

城镇污水处理厂升级改造分析*

蒙小俊

(安康学院旅游与资源环境学院,陕西 安康 725000)

摘要 城镇污水处理厂在水环境保护中发挥关键作用,为应对日益严格的排放标准,大量城镇污水处理厂面临升级改造需求。分析了城镇污水处理厂进水水质,指出了水质达标的重点与难点,总结了常用的升级改造技术、工艺运行参数和升级改造工艺的评价和优化方法,并介绍了典型的升级改造工艺案例,为城镇污水处理厂升级改造提供理论和技术支撑。

关键词 污水处理厂 进水水质 水质指标 升级改造

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2021.11.016

Analysis of upgrading and reconstruction of urban sewage treatment plants MENG Xiaojun. (School of Tourism & Environment, Ankang University, Ankang Shaanxi 725000)

Abstract: Urban sewage treatment plants play a key role in water environmental protection. To deal with stricter discharge standards, a large number of urban sewage treatment plants need to be upgraded. The influent water quality of the sewage treatment plant was analyzed, the major and difficult points of the water quality standard were pointed out, and the widely used upgrading technology, process operation parameters and optimization and evaluation methods of the upgrading process were summarized. The typical upgrading and reconstruction process cases were introduced. It was expected to provide theoretical and technical support for upgrading and reconstruction of urban sewage treatment plants.

Keywords: wastewater treatment plant; influent water quality; water quality standards; upgrading and reconstruction

随着我国城镇化和工业化程度的不断提升,工业废水和生活污水的排放为城镇水环境改善带来了巨大压力。据统计,我国生活污水排放量以每年6%的速度不断上升,大量未经处理的污水排入河道,水体中的COD、氨氮、TP等污染物严重超标,造成水体富营养化和导致河流水体黑臭等水污染现象,破坏水环境生态系统^[1-4]。污水处理设施是提升基本环境公共服务、改善水环境质量的重大环保民生工程,加大污水处理设施建设是城镇污染减排的重要举措^[5]。近年来,我国城镇污水处理厂投运量大幅增加,由2008年的1445座迅速增长至2018年的3919座。

目前,我国城镇污水处理厂的污水处理工艺以A²/O、氧化沟、序批活性污泥法(SBR)及其变形工艺(连续进水循环式活性污泥法(CASS)、间歇进水循环活性污泥法(CAST))为主,随排放标准的提升,出水水质难以稳定达标,特别是低温条件下污染物的去除效率较低。《水污染防治行动计划》明确要求要因地制宜对现有城镇污水处理设施进行

改造,达到相应排放标准或再生利用要求^[6],改造目标基本可分为两大类:一类为处理规模达标,出水水质不达标的设施,另一类为处理规模、出水水质均不达标的设施^[7]。依据区域环境保护目标应执行相应的污水排放标准,改造要基于城镇污水处理厂实际运行现状,确定进水水质,指出水质达标难点,明确改造后的工艺单元和工艺流程,工艺改造中要考虑对设备和水力同时改造,生物池改造是恢复和提升城镇污水处理厂功能的核心,工艺改造后要重新匹配与之相应的工艺参数。为确保改造工艺可行,满足污水处理要求,且处理效果稳定可靠,需对改造后的工艺进行模拟分析和评价,而改造前后的处理效果和运行成本分析是衡量改造成功与否的重要依据。

为此,本研究通过整理大量文献数据,对城镇污水处理厂进水水质、水质达标难点、升级改造技术及工艺、工艺运行参数和升级改造模拟与评价进行了综合分析,介绍了典型的升级改造工艺案例,以期城镇污水处理厂的升级改造提供科学参考。

作者:蒙小俊,男,1981年生,博士,讲师,主要从事水环境评价与水污染控制工程研究。

*安康学院高层次人才科研专项(No.2016AYQDZR09)。

1 城镇污水处理厂进水水质

城镇污水处理厂进水水质考察指标主要有 COD、BOD₅、悬浮固体(SS)、氨氮、TN 和 TP,设计进水水质多以现状年调查的水质为基础,保证率常选取 90%或 95%并做适当调整。各指标比值在污水处理过程中具有重要的工程意义,BOD₅/COD可预测污水的生物降解性,一般要求进水 BOD₅/COD>3,若 BOD₅/COD过低则要设置水解酸化池提高污水的生化性;若要进行生物脱氮或生物除磷,一般要求进水 BOD₅/TN>4 或 BOD₅/TP>17,才能保证碳源充足;若同步脱氮除磷,需要的碳氮比、碳磷比更高^[8],若碳源不足,则影响生物脱氮除磷效果;SS/BOD₅>1.5 时,表明进水中无机固体组分含量偏高,则需设置初沉池或具有同等功能的设施,以强化对进水 SS 的去除^[9]。从全国范围来看,污水处理厂平均进水 COD、BOD₅、SS、氨氮、TN 和 TP 分别为 219.97、81.64、148.54、22.83、30.36、3.70 mg/L,根据污水处理厂进水 BOD₅/COD、BOD₅/TN、BOD₅/TP、SS/BOD₅ 等指标,我国 98%的样本污水处理厂进水都适用于生化处理,有机物满足生物除磷需求,但大多数情况下需添加甲醇、葡萄糖、乙酸和乙酸钠等弥补反硝化的碳源不足^[10-11]。

