

昆山市污水处理厂提标改造路径 及成效分析

马志飞

(昆山市污水处理有限公司,江苏 苏州 215300)

摘要:随着污水处理厂出水排放标准日趋提高,昆山市16座城镇生活污水处理厂在2020年底均完成了提标改造,污水处理厂提标改造措施主要包含管理性提标和工程性提标,实际运行效果良好。着重分析了昆山市城区6座典型污水处理厂的提标改造路径,通过研究提标改造前后水量、水质等数据,总结提标改造取得的成效,可为同类污水处理厂生产运营提供参考。

关键词:污水处理厂;提标改造;排放限值;昆山市

中图分类号:TV66

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2024)04-0036-0005

Analysis of the upgrading and renovation path and effect of Kunshan sewage treatment plants

MA Zhifei

(Kunshan Sewage Treatment Co., Ltd., Suzhou 215300, China)

Abstract: With the increasing discharge standards of sewage treatment plants, all 16 urban domestic sewage treatment plants in Kunshan City completed the upgrading and renovation by the end of 2020. The upgrading and renovation measures of sewage treatment plants mainly include management upgrading and engineering upgrading, and the actual operation effect is good. Emphasis was placed on analyzing the upgrading and renovation paths of six typical sewage treatment plants in the urban area of Kunshan City. By studying data on water volume and quality before and after the upgrading and renovation, the effects of the upgrading and renovation were summarized, which can provide reference for the production and operation of similar sewage treatment plants.

Key words: Sewage treatment plant; upgrading and renovation of standards; emission limits; KunShan

为有效控制太湖流域水体富营养化,《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB32/1072—2018)颁布实施。昆山市处于太湖流域一、二类保护区域外的其他区域,2021年起执行上述标准,其中未规定的其他指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。同时,按照苏州市《关于高质量推进城乡生活污水治理三年行动计划的实施意见》

要求,全市城镇污水处理厂按“苏州特别排放限值”全面推进污水处理厂提标改造工作,需详细分析来水水质,系统评估运行现状,按照“一厂一策”制定提标改造方案^[1-2]。昆山市各污水处理厂均在2020年底完成提标改造任务。本文选取了城区6座典型污水处理厂进行提标改造路径总结,并通过对比分析提标改造前后的水量、水质、电耗、药耗等数据,总结提标改造取得的成效。

收稿日期:2023-12-19

作者简介:马志飞(1987—),男,工程师,本科,主要从事城镇污水处理厂的运营管理工作。E-mail:1521756818@qq.com

1 提标改造前基本情况

1.1 提标前后排放标准对比

提标后执行的《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB32/1072—2018)标准和苏州特别排放限值与提标前执行的城镇生活污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准相比,常规排放指标均有大幅提升,给污水处理厂运行带来一定挑战。排放标准对比见表 1。

表 1 排放标准对比

标准名称	$\rho(\text{COD})/(\text{mg/L})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})/(\text{mg/L})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg/L})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg/L})$
GB18918—2002 (一级 A)	50	5(8)	15	0.5
DB32/1072—2018 (表 1)	40	3(5)	10(12)	0.3
DB32/1072—2018 (表 2)	50	4(6)	12(15)	0.5
苏州特别排放限值	30	1.5(3)	10	0.3

1.2 提标前污水处理厂概况

本文重点选取的 6 座污水处理厂均位于昆山市城区,设计规模在 $2.5\times 10^4\text{ m}^3\sim 3.0\times 10^4\text{ m}^3$ 的 2 座, $5.0\times 10^4\text{ m}^3\sim 8.0\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的 3 座, $10\times 10^4\text{ m}^3\sim 20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的 1 座。主体工艺为 A^2O 和 CASS,均有深度处理工艺。6 座污水处理厂进水均以生活污水为主,其中 5 座污水处理厂含有部分工业废水,工业废水占比为 0.4%~25%。提标前各污水处理厂的出水标准均为一级 A 标准,污泥采用污泥浓缩+带式离心机处理至含水率 $\leq 80\%$ 或者采用污泥浓缩+板框压滤机处理至含水率 $\leq 60\%$ 后外运处置^[3],外运处置方式为干化焚烧。各污水处理厂提标前概况如表 2 所示。

