

严兴, 李碧清, 王楚佳, 等. 广州某典型分期建设污水厂的高效调试和运行调控技术[J]. 净水技术, 2024, 43(7): 111-118, 140.

YAN X, LI B Q, WANG C J, et al. Efficient commissioning and operation control technology for a typical phased WWTP construction in Guangzhou[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(7): 111-118, 140.

广州某典型分期建设污水厂的高效调试和运行调控技术

严兴^{1,2,*}, 李碧清¹, 王楚佳¹, 廖茂荫¹, 雷芳¹, 黄梓晴^{1,2}

(1. 广州市净水有限公司, 广东广州 510655; 2. 广州水务环保技术有限公司, 广东广州 510163)

摘要 污水厂分期建设是目前各大、中、小城市规划建设的常态。基于污水厂运行负荷率、水质标准、投资保障和系统的安全性等要素, 污水厂的分期建设和运行, 是未来城镇污水厂建设的方向。广州某市政污水工程项目扩建规模为 $3 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$, 采用 AAO+MBR 工艺, 提标规模为 $2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$, 采用改良 AAO+深度处理工艺。为了解决试运行初期系统功能不全、出水 TP 去除率低、多期污水厂间水量调配规律不清、能耗过高、水质波动异常及新工艺安全管理经验不足等问题, 一是增加临时措施, 如采用多台大功率发电机分区供应主要设备, 采用临时鼓风机生化曝气, 以及采用临时药剂罐和铺设临时药管等措施, 实现按期通水和达标排放的目标; 二是优化工艺, 提高运行能力, 通过分点进水、优化曝气量和曝气方式, 逐渐形成一套成熟、低能耗的多期污水厂的调试和调控运行技术, 确保出水稳定达标, 保障区域水环境安全。

关键词 分期建设 调试运行 宏基因组测序 节碳降碳 MBR

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2024)07-0111-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.07.013

Efficient Commissioning and Operation Control Technology for a Typical Phased WWTP Construction in Guangzhou

YAN Xing^{1,2,*}, LI Biqing¹, WANG Chujia¹, LIAO Maoyin¹, LEI Fang¹, HUANG Ziqing^{1,2}

(1. Guangzhou Sewage Purification Co., Ltd., Guangzhou 510655, China;

2. Guangzhou Water Environmental Protection Technology Co., Ltd., Guangzhou 510163, China)

Abstract The construction of wastewater treatment plants (WWTPs) by stages is the normal state of the planning and of large, medium and small cities at present. Based on the operating load rate, water quality standards, investment guarantee, system safety and other factors of WWTPs, the construction and operation of WWTPs by stages is the direction of urban WWTP construction in the future. A municipal wastewater project in Guangzhou includes expansion and bid upgrading, among them, the expansion project is $3 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$, adopting AAO+MBR process, and the bid upgrading project is $2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$, using modified AAO + advanced treatment process. In order to solve the problems of incomplete system function, low removal rate of total phosphorus, unclear water allocation regular pattern between multi-stage WWTPs, high energy consumption, abnormal water quality fluctuation and insufficient experience in new process safety management at the initial stage of trial operation, the first was to use temporary measures, such as using multiple high-power generators to supply main equipment by zones, using temporary blowers for biochemical aeration, and using temporary reagent tanks and laying temporary reagent tubes. To achieve the goal of water supply on schedule and discharge up to standard, the second was to optimize the process, improve the operation capacity, and gradually form a set of mature, low-energy multi-stage WWTP commissioning and regulation operation experience through influent at different points, and optimize the amount and mode of aeration, so as to finally ensure that the effluent is stable and up to standard, and ensure the safety of the regional water environment.

Keywords construction by stages commissioning operation macrogene sequencing carbon reduction MBR

[收稿日期] 2023-06-19

[基金项目] 广东省重点领域研发计划项目(2019B110209002); 广州市科技计划项目(2017100100007); 广州市“岭南英杰工程”人才计划穗人社函[2019]928号

[通信作者] 严兴(1982—), 男, 高级工程师, 主要从事污水厂建设、污水处理和固体废弃物处理处置等研究工作, E-mail: yanxing82001@163.com。

广州某污水厂分为一、二期,总处理规模为 $5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,其中一期规模为 $2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,二期规模为 $3 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,总占地为 $2.266 \times 10^5 \text{ m}^2$ 。一期采用改良厌氧-缺氧-好氧(AAO)工艺,传统的地上构筑物形式,于2004年4月投产运行,执行一级B排放标准。一期提标与二期扩建同步建设,其中一期在原预留地面上增设V型滤池和接触消毒池等池体,提高污水处理效果;二期采用全地理式膜生物反应器(MBR)工艺,地下建造污水厂池体,地面为绿化公园和体育公园,于2018年12月开工建设,2020年6月正式投产运行,执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准和《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)V类标准的较严值。

表1 一期提标前设计进出水水质

Tab. 1 Designed Influent and Effluent Quality before the Phase I Standard Upgrading

水质指标	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	粪大肠杆菌/ (个·L ⁻¹)	pH 值
进水	≤127	≤170	≤28	≤20	≤5.0	-	-
出水	≤20	≤20	≤15	≤8	≤1.5	≤10 000	6~9