2 城镇污水处理厂水质达标难点识别

一般地,城镇污水处理由预处理单元、生物处理单元和深度处理单元三级处理组成。预处理单元以去除 SS 和较大颗粒物为主,污水中 BOD₅、SS 的去除率分别约为 30%、50%;生物处理单元可去除 COD、BOD₅、SS 和部分氮磷,其中 COD、BOD₅ 的去除率可分别达到 80%、90%左右;深度处理单元主要用来进一步去除污水中剩余的 SS、氮磷营养物质以及其他微量有机物^[12]。污水处理过程中,COD 主要通过好氧分解、脱氮除磷、厌氧消化和污泥处置等环节去除,BOD₅ 的去除和 COD 类似;氮主要在生物处理单元的氨化、硝化、反硝化和污泥处置环节去除;SS 在预处理、生物处理和深度处理单元均有一定去除;磷主要通过生物与深度处理单元结合达到去除目的;生物处理单元是整个处理过程的核心。

城镇污水排放主要执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002),不同污水处理厂根据其处理目标执行不同级别排放标准。目前,大部分城镇污水处理厂要求执行的排放标准与实际污水处理厂工艺不相符,致使出水水质难以达标。部分

城镇污水处理厂要求执行 GB 18918—2002 一级 A 标准,但却采用二级处理工艺,如具有同步脱氮除磷功能的 A²/O 工艺(及其各种改良工艺)、氧化沟、SBR、曝气生物滤池(BAF)等,除受进水水质超标影响外,其出水基本可满足 GB 18918—2002 一级 B 标准^[13-21]。对于 A²/O 工艺,执行 GB 18918—2002 一级 A 标准时,出水 TP 和 SS 是达标难点;对于氧化沟、SBR、CAST、CASS 等工艺,SS、氨氮、TN 和 TP 为达标难点^[14-16]。

依据区域发展情况和保护环境的要求,北京、天津、江苏、浙江等地区均制定了相应的地方标准,江苏地方标准《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)和浙江地方标准《城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB33/2169—2018)虽未对 BOD₅ 和 SS 两大指标提出具体要求,但 COD、TN、氨氮和 TP 相比 GB 18918—2002 一级 A 标准总体更加严格。北京地方标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB11/890—2012)、天津地方标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB12/599—2015)和上海地方标准《上海市污水排放标准》(DB31/199—2018)均对 COD、TN、氨氮、BOD₅ 和 SS 提出了具体要求,其中北京、天津地方标准中 A 标准的一些指标达到甚至超过《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅳ类水域水质标准(COD、BOD₅、TN、氨氮、TP 分别为 30、6、1.5、1.5、0.3 mg/L)。对更加严格的地方标准,在不含难降解有机物的情况下,氨氮、TN 和 TP 均为达标难点。不同地方标准的使用范围、指标排放限值汇总见表 1。

3 城镇污水处理厂升级改造

3.1 升级改造技术及工艺

由生活污水、工业废水和雨水组成的城镇污水水质水量变化较大,难降解有机物浓度高,BOD₅/TN 偏低,而 SS/BOD₅ 偏高,同时低温会引起 TN、氨氮、TP 和 SS 去除率降低。为达到更高排放标准,依据污水达标难点,城镇污水处理厂应对超标污染物进行有效去除,各单元 COD、SS、氨氮、TN 和 TP 的主要改造手段见表 2^{[17-22],[23]26}。预处理单元设置调节池可均衡水质水量,增设水解酸化池可提高后续生物处理单元水质生物降解,增设初沉池可提高 COD、SS 的去除;生物处理单元可通过添加填料等手段提高生物量,强化 COD、TN、TP、氨氮和 SS 的去除;深度处理单元可通过增设 O₃ 氧化等手段进一步去除 COD,通过添加除磷药剂强化磷的

表 1 污水排放标准及主要污染指标
Table 1 Sewage discharge standards and main pollution indicators