1.3 提标前进、出水水质分析

汇总分析提标前两年各污水处理厂的进 waters

质,并用提标后的标准分析出水水质,以此说明提标改造的必要性。6 座污水处理厂的进水浓度相差较大,仅 F 厂进水 COD 质量浓度高于 260 mg/L,其他污水处理厂均在 200 mg/L 左右,进水 COD 质量浓度较低将影响脱氮除磷效果。进水 TP 质量浓度方面,B 厂、D 厂和 E 厂均小于 3 mg/L,推断是工业废水占比较大,拉低了进水 TP 质量浓度,工业废水占比小的厂进水 TP 质量浓度较高。进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 质量浓度方面,A 厂和 C 厂较低,B 厂、D 厂和 E 厂较高,F 厂最高,F 厂纳污片区人口密集、管网收集率高,进水各项指标质量浓度均较高。

6 个厂出水中 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率均达到 100%,故这两个指标不是提标改造重点。出水中 TP 质量浓度方面,仅 E 厂和 F 厂极少数天数超过苏州特别排放限值,其他厂已经能够 100%达到限值要求,可通过工艺优化和增加除磷剂投加来达标排放。而出水 TN 方面,6 个厂中只有 F 厂达成率较高,其他 5 个厂达成率较低,其中 B 厂、D 厂和 E 厂由于进水含有较多工业废水,造成进水中 TN 质量浓度较高而 COD 质量浓度不高的情况,BOD/TN 值低于 3,缺少足够碳源进行反硝化,同时工艺上不能满足 TN 去除率,这 5 厂无法仅通过工艺优化和药剂投加达到苏州特别排放限值,需要进行工程性提标改造。

BOD/TN 指标是鉴别能否采用生物脱氮的主要指标,由于反硝化细菌是在分解有机物的过程中进行反硝化脱氮的,在不投加外来碳源条件下,污水中必须有足够的有机物(碳源),才能保证反硝化的顺利进行,一般认为 $\text{BOD}/\text{TN}>3$ 时污水有足够的碳源供反硝化菌利用。现状 B 厂和 D 厂的进水 BOD/TN 的平均值在 2~3 区间,尤其是 D 厂仅 2.1~2.4,E 厂均值也刚达到 3,这 3 座厂均位于开发区,其进水水质类似,进水中含有较多的工业废水,尤其 D 厂工业废水占比达到 25%。工业废水的特性是氮磷浓

表 2 污水处理厂提标前概况

污水处理厂	原主体工艺流程	设计规模/ $(10^4\text{ m}^3/\text{d})$	工业废水/%	污泥处理工艺
A	一二期改良 $\text{A}^2\text{O}+\text{V}$ 型滤池+消毒池	10.0	4.0	污泥浓缩+板框脱水
	三四期改良 $\text{A}^2\text{O}+\text{高效沉淀池}+\text{V}$ 型滤池+消毒池	9.6		
B	$\text{A}^2\text{O}+\text{V}$ 型滤池+消毒池	5.0	8.0	污泥浓缩+带式脱水
C	$\text{AO}+\text{高效沉淀池}+\text{滤池}+\text{消毒池}$	5.0	0.4	污泥浓缩+带式脱水
	CASS+高效沉淀池+滤池+消毒池	2.5		
D	一二期水解酸化+ $\text{A}^2\text{O}+\text{高效沉淀池}+\text{V}$ 型滤池+消毒池	8.0	25.0	污泥浓缩+带式脱水
E	$\text{A}^2\text{O}+\text{高效沉淀池}+\text{V}$ 型滤池+消毒池	2.5	3.0	污泥浓缩+板框脱水
F	CASS+滤池+消毒池	3.0	0.0	污泥浓缩+带式脱水

度高,COD质量浓度低,可生化性较差,不利于污水处理厂活性污泥的生长,故在完成工程性提标改造的前提下仍需要投加碳源来满足反硝化需要。

1.4 提标前处理量负荷率

提标前两年A厂和B厂处理量年负荷率均超100%,其他4个厂呈逐步下降趋势,但也高于90%,处理能力明显不足。为此,建设了区域污水连通管进行污水跨区域调度,保障污水处理能力。A厂纳污区域3个泵站新建连通管输送污水至D厂,同时B厂纳污区域建设转输泵站1座输送污水至D厂,D厂扩建 $4.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水处理设施承接上述区域内转输污水,此举有效解决区域内处理能力不足问题。其他污水处理厂纳污范围内加强管网排查,整治雨水混接情况,解决外水侵入污水管网问题,保障污水处理厂进水稳定,降低污水处理厂进水负荷。