注:一期设计时,未限定进出水 COD_{Cr} 值。

表2 一期提标后设计进出水水质

Tab. 2 Designed Influent and Effluent Quality after the Phase I Standard Upgrading

水质指标	COD _{Cr} / (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	粪大肠杆菌/ (个·L ⁻¹)	pH 值
进水	-	≤127	≤170	≤28	≤20	≤5.0	-	-
出水	≤40	≤10	≤10	≤15	≤2	≤0.4	≤1 000	6~9

二期采用 AAO+MBR+紫外消毒处理工艺,出水标准与提标后一期出水标准相同,汇入同一排放口。

污水厂在调试和调控运行上具有显著的特点,调试期经历了永久用电未投用、生化池鼓风机未完成调试、自控系统功能不全、“四新”设备未完全正常运转和能耗过高等不利因素的影响,通过调控工艺参数、补充投加碳源、优化加药方式、调整分点进水比例和联动调控等方式,确保污水厂一、二期高效节能和稳定运行,为其他类似分期建设污水厂的调试、调控和运行提供了经验和方法。

1 污水处理厂概况

1.1 规模及进、出水水质

污水厂一期工艺为改良 AAO+V 型滤池+接触消毒池/紫外消毒,出水经河涌汇入珠江。一期设计规模为 $2 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,实际处理能力可达 $2.6 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 。设计进出水水质如表1和表2所示。

二期工程设计规模为 $3 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,实际处理能力可达 $3.9 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 。设计进出水水质如表3所示。

表3 二期设计进出水水质

Tab. 3 Designed Influent and Effluent Quality of WWTP Phase II

水质指标	COD _{Cr} / (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	粪大肠杆菌/ (个·L ⁻¹)	pH 值
进水	≤270	≤150	≤240	≤35	≤25	≤5.0	-	-
出水	≤40	≤10	≤10	≤15	≤2	≤0.4	≤1 000	6~9

注:一期进水水质是在原设计阶段确定,二期进水水质依据系统现状实测数据确定,一、二期设计前后相隔多年,设计进水水质差异较大。

1.2 工艺流程

一期改良 AAO+V 型滤池+接触消毒池/紫外消毒工艺在南方低浓度城镇生活污水厂应用较多,是一种适用于低浓度进水的脱氮除磷工艺^[1-2],可去除污水中大部分可生化降解的有机污染物,特别是微生物

除磷效果较好^[3]。AAO 生化池前置预缺氧池,处理后出水经二沉池沉淀后直接排放。提标后,二沉池出水经过厂内二次提升后进入V型滤池,自流进入接触消毒池,如图1所示。提标工艺段不仅极大地降低了出水中的SS,也确保出水粪大肠杆菌达标排放,对TP

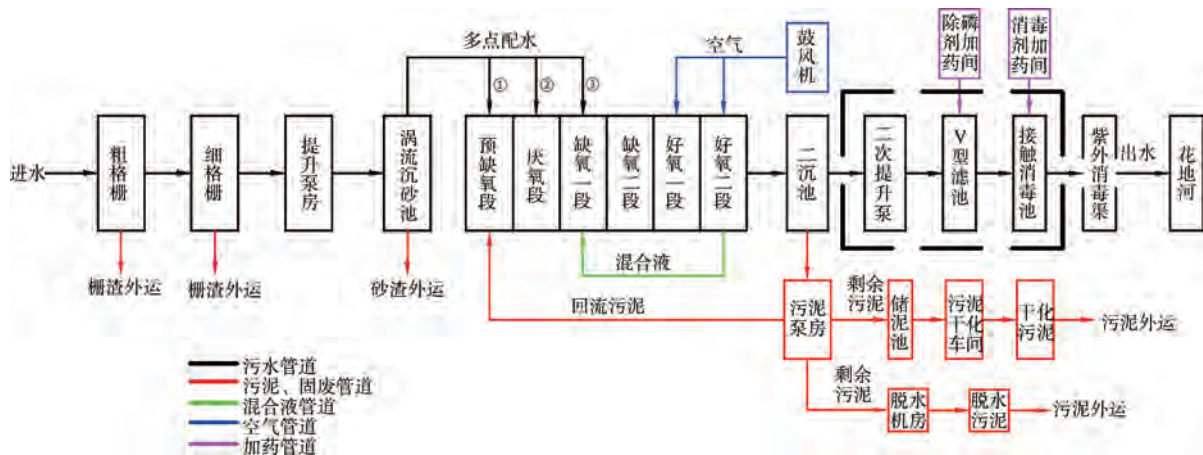


图 1 污水厂一期工艺流程

Fig. 1 Process Flow of WWTP Phase I

的去除也有一定的效果,同时,可优化 V 型滤池反硝化功能,提高对 TN 的去除效率^[4-5]。

二期 AAO+MBR+紫外消毒工艺较一期工艺,进一步提高了脱氮效率。该工艺采用多级回流和精准曝气方式,将厌氧段、缺氧段溶解氧(DO)含量精确控制在一定的范围,提高了各工艺段不同的生化功能,分点进水的设置有效保障了反硝化碳源,后置

