元的不锈钢滤网处于封闭状态,可防止藻类的滋生,出水效果稳定,运行管理方便,占地面积小。提标工程自投产以来,出水水质稳定达标。

4.2 深度处理进水接驳及改造

目前,污水处理厂提标改造研究的重点多集中于出水标准的提高,而针对如何保障现状生产与提标改造同步实施,则涉及较少,设计往往也容易忽视^[4]。由于现在国家对环保设施的监管越来越严格,一般不允许污水处理设施长时间停产,故现状

尾水排放设施与新建深度处理设施之间的接驳和改造显得尤为重要。

现状二级生物处理系统2条生产线分别设置了消毒设施,其中一期采用加氯接触消毒,二期采用紫外线消毒,一、二期消毒后的尾水通过出水结合井混合后集中排放。

现状尾水排放系统见图3。

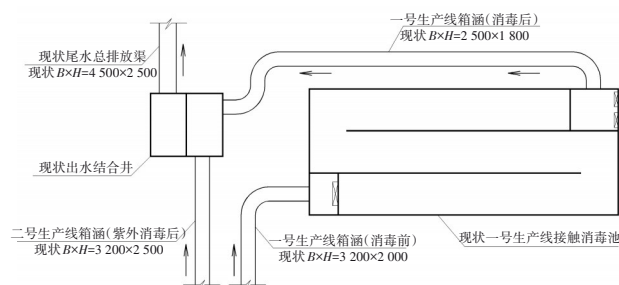


图3 现状尾水排放系统

Fig.3 System diagram of current tail water discharge

为将2条二级处理生产线的出水合理调度至深度处理构筑物,并尽量减少施工期间对现状设施正常处理和尾水排放的影响,采取如下措施(见图4):①封堵一期接触消毒池的进水孔洞,新增3-DN1600管道及阀门,利用现状出水结合井作为一、二期二沉池出水的中间结合井;②改变 $B \times H = 2500 \text{ mm} \times 1800 \text{ mm}$ 箱涵(消毒后)的流向,并在北侧新增 $B \times H = 2000 \text{ mm} \times 1800 \text{ mm}$ 箱涵,两根箱涵共同作为 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 二级出水的通道;③封堵一期接触消毒池的出水通道,新建结合井,作为 $B \times H = 2500 \text{ mm} \times 1800 \text{ mm}$ 和 $B \times H = 2000 \text{ mm} \times 1800 \text{ mm}$ 两条箱涵的进、出水结合井。

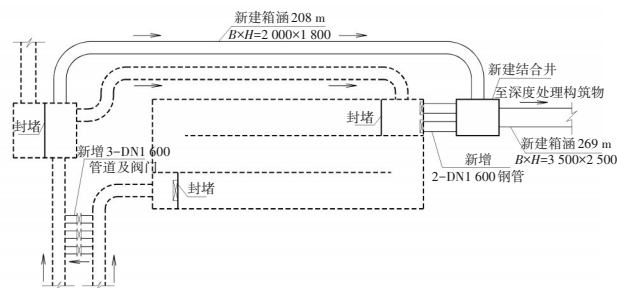


图4 提标工程的深度处理进水接驳及改造

Fig.4 Connection and reconstruction of advanced treatment influent in the upgrading project

4.3 深度处理构筑物防淹措施

提标工程尾水排放采用设置尾水排放泵房的方案,虽可节省电耗和运行成本,但构筑物埋深较

深。整厂外电按双回路设计,若尾水强排时突然停电,将会出现精密过滤器设备内水位迅速上升,甚至从设备外壳溢水至车间内的情况。为避免出现上述风险,考虑的安全措施有:

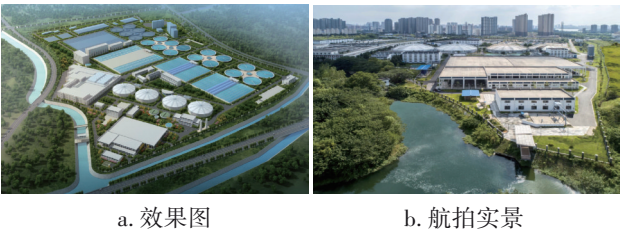
- ① 设置尾水泵和进水泵停泵联动措施,在强排期间一旦尾水泵突然停泵,联动进水泵停止运行;
- ② 在深度处理系统进水渠上设置重力式速闭闸门,一旦厂区停电,依靠重力迅速下关切断进水;
- ③ 微过滤车间进水闸门和超越闸门设置EPS应急电源。

5 施工及运行效果

5.1 施工情况

该项目于2017年5月开始进场施工,2019年1月进行竣工预验收、开始试运行,2019年4月正式竣

工验收。鉴于设计阶段的精细化设计和合理的施工组织,在整个项目施工过程中一直维持正常生产,仅在深度处理进水接驳时短暂停产。设计效果图和建成后的航拍实景见图5。



a. 效果图 b. 航拍实景
图5 设计效果图和建成后的航拍实景

Fig.5 Impression drawing of the project and aerial image after completion of the plant

5.2 提标后进、出水水质

提标后整个系统目前运行规模约为(63~65)×10⁴ m³/d,已超负荷运行6%左右,尾水各项指标优于一级A标准(见表4)。

表4 提标后污水处理厂2019年1月—2023年6月的进、出水水质

Tab.4 Influent and effluent quality of the WWTP after upgrading from Jan. 2019 to Jun. 2023