2 提标改造的技术路线

2.1 管理性提标措施

2.1.1 加强源头管控,巡查泵站管网

污水处理厂对接管企业进行摸底排查,建立重点排水户台账,定期采样企业废水与临时检查相结合,准确掌握企业排污情况。水质情况定期报送主管部门,要求企业“定时错峰”排放,实现水量和水质的均化,减少对污水处理厂进水的影响,实时关注环保平台企业废水在线监测数据,确认来水异常的情况下可远程关闭企业排放阀门^[4]。污水处理厂配合水务主管部门排查纳污范围内的管网,定期巡检泵站和管网,定期检测泵站与管网水质,对比分析厂内进水水质,加强泵站调度管理,合理降低管网液位^[5]。

2.1.2 挖掘工艺潜力,不断优化运营

工程性提标改造前各污水处理厂挖掘处理潜能,交流先进管理经验,优化工艺运行方案,强化生物系统脱氮除磷能力。通过加强全流程水质分析、合理调整污泥浓度、基于氨氮指标控低溶解氧、优化内外回流比、调整药剂投加点位等管理性措施来强化脱氮除磷效果^[6]。改变部分污水处理厂单一的紫外消毒方式,增加次氯酸钠消毒,确保粪大肠菌群检测值低于限值。

2.1.3 更换老旧设备,新增仪器仪表

及时更换污水处理厂内老旧设备和高能耗设备,如将高耗能离心风机更换为空气悬浮风机,选用扬程流量更匹配的提升泵,将表面曝气盘改为底部曝气改善曝气环境,CASS池增加搅拌设备增强反

硝化脱氮能力,增加内回流泵提供更多硝化液等。由于对脱氮除磷要求非常高,各厂都新增了硝氮仪、氨氮仪、总磷仪、ORP仪等,增加进水自动采样器,加强进水管控,分析进水变化,同时,优化提升污水处理厂自动控制软件,自控系统的提升有助于污水处理厂信息化、数字化管理,为污水处理厂管理提升提供信息支撑。

2.2 工程性提标措施

6座污水处理厂工艺各不相同,运营现状和进出水水质等也不相同,针对这一情况,工程性提标改造需实行一厂一策,选择合理的技术路线,改造期间,各污水处理厂做到不减量、不停产、不降低排放标准。下文简述各厂的工程性提标措施。

(1)A厂工程性提标建设内容为:一、二期新建高效沉淀池解决缺少高效沉淀池的问题,此举可增加除磷效果;由于增加高效沉淀池,为使污水经中间提升泵房提升后能自流进入高效沉淀池后接入现状V型滤池,同时改造中间提升泵房改造,并选用更大扬程的提升泵,作为配套另新建1座加药间,为高效沉淀池运行提供PAC和PAM药剂;一、二期工程改造混合液回流系统,三、四期生化池改造进水点,使进水从厌氧区通过新增渠道向前延伸,达到多点配水的目的,此举可有效利用进水碳源,增强缺氧段的脱氮能力。

(2)B厂工程性提标建设内容为:将 A^2O 工艺改造为五段式Bardenpho,即在典型 A^2O 生物池基础上,在其后增加了外加碳源缺氧段A和好氧段O,即变为AAOAO工艺,通过外加碳源强化反硝化性能。

(3)C厂工程性提标建设内容为:将一、二期AO工艺改成五段式Bardenpho工艺,三期CASS池增加16套搅拌器,增强反硝化脱氮能力;五段式Bardenpho工艺,即在典型生物池基础上,在其后增加了外加碳源缺氧段和好氧段,通过外加碳源在此段完成剩余硝态氮的反硝化;通过最后一段好氧段去除反硝化过程产生并附着于活性污泥絮体上的“氮沫”,改善混合液的沉降性能,防止由于外加碳源的过量投加造成COD和BOD浓度的升高,以确保水质稳定达标。

(4)D厂工程性提标建设内容为:新建三期 $4.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 处理规模,接收A厂和B厂纳污区域转输污水;三期采用行业前沿脱氮除磷工艺,工艺流程为粗格栅+进水泵房+事故池+细格栅+曝气沉砂池+水解酸化池+改良型 A^2O 工艺(设置预缺氧段+厌氧段+缺氧段+兼氧段+好氧段,可多点进水)+二沉池+