区域	标准号	标准级别	适用范围	COD /(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	TN /(mg·L ⁻¹)	氨氮 /(mg·L ⁻¹)	TP /(mg·L ⁻¹)	SS /(mg·L ⁻¹)
全国	GB 18918—2002	一级 A	出水引入稀释能力较小的河湖作为城镇景观用水和一般回用水等用途	50	10	15	5(8) ¹⁾	1.0(0.5) ²⁾	10
		一级 B	出水排入 GB 3838—2002 中Ⅲ类水域,《海水水质标准》(GB 3097—1997)第二类功能海域和湖、库等封闭或半封闭水域	60	20	20	8(15) ¹⁾	1.5(1.0) ²⁾	20
		二级	出水排入 GB 3838—2002 中Ⅳ、Ⅴ类水域或 GB 3097—1997 中第三类、第四类功能海域	100	30		25(30) ¹⁾	3	30
北京	DB11/ 890—2012	A	新(改、扩)建污水处理厂,出水排入 GB 3838—2002 中Ⅱ、Ⅲ类水域	20	4	10	1.0(1.5) ³⁾	0.2	5
			现有污水处理厂,出水排入 GB 3838—2002 中Ⅱ、Ⅲ类水域	50	10	15	5(8) ³⁾	0.5	10
		B	新(改、扩)建污水处理厂,出水排入 GB 3838—2002 中Ⅳ、Ⅴ类水域	30	6	15	1.5(2.5) ³⁾	0.3	5
			现有污水处理厂,出水排入 GB 3838—2002 中Ⅳ、Ⅴ类水域	60	20	20	8(15) ³⁾	1.0	20
天津	DB12/ 599—2015	A	设计规模≥10 000 m ³ /d	30	6	10	1.5(3.0) ⁴⁾	0.3	5
		B	1 000 m ³ /d≤设计规模<10 000 m ³ /d	40	10	15	2.0(3.5) ⁴⁾	0.4	5
		C	设计规模<1 000 m ³ /d	50	10	15	5(8) ⁴⁾	0.5	10
江苏	DB32/ 1072—2018		太湖一、二级保护区	40		10(12) ¹⁾	3(5) ¹⁾	0.3	
			太湖流域其他区域	50		12(15) ¹⁾	4(6) ¹⁾	0.5	
浙江	DB33/ 2169—2018		现有城镇污水处理厂	40		12(15) ¹⁾	2(4) ¹⁾	0.3	
			新建城镇污水处理厂	30		10(12) ¹⁾	1.5(3) ¹⁾	0.3	
上海	DB31/ 199—2018 ⁵⁾	一级	向敏感水域直接排放水污染物的排污单位	50	10	10(15) ⁵⁾	1.5(3) ⁵⁾	0.3	20
		二级	向非敏感水域直接排放水污染物的排污单位、各类污水处理厂	60	20	15(20) ⁵⁾	5(8) ⁵⁾	0.5	30
		三级	间接排放水污染物的排污企业	500	300	70	45	8	400

注: 1) 括号外数值为水温>12℃的控制指标, 括号内数值为水温≤12℃的控制指标; 2) 括号外数值为 2005 年 12 月 31 日前建设项目的控制指标, 括号内数值为 2006 年 1 月 1 日后建设项目的控制指标; 3) 括号外数值为每年 4 月 1 日至 11 月 30 日执行的控制指标, 括号内数值为每年 12 月 1 日至次年 3 月 31 日执行的控制指标; 4) 括号外数值为每年 4 月 1 日至 10 月 31 日执行的控制指标, 括号内数值为每年 11 月 1 日至次年 3 月 31 日执行的控制指标; 5) 括号外数值为每年 3 月 1 日至 10 月 31 日执行的控制指标, 括号内数值为每年 11 月 1 日至次年 2 月 28 日执行的控制指标; 6) 敏感水域指 GB 3838—2002 中Ⅲ类功能及以上水域、GB 3097—1997 中第二类功能及以上海域, 包括国家和上海市规定的自然保护区范围内水域及其他重点生态保护和建设区; 非敏感区指敏感区以外的水域。

去除, 利用滤布滤池等提高 SS 的去除, 利用反硝化滤池并投加碳源提高 TN 的去除。

污水处理厂总体改造原则为先优化运行, 后工程措施; 先内部碳源, 后外加碳源; 先生物除磷, 后化学除磷, 合理控制成本和运行费用。生物单元强化通常是改造的核心, 常用强化途径见表 3^{[13]23}。生物处理单元中, 可以通过添加填料形成 MBBR 来提高生物量, 提升处理负荷, 强化处理效果, 实现原池提量, 对低碳源污水有较好的去除效果。有研究表明, 在针对 GB 18918—2002 一级 A 的提标改造中,

添加 SPR-II 型悬浮载体的 MBBR 中硝化菌丰度为 6.08%, 是其在污泥中的 6 倍, 反硝化菌的丰度为 13.40%, 未投加碳源情况下, MBBR 中通过同步硝化反硝化(SND)途径去除 TN 的贡献率可达 13.20%^[24-25]。低温下城镇污水处理厂水质不易达标, 但 6~8℃下改造的 MBBR 工艺出水氨氮始终保持在 5 mg/L 以下, 去除率达到 94.2%, 系统具有较好的耐低温性能^[26]。无建设用地时, A²/O、SBR 和氧化沟工艺均能较易改造成 MBBR, 在好氧池或缺氧池原位原池进行, 对工艺流程影响小。

