

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.17.012

多段改良A²O脱氮除磷工艺生产运行优化

柯水洲¹, 胡祥¹, 马晶伟¹, 朱莹², 尚俊才², 宾伟²

(1. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 长沙水业集团 长沙排水有限责任公司, 湖南 长沙 410015)

摘要: 以湖南省长沙市花桥水质净化厂为例,运用正交试验的方法研究了混合液内回流比、污泥外回流比和四点进水比例(前置反硝化段:厌氧段:主缺氧段:后置缺氧段)对二沉池出水的影响。结果表明,内外回流比和四点进水比例对TP和NH₃-N去除率的影响较小,后置缺氧段和厌氧段进水比例对TN去除率的影响最大。借助系统物料衡算分析,发现主缺氧段去除硝态氮和亚硝态氮量占系统总去除量的70%~80%,后置缺氧段仅占10%~20%,借助进水碳源的合理分配,适当内回流可使系统脱氮效果最大化。经验证,当四点进水比例为15:65:15:5、内回流比为100%、外回流比为50%左右时,TN去除率最高,达到67.82%,较对照组提升4.74%;当四点进水比例为20:65:15:0、内回流比为50%、外回流比为40%左右时,试验组二沉池出水平均TP比对照组低0.093 mg/L。统计分析了不同季节污泥负荷与污染物去除率的关系,结果表明春夏季、秋冬季的最优污泥负荷(以COD计)分别为0.15和0.22 kg/(kgMLVSS·d),以此调节污泥浓度,可达到降本增效的目的。

关键词: 改良A²O工艺; 脱氮除磷; 运行优化; 物料衡算; 污泥负荷

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)17-0074-07

Operation Optimization of Multi-stage Modified A²O Process for Nitrogen and Phosphorus Removal

KE Shui-zhou¹, HU Xiang¹, MA Jing-wei¹, ZHU Ying², SHANG Jun-cai², BIN Wei²

(1. School of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China; 2. Changsha Drainage Co. Ltd., Changsha Water Group, Changsha 410015, China)

Abstract: This paper investigated the effects of internal reflux ratio of mixed liquid, sludge external reflux ratio and influent distribution ratio of pre-denitrification section, anaerobic section, main anoxic section and post-anoxic section on the effluent from secondary sedimentation tank of Huaqiao Water Quality Purification Plant in Changsha City, Hunan Province by orthogonal test. The internal and external reflux ratio and four-point influent distribution ratio had little influence on the removal rates of TP and NH₃-N, while the influent distribution ratio of the post-anoxic section and anaerobic section had the greatest influence on the removal rate of TN. The mass balance analysis of the system indicated that the removal of nitrate nitrogen and nitrite nitrogen in the main anoxic section accounted for 70% to 80% of the total removal amount in the system, while the post-anoxic section accounted for only 10% to 20%. The rational distribution of influent carbon sources and appropriate internal reflux could maximize the nitrogen removal performance of the system. When the four-point influent distribution ratio was 15:65:15:5, the

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52070076)

通信作者: 马晶伟 E-mail: jma@hnu.edu.cn

internal reflux ratio was 100%, and the external reflux ratio was approximately 50%, the removal rate of TN reached the maximum of 67.82%, which was 4.74% higher than that of the control group. When the four-point influent distribution ratio was 20:65:15:0, the internal reflux ratio was 50%, and the external reflux ratio was approximately 40%, the average TP in effluent from the secondary sedimentation tank in the experimental group was 0.093 mg/L lower than that in the control group. The relationship between the sludge loading rate and the pollutant removal rate in different seasons was statistically analyzed. The results showed that the optimal sludge loading rate calculated by COD was 0.15 kg/(kgMLVSS·d) in spring and summer, and 0.22 kg/(kgMLVSS·d) in autumn and winter, indicating that the purpose of reducing cost and increasing efficiency could be achieved by adjusting sludge concentration.