高效沉淀池+反硝化滤池+接触消毒池,新建板框脱泥车间,合并处理一、二、三期污泥;改造一、二期原有A²O生物池,利用原有水解酸化池,改造为新的厌氧段和缺氧段,将原厌氧段改造为缺氧段,此举大大延长缺氧段停留时间,同时增设内回流泵和管道,提高内回流比,增强脱氮能力;同时,新增1座高效沉淀池降低处理负荷。

(5)E厂工程性提标建设内容为:增加内回流管和回流泵,将现有厌氧池西侧一单池改为缺氧池,增加缺氧池停留时间,增强反硝化能力;加设管道来实现两点进水,充分利用进水碳源,优化碳源配置,有效减少外加碳源量;将现一期缺氧池南侧一单池增加曝气管,增大好氧池停留时间;二期生化池现有曝气膜管损坏,且曝气管铺设不均匀,存在空白区域,更换膜片,在空白区域增加曝气管等,增强曝气效果,增强硝化能力;同步增加硝酸盐氮在线监测仪表,以便能及时调整内回流比和碳源投加量等控制反硝化的相关参数,强化反硝化脱氮性能。

(6)F厂工程性提标建设内容为:F厂出水水质较好,仅进行管理性提标,增加CASS池搅拌器和硝氮仪表,加强反硝化脱氮能力,监测脱氮效果。

各厂改造的重点是强化脱氮除磷能力,改造后的A²O工艺基本上都具备了多点进水能力,有效利用进水碳源,延长了缺氧段停留时间,增加内回流泵提高内回流比,好氧段部分区间可调节成为缺氧段,达到内源反硝化目的,增设高效沉淀池强化化学除磷能力。各厂改造后运行稳定,出水水质100%达到苏州特别排放限值要求。

2.3 提标后污水处理厂概况

提标改造后的各厂工艺情况见表3,通过对比

可以看出各厂提标前后工艺的变化。A厂一、二期新建高效沉淀池1座并改造生物池进水点和回流系统。B厂将原有A²O生物池改造为AAOAO生物池。C厂将原有AO生物池改为五段式Bardenpho生物池。D厂将一、二期原有水解酸化池改建为A²O生物池的厌氧段和缺氧段,并新建三期工程,三期工程采用改良A²O+深度处理工艺。E厂将原有A²O生物池改造为改良型A²O生物池,增加了进水点和缺氧段容积。F厂未进行工程性改造。

3 提标改造成效分析

3.1 水量分析

通过提标改造前后负荷率对比可以看出,提标改造结束后,各厂处理负荷率都有明显的下降,没有超负荷运行情况。在实施跨纳污区域转输污水后,A厂和B厂处理负荷率逐步降低,D厂由于新增处理能力,负荷率也下降明显。同时,由于主管部门加强管网养护运维,排查整改雨污混接情况,减少外水流入,6座污水处理厂平均负荷率呈逐年下降趋势。

3.2 水质分析

6座污水处理厂提标改造后运行稳定,出水水质COD、NH₃-N、TP、TN各项指标100%低于苏州特别排放限值。通过提标前后出水TN对比分析,提标后各厂出水TN基本均小于8 mg/L,相较提标前大幅度下降,提标改造成效显著。

3.3 电耗分析

各厂提标改造基本都有改造池体、增加设备等措施,相应增加了系统活性污泥总量,增加设备总功率,从而增加污水处理用电量。提标改造后污水

表3 提标改造后的各厂工艺情况

污水处理厂名称	现主体工艺流程	设计规模/ (10 ⁴ m ³ /d)	工业废水 占比/%	污泥处理工艺
A	改良A ² O+高效沉淀池+V型滤池+消毒池	10.0	4.0	污泥浓缩+板框脱水
	改良A ² O+高效沉淀池+V型滤池+消毒池	9.6		
B	AAOAO+V型滤池+消毒池	5.0	8.0	污泥浓缩+带式脱水
C	五段式Bardenpho+高效沉淀池+滤池+消毒池	5.0	0.4	污泥浓缩+带式脱水
	CASS+高效沉淀池+滤池+消毒池	2.5		
D	一二期A ² O+高效沉淀池+V型滤池+消毒池	8.0	18.0	污泥浓缩+板框脱水
	三期改良A ² O+高效沉淀池+反硝化滤池+消毒池	4.8		
E	改良A ² O+高效沉淀池+V型滤池+消毒池	2.5	3.0	污泥浓缩+板框脱水
F	CASS+滤池+消毒池	3.0	0.0	污泥浓缩+带式脱水