缺氧 II 区进一步提高了生化脱氮效率^[6-7]。生化池由厌氧区、缺氧 I 区、好氧区、选择区和缺氧 II 区 5 段组成,通过分点进水,优化回流,将传统的内回流和外回流优化为三段式回流,降低了对不同生物相的影响^[8],分点进水如图 2 中的①、②和③。生化处理后的出水经 MBR 池固液分离后,通过产水泵产水,并经过紫外消毒后排放。

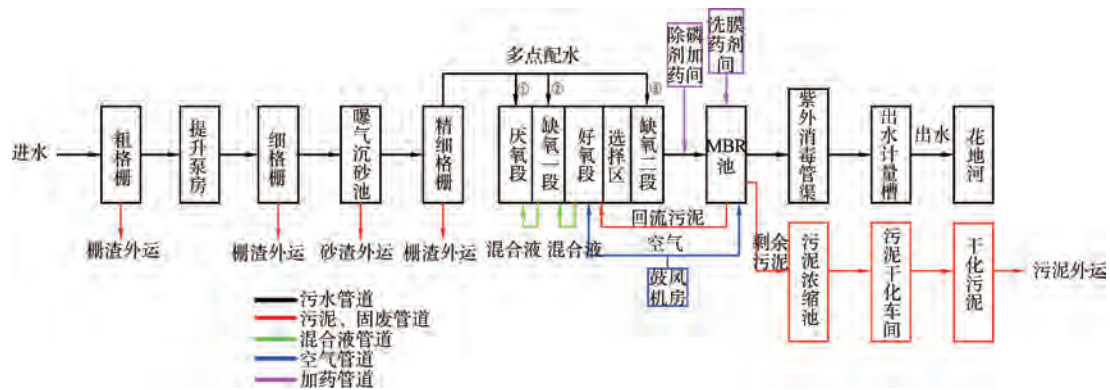


图 2 污水厂二期工艺流程

Fig. 2 Process Flow of WWTP Phase II

1.3 生化池

一期分两条生产线,规格长×宽×池深为 95.80 m×81.50 m×7.75 m,日常运行有效水深为 6 m。单条生产线设计流量 $1 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$,设计污泥质量浓度为 3 000 mg/L,实际运行约为 4 000 mg/L,污泥回流比约为 50%,混合液回流比约为 300%,污泥负荷为 $0.12 \text{ kg BOD}_5/(\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$,水力停留时间(HRT)为 11.2 h。其中,预缺氧池、厌氧池、缺氧池、好氧池 HRT 分别为 0.30、1.28、2.54、7.08 h。

二期分 4 条生产线,规格长×宽×池深分别为 $150.00 \text{ m} \times 36.75 \text{ m} \times 9.00 \text{ m}$,有效水深为 7~8 m。单条生产线设计流量为 $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,污泥质量浓度为 5 000~6 000 mg/L,分三级回流。其中,膜池至好氧区 R1 约为 400%,好氧区至缺氧 I 区 R2 约为 300%,缺氧 I 区至厌氧区 R3 约为 150%。污泥负荷为 $0.15 \text{ kg BOD}_5/(\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$,HRT 为 11.51 h,其中厌氧区、缺氧 I 区、好氧区、选择区、缺氧 II 区、脱氧区 HRT 分别为 1.16、2.33、4.88、0.70、2.21、0.23 h。

1.4 MBR 池

二期 MBR 膜系统采用聚偏二氟乙烯 (PVDF) 中空纤维膜,孔径为 $0.01 \sim 0.10 \mu\text{m}$ 。膜架设有对应配置的空气吹扫系统,吹扫的气体对膜丝进行吹扫擦洗,减少了膜孔的堵塞,提高了膜系统产水效率。

MBR 膜系统对应生化池分为 4 条生产线,每条生产线分 10 组膜池,每组膜池设有独立的控制产水单元,各膜池相互独立,膜廊道设独立的进、出水闸门。通过闸门关闭,可实现任意一组膜池在线检修。每套膜组器过滤面积为 $1\,848 \text{ m}^2$,单个膜池过滤面积为 $2.03 \times 10^4 \text{ m}^2$,平均膜通量为 $20 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (20°C),最大膜通量为 $22.5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (20°C)。

混合液在膜池中进行泥水分离,污泥被分离后,为进一步提高系统活性污泥性能,控制污泥龄,加强分离后的污泥排放,将 1% 总进水量的该泥水混合

物排入污泥浓缩池。浓缩后的上清液回流进入系统,浓缩后的污泥进入污泥处理单元,通过板框压滤和圆盘热干化处理后,含水率为 30%~40% 的污泥委托第三方单位进行无害化和资源化处置。

1.5 提标工艺

一期提标工艺主要增加 V 型滤池和接触消毒池及其配套的中间提升泵房、废水池、反冲洗泵房等。

V 型滤池采用双排对称布置,每组设置 8 个池体,单池过滤面积为 91.35 m^2 ,一般滤速为 7.48 m/h ,强制滤速为 7.98 m/h ,反冲洗周期设定 24 h。运行过程中,由提升泵房的待滤水分别进入进水总渠,经进水阀后溢流过堰口进入每组滤池,再经侧孔进入 V 型槽,分别经槽底均布的配水孔和槽堰进入滤池。每组滤池在恒定的液位下连续工作,滤池的过滤、反冲洗过程采用自动化控制,如表 4 所示。