Key words: modified A²O process; nitrogen and phosphorus removal; operation optimization; mass balance; sludge loading rate

多年来随着国内外工程经验的逐步积累和工艺技术的不断改进,相继诞生了众多改良型A²O工艺,比如A-AAO工艺、多点进水倒置AAO工艺、UCT工艺、MUCT工艺等。其中,多点进水A²O工艺能很好地解决进水碳源不足的情况下,由于反硝化细菌和聚磷菌对优质碳源的竞争而导致的脱氮除磷效果下降问题,在南方城镇污水处理厂中被广泛采用。南彦斌等^[1]提出了两点进水的最佳比例,并取得了较好的出水效果。四点进水A²O工艺可在提高生物系统除磷能力的同时强化脱氮效果,但目前国内外采用四点进水的污水厂较少,对多点进水分配比例的研究也基本上停留在小试阶段,鲜见直接在污水厂进行生产运行优化及调控的报道。

污泥负荷是活性污泥增长、有机物降解及氧利用速率的重要影响因素。而污泥浓度是活性污泥系统的关键指标,污泥浓度过高,导致耗氧量及能耗过大;污泥浓度过低,则抗冲击能力降低,系统甚至可能出现崩溃。高效控制污泥浓度对系统良好运行、节能至关重要,有研究已经实现通过污泥负荷对污泥浓度进行精确控制,并取得了良好的环境 and 经济效益^[2]。为此,笔者结合不同季节进水水质特征,统计分析污泥负荷与污染物去除率的关系,给出相对应的最优污泥负荷,为污水厂的运行调控提供指导。

在不影响污水厂正常生产运行的前提下,于污水处理厂现场采用正交试验的方法,探索进水分比例、混合液内回流比和污泥外回流比对系统出水指标的影响,在此基础上根据实际处理效果和物料衡算结果来寻求质量的参数关系,为多点进水A²O

的运行调控提供优化参数。

1 项目概况

1.1 项目简介

花桥水质净化厂位于长沙市雨花区黎托街道花桥村,规划总处理规模为86×10⁴ m³/d。其中,旱季处理规模一期为16×10⁴ m³/d、二期为20×10⁴ m³/d、三期为20×10⁴ m³/d(已投10×10⁴ m³/d)。生产性试验在花桥水质净化厂二期工程进行,采用“多段改良A²O+高效沉淀+深床滤池+紫外线消毒”工艺,并进行对比试验。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A标准,接纳水体为浏阳河。花桥水质净化厂二期生物池工艺流程及单元体积见图1和表1(目前在运行过程中主缺氧段没有进水)。

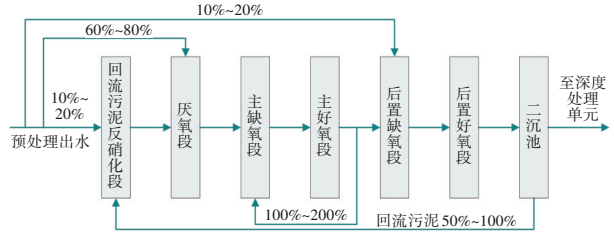


图1 多段改良A²O工艺流程

Fig.1 Multi-stage modified A²O process

表1 各单元体积

Tab.1 Volume of each unit

项 目	体积/m ³	占比/%	设计HRT/h
前置反硝化段	1 797	5.5	0.75
厌氧段	3 115	9.5	1.30
主缺氧段	7 307	22.2	3.05
主好氧段	15 813	48.2	6.60
后置缺氧段	2 396	7.3	1.00
后置好氧段	2 396	7.3	1.00

1.2 水质数据

表2为2019年花桥水质净化厂进出水水质。可知,花桥厂2019年出水TN、TP和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 均能稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准,但要稳定达到《湖南省城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB 43/T 1546—2018)的一级标准(以下简称“地标一级”),还有一定差距。

表2 2019年花桥水质净化厂进出水水质

Tab.2 Influent and effluent quality of Huaqiao Water Quality Purification Plant in 2019 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项 目	COD	BOD ₅	SS	TN	TP	NH ₃ -N
进水平均	182.9	100.9	180.4	23.6	3.2	19.3
进水范围	60.3 ~ 418.0	30.0 ~ 192.0	31.0 ~ 436.0	12.3 ~ 43.5	0.9 ~ 7.5	5.6 ~ 35.2
出水平均	9.9	3.0	3.5	7.9	0.1	0.4
出水范围	2.46 ~ 29.4	0.2 ~ 8.79	1 ~ 9	3.6 ~ 12.9	0.01 ~ 0.48	0.02 ~ 3.95
国家一级A标准	50	10	10	15	0.5	5(8)
湖南地标一级	30	—	—	10	0.3	1.5(3)