处理电单耗加权均值上涨明显,涨幅为10.4%。

A厂、B厂和E厂污水处理电单耗总体上涨,主要原因是进水浓度升高明显,为保证出水稳定达标,相关设备如风机、回流泵等需加开,同时提标改造增加池体容积,增加了活性污泥总量,也相应增加了用电量。C厂基本保持平稳,其进水浓度波动不大,加强工艺调控后能够保持电单耗处于优良水平。D厂和F厂略有下降,D厂虽然一、二期改造增加了设备,扩大了厌氧段缺氧段池容,但通过优化工艺运行方案,以氨氮为关键指标控制风机开度,更换低功率的空气悬浮风机,电单耗相比改造前仍有下降。同时,D厂三期新建工程运行良好,电单耗水平较低,也拉低了全厂电单耗,F厂通过优化工艺运行方案,应用新增仪表监测水质数据等措施来降低污水处理电单耗。

3.4 除磷剂单耗分析

提标改造重点之一是降低出水总磷,苏州特别排放限值出水标准为0.3 mg/L。除了在生物处理阶段需要加强生物除磷外,还需要在深度处理阶段进行必要的化学除磷。深度处理化学除磷主要在高效沉淀池中投加除磷剂聚合氯化铝(PAC)和助凝剂(PAM),经搅拌混凝沉淀后,出水至滤池进行进一步过滤。

通过提标前后除磷剂投加单耗对比,各厂除磷剂单耗均较低,处于较优水平(15~50 kg/km³)。加权均值在提标改造后呈下降趋势,没有因为排放标准的大幅提高而提高除磷剂用量,主要是各厂强化生物除磷调控,控制更好的厌氧段厌氧环境。在深度处理化学除磷阶段,A厂新建一座高效沉淀池加强除磷效果,单耗下降约22%;B厂用量基本稳定,生物除磷效果良好,与提标前差异不大;D厂技改后强化生物除磷效果,生物池出水TP甚至低于0.3 mg/L,单耗处于行业领先水平,单耗下降达58%;C厂、E厂技改后实施多点配水,进入厌氧段原水减少削弱了生物除磷效果,单耗小幅上涨;F厂由于缺少建设用地无法新建高效沉淀池,只能采取生物池同步投加药剂方式化学除磷,除磷剂利用效率略低,单耗略高。

3.5 碳源分析

提标改造另一重点是降低出水总氮,苏州特别排放限值出水标准为10 mg/L。各厂根据运行现状进行提标改造,改造后出水TN均能稳定低于苏州特别排放限值。为保持较高的TN去除率,各厂普遍进行缺氧段池体改造增加缺氧段停留时间,增

加内回流泵数量提高内回流比,严格控制缺氧段溶解氧。充足的碳源是反硝化菌脱氮的关键因素,添加碳源能够大大提高反硝化效果,实际生产运行中,外加碳源成为各厂确保出水TN达标的重要手段。

A厂、C厂和F厂进水BOD/TN数值在3.5~4.0区间,进水碳源相对充足,这3座污水处理厂强化生物脱氮效果,主要在冬季反硝化菌活性降低时投加适量碳源(乙酸钠溶液)保证TN去除率,其他大部分时间段均无需投加。B厂在技改后碳源单耗上升明显,主要原因是其改造后的AAOAO工艺后置缺氧段依赖投加碳源进行进一步脱氮,其进水中COD质量浓度较低,在投加碳源后脱氮效果良好。D厂和E厂这2座污水处理厂进水中COD质量浓度较低TN质量浓度较高,工程改造均设置多点进水渠道利用进水碳源,同时采用扩大缺氧段池容、提高内回流比、加装硝氮仪、优化碳源投加点等措施强化反硝化能力。通过不断优化工艺运行方案,好氧段设置内源反硝化段,TN去除率保持在80%左右的同时,碳源单耗大幅降低,取得了良好的减排效果。