表 4 V 型滤池工艺操控制
Tab. 4 Process Control of V-Type Filter

阶段	进水闸	出水闸	反冲洗排水阀	反冲洗进水阀	反冲洗水泵	反冲洗进气阀	鼓风机	排气阀	设定时间/min
滤池工作	O	O	C	C	C	C	C	O	-
滤池排水	C(1)	O	O(2)	C	C	C	C	O	-
气冲洗	C	C(3)	O	C	C	O(6)	O(5)	C(4)	2
气水冲洗	C	C	O	O(8)	O(7)	O	O	C	5
水冲洗	C	C	O	OO(13)	OO(12)	C(10)	C(11)	O(9)	6
滤池冲水	C(17)	O(18)	C(16)	C(15)	C(14)	C	C	O	-
滤池工作	O	O	C	C	C	C	C	O	-

注:O 表示开,C 表示关,1~18 为操作顺序,OO 表示开第二台泵、鼓风机或者阀门。

经过 V 型滤池的出水自流进入接触消毒池,采用次氯酸钠消毒。接触消毒池有效水深为 9.5 m,有效容积为 $5\,416 \text{ m}^3$,达到最大处理能力时,接触消毒池的 HRT 达到 0.5 h。该工艺段与原紫外消毒池串联,以次氯酸钠消毒为主,紫外消毒系统作为备用的消毒模式,有效保障了消毒效果。

1.6 污水收集系统

污水厂主要收集广州市西南部的污水,包含 6 座污水泵站,其中 4 座终点泵站。按照区域划分为东线、中线和西线污水管网,如图 3 所示。“三线”管网中的污水均可以进入一期处理,而二期目前只能接受中线终端的污水。泵站 2#和 3#的污水全部汇入西线管网进入污水厂一期处理,泵站 1#因管网建设的问题,70%以上污水进入西线,只有约 30%的

污水可以汇入中线,经过 4#泵站提升后进入污水厂二期,6#泵站在管网三通阀门井处可自由切换进入中线或西线,汇入中线的污水进入二期处理,未汇入中线的污水与 5#泵站收集的污水一并进入一期处理。

1.7 一、二期互联互通

污水厂一、二期最短直线距离约为 300 m,右侧(南)为一期污水厂,左侧(北)为二期全地理式污水厂,二期地面规划为绿化公园和体育公园,如图 4 所示。一、二期污水厂通过外管网和联调管基本实现污水互联互通,同步实施的厂内一、二期联通管项目将进一步优化完善污水的调配生产,保障污水厂停产检修和异常来水的可调度度;污泥通过连通管,已实现一、二期互联互通。

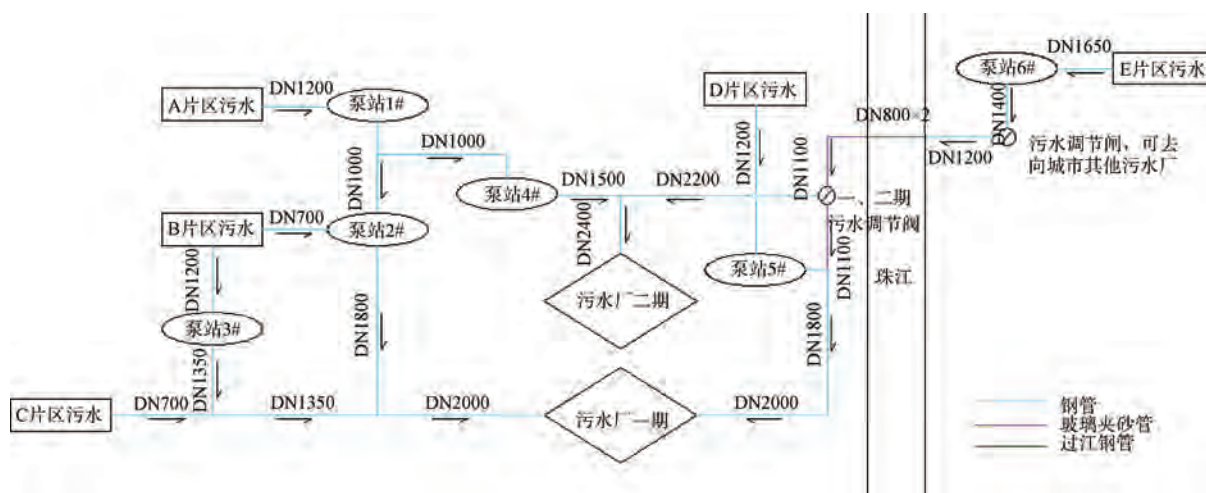


图 3 污水收集系统

Fig. 3 Wastewater Collection System



图 4 污水厂平面布局

Fig. 4 Layout Plan of WWTP

2 调试、调控运行过程

2.1 设备安装调试

一期提标和二期扩建工程为工程总承包(EPC)项目,建设单位靠前指挥,前置管理,组织营运技术人员提前介入设备安装和调试。一方面,可以对照运营质量标准进行检查,提高试运行成功的几率;另一方面从营运技术角度,提出现场安装的问题及改进建议,从源头上提高了设备安装的质量和调试的效率,也促使运营人员通过跟踪设备安装现场情况提升设备掌握度,提高了营运单位接收项目的效率。