2 生产性试验研究

2.1 研究目标

前期通过正交试验探索相对最优工况,后期结合过程分析、物料衡算、局部微调等手段达到强化脱氮除磷的目的,使出水水质达到地标一级。

2.2 正交试验设计

正交试验设计的因素水平见表3。

表3 因素水平表

Tab.3 Factor level %

水 平	进水流量比例				回流比	
	前置反硝化段	厌氧段	主缺氧段	后置缺氧段	内回流	外回流
1	20	60	20	0	50	40
2	15	65	15	5	100	60
3	10	70	10	10	150	80
4	5	75	5	15	—	—

试验共设置12组(见表4),由于DO的人工精准控制在实际操作上存在较大难度,故在整个正交试验期间将主好氧段末端和后置好氧段末端的DO均控制在1~3 mg/L。

表4 正交试验表

Tab.4 Orthogonal experiment table %

项 目	前置反硝化段	厌氧段	主缺氧段	后置缺氧段	内回流比	污泥回流比
Run1	20	60	15	5	50	40
Run2	15	60	10	15	150	60
Run3	10	60	20	10	100	80
Run4	20	65	5	10	150	80
Run5	15	65	15	5	100	40
Run6	5	65	20	10	50	60
Run7	20	70	10	0	150	60
Run8	10	70	5	15	50	40
Run9	5	70	20	5	100	80
Run10	15	75	10	0	100	60
Run11	10	75	15	0	150	40
Run12	5	75	5	15	50	80

2.3 水质检测方法

对生物池各段COD、TN、TP、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、pH、DO取样检测,按照推流时间取各段的瞬时样(混合液),静置10 min取上清液于采样瓶,冷藏于4℃冰箱,24 h内检测。检测各段活性污泥混合液的MLSS、MLVSS,回流污泥过滤后测COD、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 和 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 。

COD采用重铬酸钾滴定法测定;TN采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法测定;TP、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 采用钼锑抗分光光度法测定; $\text{NH}_3\text{-N}$ 采用纳氏试剂分光光度法测定; $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 采用紫外分光光度法测定; $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 采用重氮耦合分光光度法测定;pH采用pH计测定;DO、温度采用在线溶解氧仪记录;MLSS、MLVSS、SS采用滤纸重量法测定; SV_{30} 采用30 min沉降法测定。

3 结果与讨论

3.1 正交试验

2020年9月—12月开展了正交试验,该时期进水水质、水量较为稳定,适合开展生产性试验。根据系统实际情况,正交试验每组持续进行5~10 d。正交试验期间的进水水质见表5,各指标去除率见图2。可知,除Run2的COD外,不同试验组间 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和COD的去除率变化较小,TN和TP的去除率变化较大,说明改变四点进水比例(前置反硝化段:厌氧段:主缺氧段:后置缺氧段)和内外回流比对脱氮除磷的影响明显,对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和COD的去除影响不显著。其原因可能是 $\text{NH}_3\text{-N}$ 主要在好氧段硝化细菌的作用下被去除,好氧段末端的DO则是判断硝化

反应进行是否完全的重要指标,在试验阶段将末端 DO 控制在 1~3 mg/L,保障了 NH₃-N 的完全转化。运行参数的调控实际上是改变活性污泥系统的优势菌种以达到特定目标,而要实现冬季低温时期 NH₃-N 和 TN 的达标,主要手段则是提高污泥浓度,并保障充足的碳源和生化池 DO 水平,创造良好的环境条件使原生类钟虫和硝化细菌占据优势。由表 5 可知,Run2 污染物去除效果不佳的原因一方面可能是其进水 COD 浓度过低,碳源不足;另一方面水量较大,停留时间短,造成了冲击负荷。