项目	进水水质						出水水质					
	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
最大值	343	192	622	28.39	50	7.34	38	9.6	9.5	1.84	14.5	0.48
最小值	52	27.7	26	2.35	5.8	0.57	1.5	0.8	1	0.02	2.1	0.01
平均值	128.98	70.47	94.09	15.66	20.96	2.22	12.35	2.86	2.84	0.18	9.38	0.21

注: 一级A标准的COD为50 mg/L、BOD₅为10 mg/L、SS为10 mg/L、NH₃-N为5(8) mg/L、TN为15 mg/L、TP为0.5 mg/L。

5.3 实际运行效果

- ① 从2019年2月竣工预验收开始试运行至今,各构(建)筑物运行正常,仅在夏季汛期启动尾水泵进行强排,其余时段均可以实现自排,极大地节约了能源和运行费用。
- ② 新增的深度处理设施主要为高效沉淀池和精密过滤器,对TP和SS的去除效果提升明显,优于一级A标准。
- ③ 相对于提标前,对BOD₅和TN的去除量分别提高了约6.34、2.02 mg/L,主要通过适当调整二级生物处理系统运行工况和深度处理设施进一步去除SS时对BOD₅实现了协同处理,具体如下:控制生物池污泥浓度和内外回流比,夏季污泥浓度3~3.5 g/L,冬季污泥浓度3.5~4 g/L;内回流比170%~220%,外回流比50%~60%;控制生物池曝气量,气水比约为3:1,好氧池末端溶解氧浓度约为1.5 mg/L,厌氧区和缺氧区溶解氧浓度基本为0;进水BOD₅/

TN约3.36:1,基本满足生物脱氮的碳源需求。

- ④ 根据武汉市水务局要求,汉西污水处理厂要做到原水应收尽收,为此,前期对汉西污水处理厂常规超负荷运行10%左右的可行性进行了复核。所有构筑物及管涵的水力流程均满足78×10⁴ m³/d规模的过水能力;在TN负荷、NH₃-N负荷、污泥负荷等均有提升潜力的情况下,通过运行调试,循序渐进地增加处理量,直至生物系统稳定运行;适当调整高效沉淀池的运行工况、回流污泥量和加药量;厂区其他设施及设备(如精密过滤器、紫外消毒、鼓风机、加药设施和脱水设施)还有富余能力,满足超负荷运行要求。

5.4 技术经济分析

该项目初步设计批复概算总投资为36 018.71万元,其中工程费用为29 320.91万元,最终竣工决算的工程费用为27 500万元,与初设批复相差不大。实际新增单位经营成本约0.24元/m³。

6 结论

武汉汉西污水处理厂提标工程在采用A/A/O二级生物处理工艺的基础上,深度处理采用絮凝-沉淀-过滤工艺,在实际运行规模超负荷6%左右的情况下,尾水各项指标优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。通过集约化布置深度处理构筑物,解决了用地紧张的问题。通过精细化的深度处理进水接驳及改造设计,施工过程中仅在深度处理进水接驳时短暂停产。采取构筑物防淹安全措施后,仅在夏季汛期才启动尾水提升泵进行强排,其余绝大多数时段整个深度处理均可以实现自排,极大地节约了能源和运行费用。

参考文献:

- [1] 吴志高,吕拥军,裴洋,等.多模式A²O及污泥好氧发酵用于汉西污水处理厂改扩建[J].中国给水排水,2017,33(16):70-74.
- WU Zhigao, LÜ Yongjun, PEI Yang, *et al.* Application of multi-mode A²O process and sludge aerobic composting process in reconstruction and expansion of Hanxi wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(16):70-74(in Chinese).
- [2] 陈宝玉,杨涛,刘东征,等.武汉北湖污水处理厂设计关键节点分析及组合流程的应用[J].中国给水排水,2020,36(24):92-98.

CHEN Baoyu, YANG Tao, LIU Dongzheng, *et al.* Essential analysis of design key node and application of combined process in Beihu wastewater treatment plant in Wuhan [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(24):92-98 (in Chinese).

- [3] 刘丽,姚雨,肖江.改良AAO/高效沉淀/精密过滤工艺用于污水厂提标扩建[J].中国给水排水,2020,36(20):156-159,166.

LIU Li, YAO Yu, XIAO Jiang. Application of modified AAO/high efficient sedimentation/precise filtration process in WWTP extension project [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20):156-159,166 (in Chinese).

- [4] 苏平.现有污水处理厂提标升级改造与施工期间生产运行的调度控制优化[J].净水技术,2017,36(8):105-109.

SU Ping. Upgrading and reconstruction of existing wastewater treatment plant and optimization of production and operation control during the construction [J]. Water Purification Technology, 2017, 36(8):105-109(in Chinese).

作者简介:黄兴(1983-),男,湖南汨罗人,工学硕士,高级工程师,主要从事市政给排水设计管理和运营工作。

E-mail:306356526@qq.com

收稿日期:2023-09-23

修回日期:2023-11-04

(编辑:衣春敏)

优化国土空间开发保护格局
加强生态环境分区管控