污水厂自 2020 年 4 月进入设备安装阶段,6 月初基本完成 2 条线的设备安装及单机调试工作,可实现全流程污水处理。

2.2 清水联调和接种调试

按照工艺流程启动预处理段、生化处理段和膜池系统,检验各性能指标是否符合设备设施说明要求,各性能参数是否满足设计区间范围,膜池产水是否正常等。清水联调完成后,保持生化池 5 m 左右的水深,立即引入活性污泥进行驯化。接种采用一期浓缩池的污泥,质量分数为 2%左右。生化池 5 m 水深的有效体积约为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3$,接种污泥质量浓度按照 2 000 mg/L 控制,需加入浓缩污泥 2 250 t,一、二期污泥互联泵功率为 18.5 kW,流量为 $30 \text{ m}^3/\text{h}$,连续投加 3 d。调节鼓风机风量大小,确保好氧区末段 DO 质量浓度达到 1~2 mg/L,采用分点进水方式进污水 5 000 m^3 ,其中厌氧段进 2 500 m^3 ,缺氧 I 段

进 2 500 m³,按照各单元的调试操作方式逐步开启厌氧池搅拌器和缺氧池搅拌器,同步开启好氧池混合液回流泵和缺氧池混合液回流泵,每 1 h 检测生化池末段污泥沉降比,每 2 h 检测各指标去除率。稳定运行 1 d 后,继续进污水 5 000 m³,同时继续泵入污泥,使生化池污泥质量浓度达到 3 000 mg/L 以上,控制生化池水位接近目标水位(7~8 m)。持续检测沉降比和去除率,当污泥沉降比达到 20 左右,各指标去除率较高,如 COD_{Cr} 去除率达到 70% 以上, TN 去除率达到 30% 以上时,开启膜区进出水闸门,开启膜池吹扫风机,启动膜池污泥回流系统等。同时,按照一条生产线 50% 的处理能力稳定进水,优化鼓风量,控制生化池前端 DO 质量浓度为 5~6 mg/L,中段 DO 质量浓度为 3~4 mg/L,末段 DO 质量浓度为 1~2 mg/L,进一步复核膜池上清液指标,测得 COD_{Cr} 质量浓度约为 20 mg/L, TN 质量浓度约为 15 mg/L, TP 质量浓度约为 0.3 mg/L,且各指标除 TN 波动较大外均较稳定达标。此外,镜检生物相比较好,出现原生动物(钟虫)或后生动物(轮虫)等,逐步开启膜池产水,启动剩余污泥泵等其他设备设施,进一步调整优化各运行参数。针对出水 TN 的波动,在缺氧 II 段入口,按照 30~50 L/h 的流量投加碳源乙酸钠,出水 TN 质量浓度稳定达到 12 mg/L 以下时,停止投加碳源。受益于一、二期污泥连通管可有效实现生化池的高污泥浓度和高活性,系统调试 8 d 既可以实现出水达标排放。

3 调试和调控运行存在的困难及解决措施

3.1 试运行初期系统功能不全

污水厂二期运行初期,存在永久用电未投用、生

化池鼓风机未完成调试、自控系统功能不全、加药设施未联通和“四新”设备设施未完全熟悉的情况,且污水厂一、二期水量调配规律亦未清晰,严重影响污水厂的运行和节碳降碳功能。经过采用多台发电机供应主要设备衔接永久用电接驳前的真空期,租用大功率临时鼓风机,布置简易药剂罐加药,积极进行工艺调控。同时,通过外加碳源、优化回流等方式,保证了生化池、MBR 池活性污泥的正常生长,且污泥浓度维持在一定的水平并缓慢上升,完成了生化系统的培菌。随着永久用电的投用,鼓风机、加药系统等固定设施的完善,二期系统逐渐正常运行,出水稳定达标。临时措施为项目的上线运行节省了 1 个月的时间,经济、社会和环境效益显著。

3.2 TP 去除率低

污水厂二期出水 TP 持续偏高,自调试运行以来,出水 COD_{Cr}、BOD₅、TN、氨氮、SS、pH 等均已持续达到一级 A 标准和地表水 V 标准的较严值,但出水 TP 质量浓度仍维持在 0.4 mg/L 左右,较难稳定达标排放。进水 TP 平均值为 3.5 mg/L 以下,属于正常水平。检测生化池出水 TP 质量浓度为 0.5~0.7 mg/L,生物除磷段效果较好。正常运行后,出水 TP 质量浓度维持在 0.2 mg/L 以下,TP 去除率高,月均超过 92%,如图 5 所示。化学除磷药剂选用硫酸铝,投加量为 30~110 mg/L,远大于理论投加量(理论投加量约为 15 mg/L)。经过加大投药量、加大排泥、精准控制 DO 等措施,出水 TP 变化不大。