表 5 正交试验期间进水水质数据

Tab.5 Water quality data during orthogonal experiment

项目	水温/ ℃	流量/ (m ³ ·h ⁻¹)	MLVSS/ (mg·L ⁻¹)	生物池进水平均值/(mg·L ⁻¹)			
				COD	TN	NH ₃ -N	TP
Run1	15.5	6 678	2 597	341	35.3	25.5	6.6
Run2	25.5	7 452	1 845	88	20.3	16.3	2.6
Run3	22.9	7 109	2 392	164	24.1	19.9	3.2
Run4	23.0	6 956	2 372	208	30.3	19.7	4.8
Run5	22.8	7 306	2 536	230	30.3	20.2	5.0
Run6	21.9	7 290	2 355	218	30.6	20.6	5.0
Run7	20.2	7 375	2 768	266	31.8	22.5	7.2
Run8	18.9	7 174	2 480	238	30.7	21.6	5.1
Run9	18.0	6 964	2 240	196	28.1	21.6	4.6
Run10	16.5	6 750	2 489	253	30.1	23.2	5.8
Run11	16.2	6 739	2 178	205	29.2	21.5	4.6
Run12	16.4	6 806	2 475	229	27.2	20.5	4.6

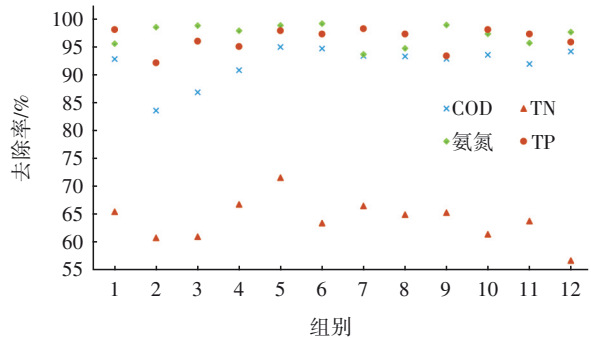


图 2 各组污染物去除率

Fig.2 Pollutants removal rate in each group

由图 2 可知,Run5 对应的工况下综合出水水质最好,COD、TN、NH₃-N 和 TP 去除率分别达到了 94.99%、71.54%、98.86% 和 97.91%。其间进水 COD 平均为 230 mg/L,碳源相对较为充足,导致 MLVSS 较高即 2 536 mg/L,这也是该工况下污染物去除率较高的原因之一。

在出水水质方面,正交试验期间二沉池出水 COD 基本上可以稳定达到地标一级;出水 TP 地标一级达标率在 90% 以上;出水 NH₃-N 地标一级达标率为 91%,国标一级 A 达标率为 100%。出水 NH₃-N 超过 1.5 mg/L 的情况全部发生在冬季低温(水温<17℃)条件下,分析主要是低温影响了活性污泥微生物和生化反应酶系统的活性所致。

由极差分析法得出正交试验的因素影响程度见表 6。可知:①厌氧段进水比例对 COD 的去除影响最大,是因为产酸细菌将大分子有机物分解为小分子有机酸(如 VFA)的过程主要发生在厌氧段。②厌氧段和后置缺氧段进水对 TN 的去除影响最大,推测可能是厌氧阶段产生的储存于细胞内的小分子有机酸为主缺氧段的反硝化反应提供了充足的易降解碳源,故厌氧段进水比例间接影响了 TN 的去除;当后置缺氧段的进水比例在 5% 时,TN 去除率达到峰值,因为此阶段停留时间短,进水过多会使出水 TN 升高。③TP 和 NH₃-N 的极差都较小,说明各因素对 TP 和 NH₃-N 的影响有限。

表 6 因素影响程度

Tab.6 Influencing degree of factors

项 目	前置反硝化段		厌氧段		主缺氧段		后置缺氧段		内回流		外回流	
	比例%	极差	比例%	极差	比例%	极差	比例%	极差	比例%	极差	比例%	极差
COD	5	3.3	75	5.8	15	3.1	5	3.3	50	3.7	40	2.7
TN	15	4.4	65	6.6	15	4.4	5	7.0	100	2.4	40	3.2
TP	20	1.6	65	1.7	15	2.2	0	3.0	50	1.4	40	2.7
NH ₃ -N	5	2.9	65	3.2	20	2.5	10	3.1	100	2.1	80	2.0