表 2 城镇污水处理主要改造手段

Table 2 Main reconstruction technologies of urban sewage treatment

现有问题	改造单元	改造手段
进水水质水量不稳定	预处理单元	设置调节池
进水 COD 偏高或偏低	预处理单元	增设或取消初沉池
进水 COD 偏高	生物处理单元	强化污泥回流, 主体生化系统改为移动床生物膜反应器(MBBR)、生物膜反应器(MBR)等
出水 COD 偏高	深度处理单元	增设 O ₃ 氧化、吸附、Fenton 氧化、膜过滤等环节
进水 BOD ₅ /COD 偏低	预处理单元	增设水解酸化池
	生物处理单元	多点进水、添加生物填料
	深度处理单元	增设 O ₃ 氧化、吸附、Fenton 氧化、膜过滤等环节
出水 TN 偏高	生物处理单元	多点进水、添加碳源、添加填料强化处理
	深度处理单元	增设反硝化滤池并添加碳源、膜过滤等环节
出水氨氮偏高	生物处理单元	添加填料强化处理
	深度处理单元	增设硝化滤池
出水 TP 偏高	生物处理单元	添加填料强化生物除磷
	深度处理单元	添加化学除磷药剂、超滤膜分离等
进水 SS 偏高	预处理单元	增设初沉池
出水 SS 偏高	生物处理单元	添加化学混凝剂
	深度处理单元	增设磁混凝、砂滤池、纤维滤池、滤布滤池、膜过滤等环节
臭味	全程	封闭并生物除臭+活性炭吸附
污泥脱水率偏低	脱水车间	增设板框压滤机

表 3 强化生物处理途径

Table 3 Enhanced biological treatment approaches

项目	强化方法	特点	优点	缺点	使用情况
途径 1	降低已有生物处理负荷, 扩容新建生物池	并联生物处理单元	对生产影响小, 基本可不停产建设	生物池(除 SBR 系列) 后续水力负荷构筑物不便利用或衔接复杂	扩容与提标同时实施
途径 2	对生物处理单元原地、原池改造	提高生物池污泥浓度	对现有流程影响小	对生产影响较大, 要减产、分池	提标且无建设用地
途径 3	增加生物处理单元, 延长处理流程	串联生物处理单元	对生产基本没影响, 基本可不停产建设	流程长、处理单元及管理环节多	提标且有建设用地

改造应因地制宜, 充分利用现有处理设施, 尽量减少新增设施, 工艺的选取应力求运行安全可靠、技术先进成熟、出水水质优良、抗冲击负荷能力强、易于维护管理、高效节能, 且宜减少工程投资及运行成本, 常用改造工艺路线为强化预处理+生物处理运行优化及投加填料+同步化学除磷+深度处理, 经深度处理后出水 SS、BOD₅、COD、氨氮、TN 和 TP 分别不大于 5、4、20、2、10、0.3 mg/L^{[13][21]、[27]}, 出水水质达到相应污水排放标准。

3.2 改造工艺运行参数设置

工艺升级改造时需依据原有工艺的组成和特点重置与之匹配的水力负荷、有机负荷、混合液悬浮固体浓度(MLSS)、污泥龄(SRT)、回流比和水力停留时间(HRT)等运行参数, 参数对工艺稳定运行、污染物去除和节能降耗有重要影响。水力负荷过低使 HRT 过长, 影响处理规模, 水力负荷过高使 HRT 过短, 污染物去除效率降低, 同时对二沉池泥水分离产生不利; 高有机负荷将加快有机物降解, 产生更多剩余污

泥, 加重企业处理负担, 低有机负荷需加大池容, 与实际处理需求不符; 维持适宜的 MLSS, 可以保证足量的生物浓度和活性, MLSS 过低生物数量不足, 废水处理效果不高, MLSS 过高则使 SRT 延长, 活细胞浓度降低, 同时影响泥水分离和传质效果; SRT 决定活性污泥中微生物的种类, 世代时间长于 SRT 的微生物在污泥中不能成为优势菌种, 脱氮除磷微生物对 SRT 要求不同, 脱氮相比除磷需更长的 SRT, SRT 越长则有机负荷越低, 硝化效果越好; 通过调控回流比可以维持 MLSS 在适宜水平和二沉池稳定, 回流比过高会降低二沉池污泥沉淀效率, 使出水水质下降, 回流污泥浓度相应降低, 回流比过低则生物池 MLSS 不足, 出水水质降低; HRT 要与污染物的去除和功能微生物的时代周期相适应, HRT 过短水质下降甚至恶化。我国城镇污水运行温度冬季 10~16 °C, 夏季 24~30 °C^[28], 冬季低温条件下 COD、BOD₅、TN、TP、氨氮和 SS 去除率有所降低, 水质难以稳定达标。适当降低有机负荷, 提高污水 HRT, 增大回流比以及提