通过多次检测、核查和分析,发现硫酸铝的投加点和投加方式严重影响了除磷的效果。生物除磷处理后,大部分的磷都以正磷酸盐形态存在,硫

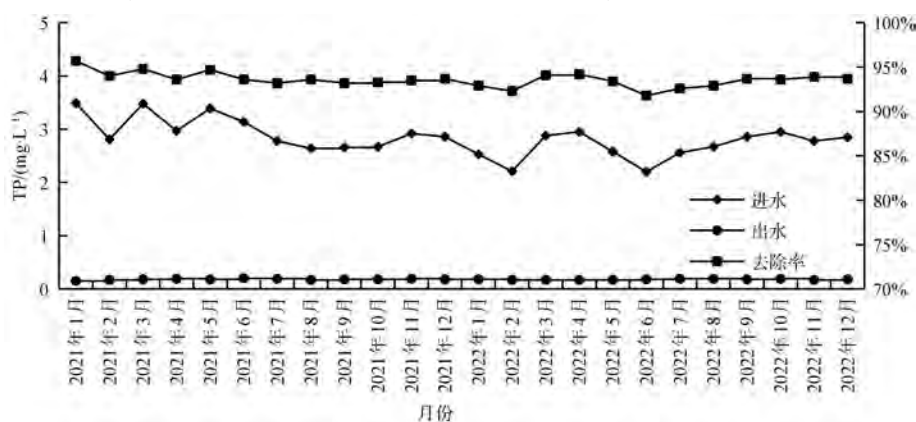


图 5 进出水 TP 去除率

Fig. 5 TP Removal Rate of Influent and Effluent

酸铝对正磷酸盐有较好的去除效果,絮凝反应效果通常较好^[9]。为保证 MBR 膜的正常运行,MBR 膜工艺污水厂硫酸铝投加点均设置在生化池出水口处,以确保硫酸铝与出水充分混合反应后再进入 MBR 池,如图 6 所示。然而由于结构布置等因素,加入硫酸铝的出水混合液很快流入膜池配水

渠,药剂与混合液混合时间短,且膜池吹扫风量较大,部分混合液存在短流和水力负荷低的问题等共同影响化学除磷的效果。通过将加药管深入生化池末端深处,并增加混合搅拌装置,确保药剂能够充分混合接触,提高了除磷效果,除磷剂节省达到 10% 以上。

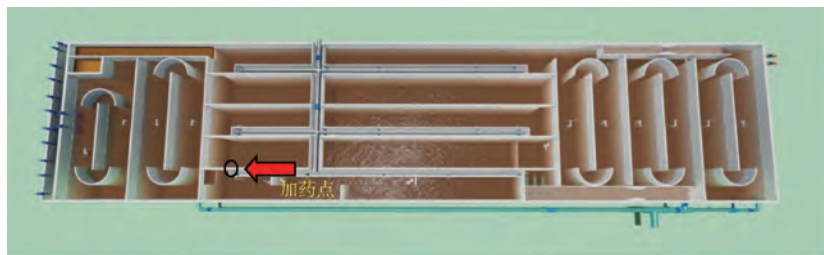


图 6 除磷剂加药点

Fig. 6 Dosing Point of Phosphorus Removal Chemicals

同时,由于膜池剩余污泥回流,回流污泥带走了大量的硫酸铝,硫酸铝对除磷菌影响较大。通过宏基因测序分析,聚磷菌总相对丰度厌氧前段为 0.5%,厌氧中段为 0.4%,厌氧末段为 0.6%,好氧前段为 0.4%,好氧中段为 0.3%,好氧末段为 0.4%。各段之间的常见聚磷菌丰度相当,在好氧段和厌氧段呈均匀分布态势,丰度值较低,约为普通 AAO 工艺中对应值的 1/2,且个别取样时段的

相对丰度接近 0,聚磷菌已基本失活。该问题是 MBR 污水厂多级回流普遍存在的疑点,通过降低回流到工艺前端的除磷药剂,逐渐恢复除磷菌的活性,同时确保系统各工艺段的污泥浓度,逐渐减少除磷药剂的投加。鉴于铝盐对微生物毒性的集聚作用,采用复合铝铁盐除磷剂代替硫酸铝,除磷剂投加量进一步降低,节省达到 30% 以上,如图 7 所示。

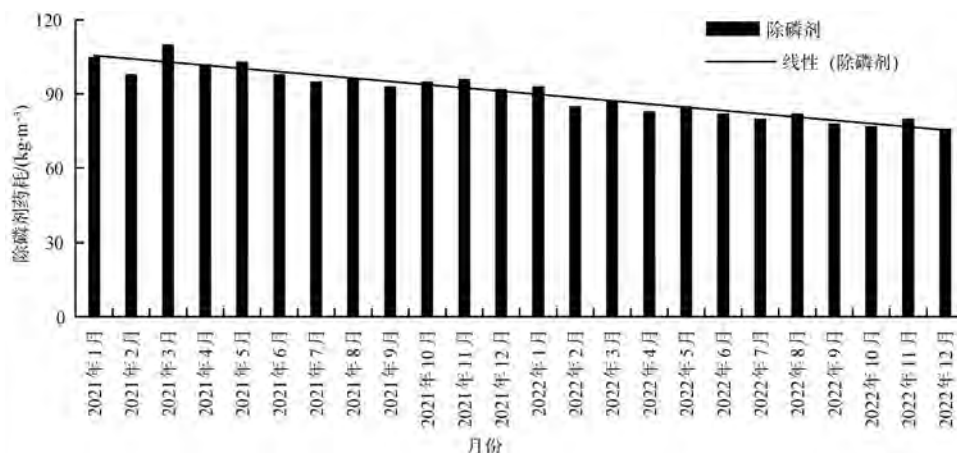


图 7 除磷剂药耗

Fig. 7 Consumption of Phosphorus Removal Chemicals

3.3 一、二期水量调配、节能控制及水质稳定达标

随着二期系统两条生产线逐渐稳定,同步调试其他生产线,确保二期具备 $3.9 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 的污水处理能力。鉴于一期吨水处理电耗较低,约为 $0.32 \text{ kW} \cdot \text{h}$,而二期全地埋式的布局及配套的通风除臭等,极大地增加了污水处理能耗^[10],初期吨水处理