各组进出水 TN 平均浓度见图 3。

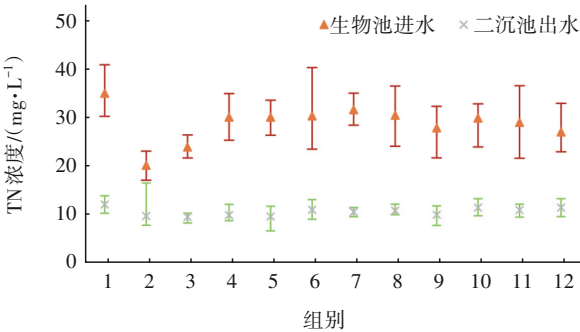


图 3 各组进出水 TN

Fig.3 TN in influent and effluent of each group

由图 3 可知,试验期间出水 TN 在 8~14 mg/L 之间波动,其值小于 10 mg/L 的天数仅占正交试验总

天数的50%左右,小于15 mg/L的占比为97.5%。极差分析结果显示,影响系统脱氮的因素排序:后置缺氧段进水>厌氧段进水>主缺氧段进水=前置反硝化段进水>外回流比>内回流比,对应的最优工况:四点进水比例为15:65:15:5、内回流比为100%、外回流比为40%,二沉池出水COD、TN、NH₃-N和TP浓度分别为15.58、9.72、0.26和0.1 mg/L。

内回流比对TN的去除影响较小,主要是因为影响脱氮效果的硝化和反硝化过程不仅受到内回流流量大小的影响,还受到DO、进水碳源、C/N、NO_x-N和实际停留时间等因素的影响,同时系统的同步硝化反硝化(SND)及微生物同化作用对脱氮也起着至关重要的作用。随着内回流比增大,进入后置缺氧段的电子受体减少,同时主缺氧段的实际HRT减少,这些都不利于反硝化的进行。后置缺氧段进水比例对TN去除影响较大,其原因可能是后置缺氧段容积较小,停留时间短,反硝化和对有机物的去除能力有限,该段进水的增大会迅速导致其末端的TN、NH₃-N升高,从而直接影响生物池出水水质。实际上通过物料衡算分析发现,主缺氧段去除的硝态氮和亚硝态氮量占系统总去除量的70%~80%,后置缺氧段仅占10%~20%,系统脱氮主要靠两者反硝化效果的综合累加,但以主缺氧段为主。

3.2 TN去除优化

2021年4月15日—5月10日对正交试验的结果进行验证。将去除TN对应的最优条件应用于设计流量为10×10⁴ m³/d的试验组,与同规模的对照组进行对比。其间两组进水流量相同,内回流比为100%,外回流比为50%(正交试验得出最优工况为40%,但考虑外回流污泥提升泵的工况和运行效率,此处采用50%更易于操作)。试验组的四点进水比例为15:65:15:5,对照组为20:60:0:20。结果显示,试验组二沉池出水总氮较对照组低,试验组和对照组的TN平均浓度分别为5.77和6.39 mg/L,平均去除率分别为67.82%和63.08%。说明进水比例的调控有效,验证了正交试验的正确性。

图4统计了3月—7月系统TN去除率与内回流比的关系。可知,当内回流比<120%时,系统脱氮效率随着内回流比增大而提高;当内回流比>120%时,系统脱氮效率随着内回流比增大而降低。分析原因主要是内回流比过大导致主缺氧段DO过高、实际HRT过短,从而抑制了反硝化进程。

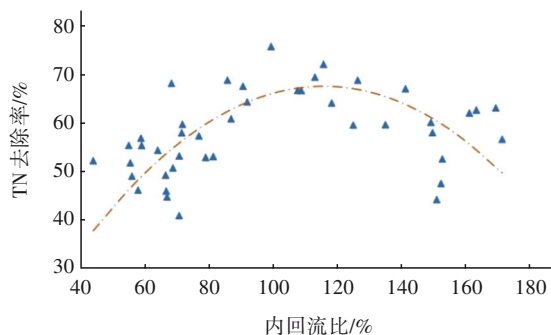


图4 TN去除率与内回流比的关系

Fig.4 Relationship between TN removal rate and internal reflux ratio

3.3 TP去除优化

湖南省3月—6月为多雨季,其中4月12日—15日、5月16日—23日、6月28日—7月2日是连续的雨天,得到的二沉池出水TP浓度、厌氧池始端DO和厌氧池释磷速率(以TP计)如图5所示。