高 SRT 可应对低温的不利影响。

3.3 升级改造工艺的评价与优化

通常依据经验或者使用简单传统的计算即可完成城镇污水处理厂的升级改造与参数设计,但对于排放标准较严格的污水处理厂,基于经验和计算的升级改造通常难以满足设计要求,为确保升级改造后污水处理达到效果,且运行稳定可靠,需对升级改造的工艺进行模拟分析、诊断和优化。利用活性污泥数学(ASM)模型对污水处理过程进行模拟可对升级改造后的工艺进行评价和优化^{[29]1119},在设备选型上筛选出节能高效设备,使之能够有效应对生产运行中的水量波动,实现节能降耗。常用的 ASM 模型主要包括 ASM1、ASM2、ASM2D、ASM3 4 个^[30],在污水处理厂工艺评价和优化中发挥了重要作用。庞洪涛等^[31]利用 BioWin 软件对某城市污水处理厂悬浮填料生物膜工艺的运行问题进行模拟诊断,结果表明调整 $DO \geq 4.5$ mg/L、排泥量 ≤ 250 m^3/d 或回流比 $\geq 50\%$ 均可使出水氨氮达到排放标准;将填料投配于生化池的后段能够改善硝化效果;参数调节的优先次序依次是排泥量、回流比、投配方式和 DO。胡志荣等^[32]利用 GPS-X 软件对采用传统方法设计的污水 SBR 处理工艺进行了评价,结果表明利用传统方法设计的 SBR 工艺的循环设置并不能满足所有运行条件下的出水水质要求,可以通过模拟分析技术优化 SBR 的循环设置使得出水水质满足设计要求。马昭等^[33]利用 ASM2D 模型对实际奥贝尔氧化沟工艺进行建模,并校准与验证模型,通过优化氧化沟的回流比与 BOD_5 污泥负荷率以达到对工艺的优化,结果表明当污泥回流比为 $55\% \sim 60\%$ 、污泥负荷为 $0.056 \sim 0.060$ $kg/(kg \cdot d)$ 时,奥贝尔氧化沟工艺可取得较好的污染物去除率。

4 城镇污水处理厂升级改造案例

4.1 A^2/O 类工艺改造

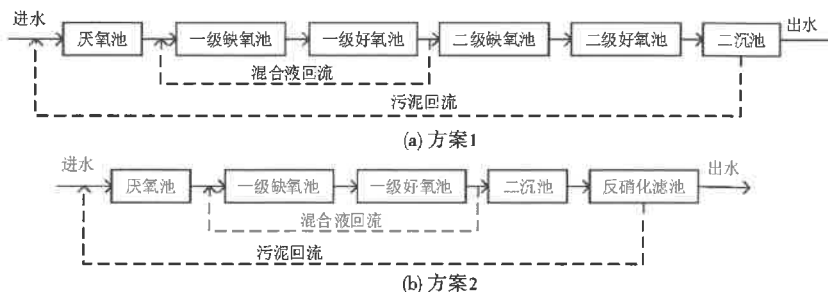


图1 改造工艺的模拟流程

Fig.1 Simulation of improved technical processes

福建某污水处理厂主体工艺为 A^2/O 工艺,设计规模为 5.0×10^4 m^3/d ,设计进水水质 BOD_5 、COD、氨氮、TN、TP、SS 分别为 225、380、35、50、4.0、250 mg/L,出水水质执行 GB 18918—2002 一级 A 标准,现要求出水提高 GB 3838—2002 IV 类水域水质标准(TN 除外),根据工艺流程,高效沉淀池及纤维转盘滤池主要去除 SS 和 TP, TN 和氨氮是该污水处理厂出水达标的难点。该厂拟采用两种方案进行改造并设置相应的工艺参数,方案 1 为改良 Bardenpho 工艺,即在现有 A^2/O 后增加 A/O 工艺;方案 2 为在二沉池后增设反硝化滤池,即 A^2/O +反硝化滤池工艺。在 GPS-X 模拟软件平台中建立两种方案的工艺模型流程(见图 1),模拟不同进水温度下的两种改造方案的处理效果,结果表明方案 1 出水 TN、氨氮浓度更低,脱氮性能更好,更能有效保证出水 TN 及氨氮达标。鉴于该污水处理厂需要重点保证脱氮效果,因此拟定提标工艺为改良 Bardenpho 工艺。对改良 Bardenpho 工艺进行优化模拟,选择排泥量为 1050 m^3/d ,优化后工艺混合液回流比和污泥回流比分别由原来的 $200\%、100\%$ 降至 $160\%、80\%$,出水 COD、 BOD_5 、氨氮、TN 和 TP 均达到 GB 3838—2002 IV 类水域水质标准^[34]。

4.2 氧化沟类工艺改造

浙江某污水处理厂一期设计处理规模为 6.0 万 m^3/d (实际进水 5.4 万~ 7.2 万 m^3/d),二期扩建 6.0 万 m^3/d ,深度处理总规模为 12.0 万 m^3/d ^{[23]25}。该污水处理厂进水中工业废水含量高,生活污水和工业废水体积比约为 $47:53$,进水 COD、SS、氨氮、TN、TP 分别为 422、188、33.9、41.1、5.82 mg/L,主体工艺为调节池+厌氧水解池+氧化沟+高密度沉淀池+转盘滤池工艺,出水水质执行 GB 18918—2002 一级 A 标准。改造前,该污水处理厂进水各污染因子浓度比设计值稍高,厌氧水解池未设厌氧污