4 结 语

(1)污水处理厂提标改造是一项系统性工程,在采用管理性提标和工程性提标的同时,应加强排水源头管控,对重点排水户采取严格的监管措施。尤其是废水量大的企业,应加强管网排查整治,统筹污水泵站调度,污水处理厂加强与主管部门沟通协作,共同推进源头管控工作。

(2)工程性提标改造需结合污水处理厂运营现状,详细分析近年来的进出水水质,系统评估运行现状,按照“一厂一策”制定提标改造方案。提标改造方案的确定需要主管单位、设计单位、污水处理厂运营方等多方进行讨论确定,宜采取强化生物脱氮除磷的工程改造方案,避免增加药剂使用量。

(3)在管理性提标方面,各污水处理厂可互相借鉴成功做法,交流先进管理经验,加强水处理技术人才培养,优化工艺运行方案。通过强化生物系统脱氮除磷能力,通过加强全流程水质分析,合理调整污泥浓度,基于氨氮指标控低溶解氧,优化内外回流比,调整药剂投加点位等管理性措施来增强脱氮除磷效果。同时积极更换老旧设备,加强设备

(下转第45页)

(2)选好土料是保证施工质量的基础。土源是堤防的建筑材料,要从土料力学性能指标,到保证土量的供应,兼顾运输经济效益,统筹好土方平衡、气候条件、运输环境等需求。要杜绝不按试验基础上确定的参数要求,特别是土源不够,凭感觉经验临时东拼西凑,将不合格的土料用于堤防填筑的现象。

(3)组织好机械作业是必须抓好的技术管控关键环节。施工技术管理要质量、安全、进度一体化统筹,从流程上完备体系建设、组织构架、人机相融。同时要注重用创新管理方式优化现场施工管理方案,抓好现场施工安全管理,有效控制好工程质量与施工进度。此外,新老堤接触面和邻近建筑物等复杂部位施工(如涵洞洞身、挡墙、格埂以及房

屋建筑等部位),要认真做好专项施工技术方案并对现场作业人员进行技术交底,做好周边建筑物的保护工作。参建各方密切配合,严格现场监督实施,既要保证土方压实到位,又不损坏有关建筑物。

参考文献:

- [1] 刘斌,力刚,陈家强,等.堤防安全及抢险技术的分析与应用[J].江苏水利,2023(9):66-69.
- [2] 李艳梅,苏兴彬,陆世权,等.明渠渠堤土方填筑碾压试验[J].广西水利水电,2022(6):15-21.
- [3] 中华人民共和国水利部.土工试验规程:SL237—1999[S].北京:中国水利水电出版社,1999.
- [4] 中华人民共和国水利部.堤防工程施工规范:SL260—2014[S].北京:中国水利水电出版社,2014.

(上接第40页)

的维护保养,装配行业先进的监测仪表,升级信息自控技术等,对生产运营带来事半功倍的效果。

(4)提标改造后污水处理厂的运行成本上升明显,尤其是电耗基本都小幅上涨,通过加强工艺优化调整,采取一系列节能措施,电耗水平总体仍处于行业优秀水平。强化生物除磷效果,优化化学除磷工艺,提标后除磷剂单耗总体呈下降趋势,降耗成果显著,提标后碳源单耗也呈下降趋势,工程性提标改造起到了非常好的生物脱氮效果。

参考文献:

- [1] 李一平,郑可,周玉璇,等.南方城市污水处理系统效能评估与提质增效策略制定[J].水资源保护,2022,38(3):

50-57.

- [2] 夏青.城镇污水处理厂污染物排放标准修改完善的思考[J].水资源保护,2020,36(5):22-23.
- [3] 冯仕训,张万里,蒋岚岚.太湖流域8座污水处理厂新地标提标改造设计总结[J].中国给水排水,2022,39(8):76-80.
- [4] 李鹏峰,郑兴灿,李激,等.城镇污水处理厂提标改造工作流程探讨[J].中国给水排水,2019,35(22):14-19.
- [5] 肖先念,唐霞,孙伟,等.南方某典型污水处理厂提标改造内部调控及工艺探讨[J].给水排水,2020,46(5):73-77.
- [6] 陈秀成.长三角地区污水处理厂排放标准解析及提标改造对策思考[J].给水排水,2019,45(11):29-32.