电耗达到 $0.90 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 以上。药耗也有明显的不同,一期通过生物除磷即可以达标排放,而二期除磷剂投加量最高达到 $0.11 \text{ kg}/\text{m}^3$,平均约为 $0.085 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。系统将西线和大部分东线的污水汇入一期处理,一期基本达到满负荷运行,二期处理中线污水和东线部分污水,确保区域污水应收尽收。

一期能耗已在行业平均值以下,二期远高于行业平均值。为降低二期能耗,采用全流程水质监控实现精准曝气,逐渐优化鼓风量;加强膜系统清理,特别采用科学膜吹扫和优化反冲洗,提高膜系统产水效率;加强送风、排风系统路由的管理,减少风阻,优化送排风等方式,逐渐降低能耗,目前的吨水处理电耗约为 $0.8 \text{ kW}\cdot\text{h}$,电耗节省达到 12.5% ,节能效果明显;通过优化加药系统,精准投加,除磷剂投加量稳定控制在 $0.08 \text{ kg}/\text{m}^3$ 以下,药耗节省达到 10% 。

一期原设计较保守,HRT 较长,进水浓度较低,且新增提标反应池,极大提高了处理效果;而二期现有水量较小,工艺的调节能力较大,实际 HRT 较设计 HRT 长,出水水质较好,如表 5 所示。除 TN 外,其他指标值稳定控制在《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)地表Ⅲ类标准以下。通过调整各分点进水量,优化反硝化脱氮效果,保障缺氧段反硝化碳源浓度,在进水处于正常浓度的情况下,进水点①、②和③的比为 $4:5:1$ 时,TN 的去除率较高,达到 70% 以上。

表 5 进出水水质
Tab. 5 Influent and Effluent Quality

项目	水量/ ($\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$)	$\text{COD}_{\text{Cr}}/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{BOD}_5/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	氨氮/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	粪大肠杆菌/ (个 $\cdot\text{L}^{-1}$)	pH 值
进水	$3.0\times 10^5\sim$	190	110	105	26	21	2.5	—	—
一期出水	3.8×10^5	8.5	1.5	2.5	6.5	0.15	0.15	未检出	7.5
二期出水		7.5	1.0	1.0	7.0	0.15	0.2	未检出	7.5

3.4 系统安全性控制措施

全地理式污水厂的自动化程度较高,会出现连锁控制难度增加的问题。二期污水厂有 4 条生产线,其中预处理阶段并联设备一般都不少于 4 套,特别是精细格栅和曝气沉砂池,分别并联 9 套和 8 套,可以有效减少风险的发生。但现场存在只能远程控制,不能就地手动控制。一台可编程逻辑控制器(PLC)控制多台设备,一旦其中一台设备自控系统故障会引起该工艺段整体停机,导致污水溢流而产生地理厂水浸的风险,严重情况下可能导致整个污水厂停产。通过优化 PLC 控制系统,将多廊道设备设施“一控多”提高到“一控一”的标准,污水厂就地增设控制柜,解决了各工艺段设备设施不能就地控制和独立控制的问题等。全系统的安全性得到了提高,不仅能实现少人值守,也为应急控制提供了渠道,降低了污水厂运行风险。实施该措施后,未再出现任何系统故障影响生产的问题。

4 结语

分期建设污水厂极大地缩短了调试周期,为达标排放和上线生产节省了大量的时间。该污水厂一、二期通过污泥管道的互联互通,实现了二期的快速调试;通过有效措施,采用发电机、租用大功率的鼓风机和配备临时加药罐等,实现了污水厂建设项目的按期通水、达标排放和上线生产;在节碳降碳和

区域污水应收尽收的大前提下,通过水量调配和优化工艺调控,针对不同的工艺形成了一套有效的调控办法和措施;通过宏基因组等技术手段分析了 MBR 工艺的 TP 去除率低的问题,找出了问题的症结,并提出了有效的措施办法,节省药耗达到 30% 以上;全流程水质监控并精准曝气,逐渐优化鼓风量,采用科学膜吹扫和优化反冲洗,提高膜系统产水效率,加强送风、排风系统路由的管理,减少风阻,逐渐降低能耗,电耗节省达到 12.5% ,节碳降碳效果明显。

参考文献

- [1] 常尧枫,谢嘉玮,谢军祥,等. 城镇污水处理厂提标改造技术研究进展[J]. 中国给水排水, 2022, 38(6): 20–28.
CHANG Y F, XIE J W, XIE J X, et al. Research progress on upgrading and reconstruction technology of urban sewage treatment plants[J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(6): 20–28.
- [2] 李士松,朱春风,温汝青,等. 改良 A^2O +深度处理工艺用于污水厂类Ⅳ类标准提标[J]. 中国给水排水, 2021, 37(22): 63–67.
LI S S, ZHU C F, WEN R Q, et al. Application of modified A^2O and advanced treatment process in a wastewater treatment plant upgraded to quasi-Ⅳ surface water standards[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(22): 63–67.