泥回流,氧化沟池深较深,氧利用率不高,能耗较高,曝气效果欠佳,整个流程脱氮除磷功能分区不明确,未投加碳源和同步化学除磷。因此,难降解 COD、TN、TP 为该污水处理厂达标的难点。基于原有工艺结构,设计改造工艺为调节池+水解酸化+多段式强化脱氮 A²/O 生化+O₃ 氧化+高效沉淀+生物滤池+消毒工艺,改造后的工艺流程见图 2。

在提标改造过程中,该项目增设原有厌氧水解污泥回流设施,确保池内污泥浓度,提高效果;氧化沟增加同步化学除磷和投加碳源措施,同时投加悬浮填料,以提高池内污泥浓度,出水稳定达到 GB 3838—2002 IV 类水标准(TN 除外)。改造总工程费用 29 632.01 万元,设计直接处理成本为 1.72 元/m³,污水处理厂单位水量电耗为 1.4 (kW·h)/m³;实际运行时直接处理成本为 1.40 元/m³,污水处理厂单位水量电耗为 1.0 (kW·h)/m³。

4.3 SBR 类工艺改造

呼和浩特市某污水处理厂采用 CAST 工艺,设计规模 5×10⁴ m³/d,出水劣于 GB 18918—2002 一级 B 标准^[35]。该污水处理厂出水氨氮偏高,且现况设计未考虑 TN,脱氮是达标难点。因厂区用地紧张,综合考虑工程投资等因素,在保证出水水质的前提下,利用现况设施,减少新增工程量降低造价,节约成本,同时预留再次提标余地,拟采用 MBBR+活性砂滤池工艺进行提标改造。改造后污水处理厂平均出水 COD、BOD₅、氨氮、TN、TP 分别为 23.5、4.5、1.58、12.3、0.28 mg/L,出水水质达到 GB 18918—2002 一级 A 标准。

河北省张家口市某城镇污水处理厂设计处理规模为 1.5×10⁴ m³/d,实际处理规模为 8 000~12 000 m³/d^{[29][112]},实际进水 COD、BOD₅、氨氮、TN、SS 分别为(400±50)、(160±20)、(70±10)、(80±10)、(200±20) mg/L,原主体工艺采用 CASS,出水水质执行 GB 18918—2002 一级 B 标

准。该污水处理厂实际进水氨氮远高于设计值,COD 低于设计值,实际进水碳氮比约 4.75,碳源不足导致出水 TN 不达标。基于 ASM 模型采用 GPS-X 软件构建了该厂 CASS 工艺提标改造模型,分别对污泥回流比、反应区体积比、充水比、运行周期和不同水温的 CASS 运行方案进行数值模拟优化,综合模拟结果提出以下改造方案:常温(20℃)下,缺氧区与好氧区体积比为 12.8%,在进水的同时,主反应区打开搅拌器进行反硝化,时间为 90 min;污泥回流比设为 200%,进水结束后曝气,曝气时间 120 min,沉淀 60 min,滗水 60 min,滗水深度 1.25 m,排泥 30 min;温度降至 15℃时,延长 30 min 搅拌时间。冬季温度在 8℃以下时,额外增加 30 min 曝气时间。升级改造之后的实际运行效果表明,冬、春季的出水 TN 分别为(9.83±1.40)、(11.45±1.15) mg/L,可稳定达到 GB 18918—2002 一级 A 标准,基于 ASM 模拟优化的升级改造方案切实可行。

5 结论与展望

污水处理厂升级改造要依据工程实际,对进水水质、水质达标难点、工程存在的现状问题、经济水平等进行全面分析,改造技术和工艺的选取要因地制宜,在参考类似工艺改造经验的基础上尽可能结合现有设施,升级改造工艺的处理效果和运行成本分析要基于数学模型的模拟和优化进行。当前大部分改造工艺均凭借经验或者简单的传统计算完成,对于更严格的污水排放标准在设备的选择、工艺评价和优化、节能降耗和全周期调度管理等方面很难实现精细化和智慧化。未来城镇污水处理厂升级改造应从以下方面开展:(1)基于 ASM 模型的多功能软件的开发和应用;(2)开发高效经济的传统技术和新技术复合的新工艺;(3)充分运用建筑信息模型、信息化技术和人工智能技术,探索数字化污水处理厂建设。