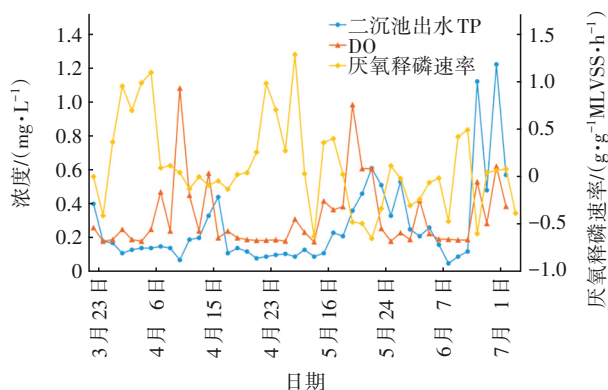


图5 出水TP及相关参数

Fig.5 Effluent TP and related parameters

由图5可知,二沉池出水TP升高的时间和降雨时间大体一致,说明降雨会导致出水TP升高,甚至超标。据统计,雨天进水NO₃⁻-N平均浓度为1.78 mg/L,晴天则为1.03 mg/L。雨天TP升高的原因如下:①进水量大,其中含有较高浓度的硝态氮,而60%~70%进水进入厌氧段,使得大量优质碳源优先用于反硝化反应;②进水中含有大量DO,使得厌氧段DO过高,厌氧环境遭到破坏,大大抑制了释磷作用;③雨天水量大,在水量超负荷80%的情况下,厌氧段水力停留时间过短,释磷不充分。

在雨天还有几点特征:①进水TN平均浓度较低即11.78 mg/L;②雨天时主好氧段末端DO往往较高,内回流会带入大量DO和NO₃⁻-N到主缺氧段。鉴于此,可考虑以下强化除磷方案:关闭内回流,使

主缺氧段变为厌氧段,强化厌氧释磷作用,依靠后置缺氧段发挥主要脱氮功能。由于后置缺氧段的停留时间较短,且该段前后均为好氧环境,故此段反硝化能力有限,实施过程中需要特别关注TN能否达标。由于后期没有适宜的试验条件,且TP已恢复正常,此方案暂未得到生产运行验证。

将正交试验中去除TP对应的最优条件应用于试验组,即四点进水比例为20:65:15:0、内回流比为50%、外回流比为40%,对照组四点进水比例为20:65:0:15、内回流比为100%、外回流比为40%,得到二者出水TN、TP对比,如图6所示。

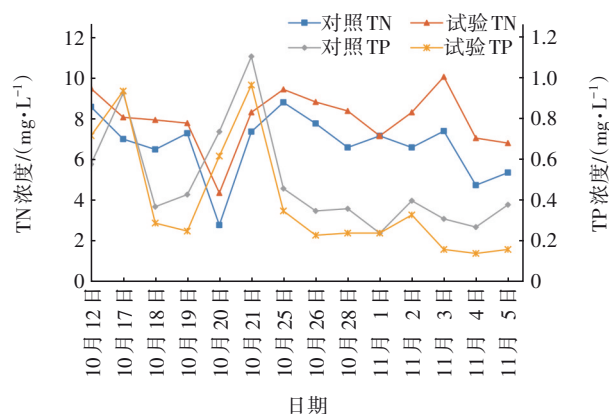


图6 出水指标对比

Fig.6 Comparison of effluent indexes

由图6可知,相较于对照组,试验组出水TP低约0.093 mg/L、TN高约1.3 mg/L,但TN大体均低于10 mg/L。由此可知,较小的内回流比更有利于厌氧释磷,间接验证了上述强化除磷方案的可行性。