(下转第 140 页)

- mineral processing wastewater[J]. China Metal Bulletin, 2021 (4): 219-220.
- [7] 胡尚军, 谢贤, 黎洁, 等. 选矿废水处理技术现状及展望[J]. 矿产保护与利用, 2021, 41(4): 43-49.
- HU S J, XIE X, LI J, et al. Current status and prospects of mineral processing wastewater treatment technology [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2021, 41 (4): 43-49.
- [8] 唐林茜, 张春华, 葛滢. 含锑废水处理技术研究进展[J]. 净水技术, 2022, 41(6): 15-23, 56.
- TANG L Q, ZHANG C H, GE Y. Research progress of technology for antimony removal in wastewater treatment [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(6): 15-23, 56.
- [9] 魏剑波, 陈维芳, 谢海英, 等. 铝合金铬酸阳极氧化废水中六价铬萃取法回收利用可行性[J]. 净水技术, 2022, 41 (5): 85-90, 96.
- WEI J B, CHEN W F, XIE H Y, et al. Reuse feasibility of Cr(VI) recovery by extraction from aluminum alloy chromic acid anodizing wastewater[J]. Water Purification Technology, 2022, 41(5): 85-90, 96.
- [10] 马灿明, 吴德礼, 李恩超, 等. 多羟基结构态亚铁处理含重金属废水的应用[J]. 净水技术, 2021, 40(3): 129-134.
- MA C M, WU D L, LI E C, et al. Application of ferrous polyhydroxide complex in heavy metal wastewater treatment[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(3): 129-134.
- [11] 张博, 黄辉, 钱佳, 等. 液体 CO₂ 软化/电化学氧化/UF 处理铅锌选矿废水[J]. 中国给水排水, 2023, 39(12): 145-148.
- ZHANG B, HUANG H, QIAN J, et al. Lead-zinc beneficiation wastewater treatment by liquid carbon dioxide softening/electrochemical oxidation/ultrafiltration process [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(12): 145-148.

(上接第 118 页)

- [3] 王阳, 张月, 王晓康, 等. 高排放标准下的改良 AAO+深度处理工程案例[J]. 中国给水排水, 2020, 36(18): 56-59.
- WANG Y, ZHANG Y, WANG X K, et al. Project case of modified AAO and advanced treatment process under high emission standards[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36 (18): 56-59.
- [4] 彭东升, 许洋, 张扬, 等. 深圳某低浓度进水污水处理厂的提标改造及其运行分析[J]. 水处理技术, 2022, 48(9): 142-145.
- PENG D S, XU Y, ZHANG Y, et al. Upgrading and reconstruction of a low concentration influent sewage treatment station in Shenzhen and its operational analysis[J]. Technology of Water Treatment, 2022, 48(9): 142-145.
- [5] 姜鸣, 石芳永, 顾雪峰, 等. 工业园区污水厂准Ⅳ类水质提标改造工程设计[J]. 中国给水排水, 2022, 38(2): 59-63.
- JIANG M, SHI F Y, GU X F, et al. Design of a wastewater treatment plant upgrading project in an industry park to meet quasi-IV surface water standard [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(2): 59-63.
- [6] 白鹤, 林亚凯, 张景隆, 等. PVDF 浸没式超滤膜市政污水再生处理运行研究[J]. 水处理技术, 2021, 47(9): 86-90, 96.
- BAI H, LIN Y K, ZHANG J L, et al. Study on the operation of PVDF submerged ultrafiltration membrane in municipal wastewater regeneration [J]. Technology of Water Treatment, 2021, 47(9): 86-90, 96.
- [7] 庄彦华, 唐燕华, 杨笑康, 等. 改进 UCT 工艺强化城镇污水脱氮除磷实例研究[J]. 水处理技术, 2023, 49(3): 102-108.
- ZHUANG Y H, TANG Y H, YANG X K, et al. Case study on strengthening nitrogen and phosphorus removal of urban sewage by the improved UCT process [J]. Technology of Water Treatment, 2023, 49(3): 102-108.
- [8] 都雪晨, 黄华玲, 靳斌斌, 等. MBBR 和 MBR 工艺在南方某用地受限污水处理厂扩建及提标改造中的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(5): 164-171.
- DU X C, HUANG H L, JIN B B, et al. Application of MBBR and MBR processes in extension and upgrading project of a southern WWTP under limited land use[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(5): 164-171.
- [9] 郁达伟, 李亚明, 杨敏, 等. 大型再生水厂不同工艺的 COD、TN 和 TP 去除效果及其影响因素分析[J]. 环境科学学报, 2015, 35(11): 3558-3567.
- YU D W, LI Y M, YANG M, et al. Long-term performance variation of water pollutants removals in a megareclaimed water plant [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2015, 35 (11): 3558-3567.
- [10] 陈广. 城市污水处理系统运行品质提升思考与实践[J]. 净水技术, 2023, 42(5): 1-4.
- CHEN G. Thinking and practice on improving operation quality of urban wastewater treatment system [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(5): 1-4.