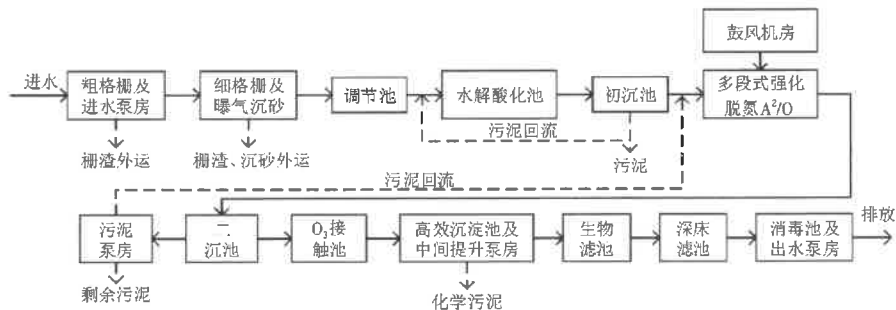


图 2 浙江某污水处理厂提标改造工艺流程

Fig.2 Technical process for upgrading of a sewage treatment plant in Zhejiang

参考文献:

- [1] 张文静,刘彤宙,董文艺,等. AGS-MBR 组合工艺处理城市生活污水的运行参数优化[J]. 环境工程学报, 2019, 13(3): 624-632.
- [2] 迟娟,姜勇,袁训珂,等. 福创溪-大排沟黑臭水体一河一策治理工程[J]. 环境工程学报, 2019, 13(2): 496-504.
- [3] 高旭阔,张迪. 考虑环境因素的城镇污水处理投资效率[J]. 中国环境科学, 2018, 38(9): 3594-3600.
- [4] 曹特特,王林,李咏梅. AAO 工艺低氧条件下的运行及其模拟[J]. 环境科学, 2018, 39(1): 219-226.
- [5] 崔建鑫,赵海霞. 城镇污水处理设施空间优化配置研究[J]. 中国环境科学, 2016, 36(3): 943-952.
- [6] 赵晔,陈玮,徐慧纬,等. 城镇污水收集处理系统提质增效过程中节能减排可行性分析[J]. 给水排水, 2019, 45(1): 42-46.
- [7] 刘东征,王正雄,杨涛,等. 乡镇污水处理厂升级改造工程设计及经验总结[J]. 给水排水, 2019, 45(10): 47-50.
- [8] 姚杰,裘湛,安莹,等. 污水处理厂脱氮除磷潜力分析评价体系的应用[J]. 中国给水排水, 2018, 34(15): 79-84.
- [9] 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): 14-18.
- [10] 郭泓利,李鑫玮,任钦毅,等. 全国典型城市污水处理厂进水水质特征分析[J]. 给水排水, 2018, 44(6): 12-15.
- [11] 张维,颜秀勤,张悦,等. 我国城镇污水处理厂运行药耗分析[J]. 中国给水排水, 2017, 33(4): 103-108.
- [12] 钱林,薛哲骅,王首都. 城市污水厂一级 A 排放标准提标改造工艺设计[J]. 净水技术, 2020, 39(4): 39-44.
- [13] 刘向荣,简德武,简爽,等. 高排放标准下城镇污水处理厂的提标改造探讨[J]. 中国给水排水, 2019, 35(20): 137-140.
- [14] 刘加强,李昂,李莹,等. 改良 A²/O 在城市污水处理厂提标改造中的应用[J]. 水处理技术, 2018, 44(12): 107-111.
- [15] 田亚军,彭贵龙,王海源,等. 鄂尔多斯某污水处理厂提标改造工程实践[J]. 中国给水排水, 2020, 36(6): 107-111.
- [16] 梅小乐,代博,杨红,等. MBBR+SBR 工艺用于寒冷地区污水处理厂升级改造[J]. 中国给水排水, 2019, 35(20): 92-95.
- [17] 刘发辉,许龙海,陈汝超,等. 石洞口污水处理厂除臭提标改造的思路与实践[J]. 中国给水排水, 2019, 35(22): 52-57.
- [18] 刘巨波,麻倩. 山东某污水处理厂基于地表Ⅲ类水体标准的改扩建工程设计[J]. 给水排水, 2019, 45(5): 64-69.
- [19] 陈秀成. 嘉兴联合污水处理厂提标改造工程设计及经验总结[J]. 中国给水排水, 2020, 36(4): 47-52.
- [20] 王乃丽,王金梅,田杰,等. 工业园区污水厂水质特征及提标改造前景探析[J]. 水处理技术, 2019, 45(7): 110-113.
- [21] 张玲玲,尚巍,孙永利,等. 高标准下天津市津沽污水处理厂提标改造效果分析[J]. 给水排水, 2019, 45(10): 37-41.
- [22] 张鹤,清朱帅,吴振军,等. 城镇污水处理厂“准Ⅳ类”标准提标改造技术简析[J]. 环境工程, 2019, 37(6): 26-30.
- [23] 周文明,周华,黄荣敏,等. 浙江某污水处理厂提标改造和扩建工程设计实例[J]. 给水排水, 2019, 45(12): 100-105.
- [24] 路晖,辛涛,吴迪,等. MBBR 工艺在污水处理厂提量增效中的应用[J]. 中国给水排水, 2019, 35(4): 100-105.
- [25] 周桢领,吴迪,韩文杰,等. MBBR 镶嵌氧化沟在某污水处理厂的提标效果分析[J]. 中国给水排水, 2019, 35(17): 1-6.
- [26] 郑志佳,白华清,孟涛,等. 低温下 MBBR 强化硝化原理分析和应用[J]. 中国给水排水, 2019, 35(23): 6-11.
- [27] 杨凡,邹磊,王雪. 立体生态生物膜工艺在高排放标准污水处理中的应用[J]. 中国给水排水, 2018, 34(6): 60-64.
- [28] 陈珺,王洪臣,BERNHARD W. 城市污水处理工艺迈向主流厌氧氧化的挑战与展望[J]. 给水排水, 2015, 41(10): 29-34.
- [29] 柳蒙蒙,陈梅雪,齐嵘,等. 面向寒冷地区城镇污水处理厂提标改造的 ASM 模拟优化及其应用[J]. 环境工程学报, 2020, 14(4): 85-89.
- [30] 许洲. 基于 ASM2D 仿真模拟的特大型污水处理厂强化硝化工艺[J]. 净水技术, 2015, 34(6): 85-89.
- [31] 庞洪涛,邱勇,薛晓飞,等. 悬浮填料生物膜工艺的模拟诊断与优化[J]. 中国给水排水, 2017, 33(3): 23-27.
- [32] 胡志荣, SNOWLING S, ANDRES H. 工艺模拟技术用于 SBR 优化设计[J]. 中国给水排水, 2005, 21(9): 60-62.
- [33] 马昭,刘玉玲,巩书涵,等. 基于 ASM2D 模型对奥贝尔氧化沟工艺的模拟研究[J]. 环境工程学报, 2016, 10(12): 6947-6955.
- [34] 魏忠庆,上官海东,叶均磊,等. 基于 GPS-X 模拟的污水处理厂提标工艺优化[J]. 中国给水排水, 2018, 34(19): 81-84.
- [35] 高伟楠,周川,纪海霞,等. MBBR 用于呼和浩特市某污水处理厂提标改造的设计与运行[J]. 中国给水排水, 2019, 35(10): 53-59.