3.4 污泥负荷

统计了2019年平均进水水质特征,可将TN与COD/TN分为两种情况:1月—7月进水TN平均浓度为21.28 mg/L,C/N为8.42;8月—12月进水TN平均浓度为26.89 mg/L,C/N为6.87。秋冬季的进水TN浓度高,碳氮比低,碳源相对不足。这正是除温度外,影响秋冬季出水TN达标的另一重要原因。

图7为污泥负荷对TN和TP去除率的影响,其中秋冬季为2020年9月—12月数据,春夏季为2021年3月—7月数据。由图7可知,TN在不同季节存在不同的最优污泥负荷区间,春夏季最优污泥负荷(以COD计)在0.15 kg/(kgMLVSS·d)左右,而秋冬季则在0.22 kg/(kgMLVSS·d)左右。TP也有类似规律,当春夏季、秋冬季污泥负荷分别大于0.15和

0.22 kg/(kgMLVSS·d)时,系统除磷效果更趋稳定。虽然冬季低温时可通过提高污泥浓度来削减低温的影响以确保出水TN达标,但过高的污泥浓度势必会造成能源浪费,故在冬季可适当提高污泥浓度,必要时可投加碳源确保达到适宜的污泥负荷。

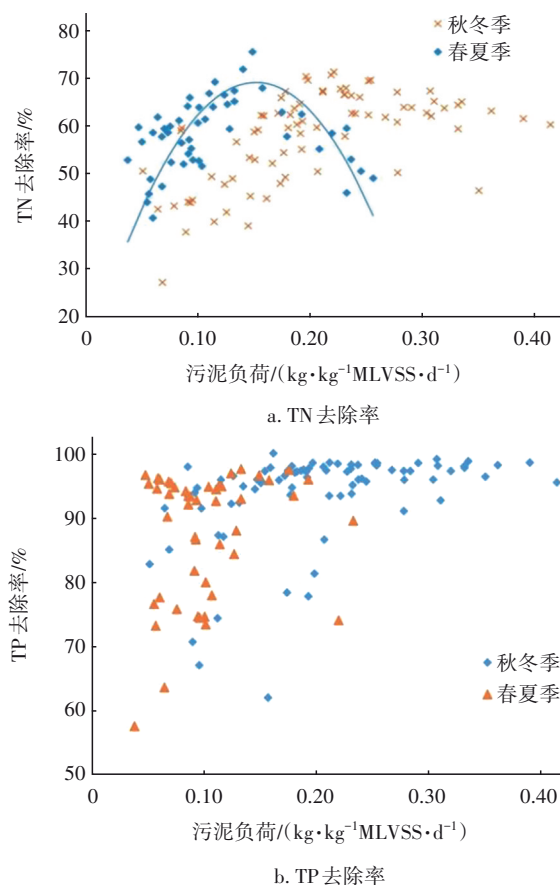


图7 污染物去除率与污泥负荷的关系

Fig.7 Relationship between pollutants removal rate and sludge loading rate

3.5 碳氮比、碳磷比

碳源对反硝化和厌氧释磷极其重要,统计了花桥厂不同季节时碳源对系统脱氮除磷的影响。由数据可知,秋冬季降雨少,水质、水量较稳定,当生物池进水BOD₅/TN>3时,脱氮效果较好;而当BOD₅/TN<3时,碳源不足,脱氮效果不佳。春夏季降雨多,TN去除率下降;春夏季的TP去除率较秋冬季低,主要是由于春夏雨季对厌氧释磷的消极影响。总体来说,当BOD₅/TP>22时,可满足聚磷菌的基质需求,从而获得良好的除磷效果。