编辑:丁怀 (收稿日期:2020-10-21)

(上接第 1438 页)

参考文献:

- [1] 杨勇,黄海,陈美平,等. 异位热解吸技术在有机污染土壤修复中的应用和发展[J]. 环境工程技术学报, 2016, 6(6): 559-570.
- [2] 沈宗泽,陈有鑑,李书鹏,等. 异位热脱附技术与设备在我国污染场地修复工程中的应用[J]. 环境工程学报, 2019, 13(9): 2060-2073.
- [3] 刘利群,刘春江. 间接热解吸技术在含油污泥处理中的应用[J]. 天然气与石油, 2017, 35(2): 117-120.
- [4] YANG B, XUE N D, DING Q, et al. Polychlorinated biphenyls removal from contaminated soils using a transportable indirect thermal dryer unit: implications for emissions [J]. Chemosphere, 2014, 114: 84-92.
- [5] MA F J, ZHANG Q, XU D P, et al. Mercury removal from contaminated soil by thermal treatment with FeCl₃ at reduced temperature [J]. Chemosphere, 2014, 117: 388-393.
- [6] LIU Y Q, ZHANG Q, WU B, et al. Hematite-facilitated pyrolysis: an innovative method for remediating soils contaminated with heavy hydrocarbons [J]. Journal of Hazardous Materials, 2020, 383: 121165.
- [7] GU Q B, XU D P, ZHANG X Y, et al. HCH removal from soils related to temperature and particle sizes in ex-situ thermal desorption process [J]. Fresenius Environmental Bulletin, 2012, 21(12): 3636-3642.
- [8] 戴梦嘉,刘钰钦,张倩,等. 熟石灰强化热脱附修复重质石油污染土壤[J]. 环境工程学报, 2020, 14(12): 296-302.
- [9] 赵倩,李书鹏,刘渊文,等. 间接热解吸工艺对去除污染土壤中 PAHs 的应用效果研究[J]. 环境工程, 2018, 36(3): 180-184.
- [10] TATANO F, FELICI F, MANGANI F. Lab-scale treatability tests for the thermal desorption of hydrocarbon-contaminated soils [J]. Soil and Sediment Contamination, 2013, 22(4): 433-456.
- [11] FALCIGLIA P P, GIUSTRA M G, VAGLIASINDI F G A. Low-temperature thermal desorption of diesel polluted soil: influence of temperature and soil texture on contaminant removal kinetics [J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 185(1): 392-400.
- [12] 胡孙,陈纪赛,周永贤,等. 异位热脱附技术在某污染场地中试试验[J]. 环境科技, 2017, 30(4): 33-38.
- [13] 夏天翔,姜林,魏萌,等. 焦化厂土壤中 PAHs 的热脱附行为及其对土壤性质的影响[J]. 化工学报, 2014, 65(4): 1470-1480.
- [14] 许优,顾海林,詹明秀,等. 有机污染土壤异位直接热脱附装置节能降耗方案[J]. 环境工程学报, 2019, 13(9): 2074-2082.

编辑:胡翠娟 (收稿日期:2020-12-24)