3.6 优化前后水质对比

优化前后出水水质对比见图8。

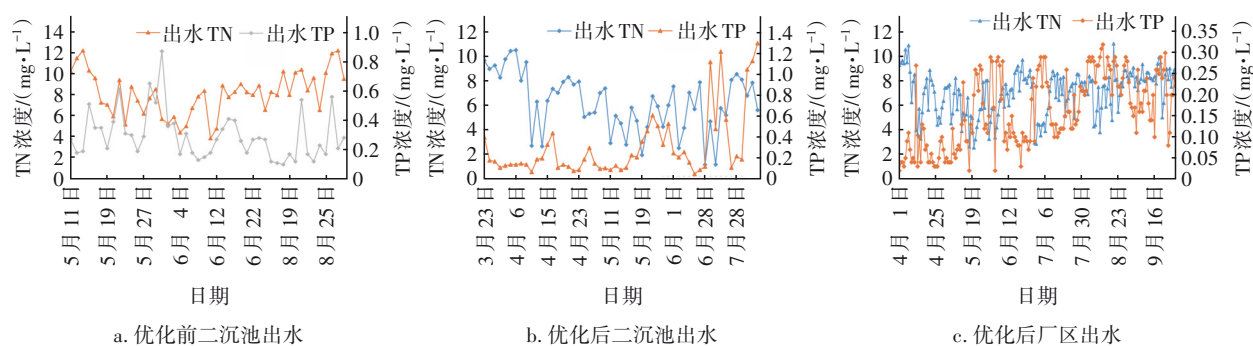


图8 优化前后出水水质

Fig.8 Effluent quality before and after optimization

由图8(a)和(b)对比可知,优化后二沉池出水TN超标(地标一级)天数减少,验证期间仅有2 d二沉池出水超过10 mg/L,且小于11 mg/L。优化后的二沉池出水TP在晴天更趋于稳定且数值低于0.3 mg/L,超标(≥ 0.3 mg/L)天数占比也远低于优化前。二沉池后的深度处理能对TP进行进一步化学去除,而由于反硝化深床滤池在实际运行中挂膜难度大,使得三级处理对TN的去除效果甚微,故系统的TP容错度更高。由图8(c)可知,优化后的厂区出水TN和TP均能稳定达到地标一级。

4 结论

① 正交试验方法可应用于大型生产性试验,得出TN和TP的理论最优运行工况。COD受多点进水比例和内外回流比影响较小,出水COD基本达到《湖南省城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB 43/T 1546—2018)的一级标准。

② 经生产运行验证,去除TN的最佳运行工况:四点进水比例(前置反硝化段:厌氧段:主缺氧段:后置缺氧段)为15:65:15:5、内回流比为100%、外回流比为50%。对照组二沉池出水TN平均去除率为63.08%,试验组则提升至67.82%,正交试验结果经验证可靠。后置缺氧段容积小,反硝化和有机物去除能力有限,该段进水不宜过多,控制在10%以内为宜。当内回流比为120%时,系统脱氮效率达到峰值。

③ 雨天出水TP升高,采用低内回流比更有利于厌氧释磷,是雨天改善出水TP的有效途径。

④ 分季节给出了最优污泥负荷区间,春夏季、秋冬季的最优污泥负荷(以COD计)分别为0.15

和0.22 kg/(kgMLVSS·d)。以污泥负荷为指导适当调节污泥浓度,同时控制好DO水平,必要时投放碳源,有利于在稳定达标的基础上做到节能增效。

⑤ 按优化后的工艺及参数控制运行,花桥水质净化厂的出水水质较优化前有较大提升,能稳定达到湖南省地标一级。

参考文献:

- [1] 南彦斌,彭永臻,曾立云,等. 分段进水对改良A²/O-BAF双污泥系统反硝化除磷脱氮的影响[J]. 环境科学, 2018, 39(4): 1704-1712.
NAN Yanbin, PENG Yongzhen, ZENG Liyun, et al. Effect of step feed on denitrifying phosphorus and nitrate removal in a modification of the two sludge A²/O-BAF system [J]. Environmental Science, 2018, 39 (4): 1704-1712 (in Chinese).
- [2] 金江华,卜翠娜,沈旺,等. 城镇污水处理厂食微比调控污泥浓度的应用研究[J]. 天津科技, 2020, 47(10): 55-58.
JIN Jianghua, BU Cuina, SHEN Wang, et al. Application study on adjusting sludge concentration by food-to-micro ratio in sewage treatment plant [J]. Tianjin Science & Technology, 2020, 47 (10): 55-58 (in Chinese).

作者简介:柯水洲(1964—),男,湖北鄂州人,硕士,教授,主要研究方向为给水与废水处理技术、给排水系统优化等。

E-mail:ksz@hnu.edu.cn

收稿日期:2021-10-17

修回日期:2022-02-13

(编辑:沈靖怡)