

# 某工业园区污水处理厂工艺诊断和优化运行研究

郭亚琼, 李鹏峰, 孙永利, 隋克俭, 李家驹  
(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074)

**摘要:** 针对某工业园区污水处理厂出水 COD、TN、NH<sub>3</sub>-N 和 TP 超标问题,采用标准化污水处理厂工艺运行诊断方法,结合工业废水特征,对污水处理厂二期运行现状进行评估分析,发现的问题主要为进水量超负荷运行、进水 TP 波动大且溶解性有机磷浓度高,预处理单元转鼓细格栅故障频繁、水解酸化池堵塞以及跌水复氧现象显著,生物处理单元生物除磷能力丧失、内回流混合液 DO 浓度高及温度对脱氮能力影响大。针对上述问题,提出三期工程扩建、预处理段设施改造、预处理段跌水复氧控制、化学除磷药剂投加点优化、内回流混合液 DO 控制和强化脱氮措施的季节性调整 6 项优化运行措施,保障出水稳定达标的同时实现节能降耗。

**关键词:** 污水处理厂; 工业园区; 工艺诊断; 优化运行

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)02-0016-06

## Study on the Process Diagnosis and Optimizing Operation of a WWTP in Industrial Park

GUO Ya-qiong, LI Peng-feng, SUN Yong-li, SUI Ke-jian, LI Jia-ju  
(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China)

**Abstract:** The effluent COD、TN、NH<sub>3</sub>-N and TP of a WWTP in industrial park could not stably reach the first level A criteria specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). By using a standardized process operation diagnosis method of WWTP and combining with the characteristics of industrial wastewater, the paper evaluated operation status of the second phase of the WWTP. There were some problems such as water quantity overloading, great TP fluctuation and high dissolved organic phosphorus concentration in the influent, frequent faults of rotary drum fine screen, blocking of hydrolytic acidizing tank and waterfall oxygenation in pretreatment system, the deterioration of biological phosphorus removal capacity, high DO concentration in internal reflux mixture and temperature affecting nitrogen removal in biological treatment system. In view of the above problems, six measures including extension of the third phase project, facility transformation of pretreatment system, control of waterfall oxygenation, optimization of phosphorus removal chemical, establishing oxygen consumption zone and enhancing nitrogen removal in winter, were put forward to ensure the effluent quality stably up to the drainage control standard and energy saving and consumption reduction.

**Key words:** WWTP; industrial park; process diagnosis; optimizing operation

工业园区污水处理厂进水水质和水量波动大、成分复杂、难生物降解性物质浓度高<sup>[1-2]</sup>,运行稳定性较差,对管理人员技术水平、运行经验要求较高。同时,工业园区污水处理厂运行优化方面的研究较少,没有成熟经验可循。为此采用标准化污水处理厂工艺运行诊断方法,并结合工业废水特征,对某工业园区污水处理厂运行现状进行评估分析,针对存在的问题提出优化运行建议及改造措施,以期为工业园区污水厂的运行优化和提标改造提供参考。

## 1 污水处理厂概况

### 1.1 工艺现状

某工业园区污水处理厂位于太湖流域,设计总规模为  $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,分两期建成,其中二期工程于2010年建成投入运行,设计规模为  $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,采用的主体工艺为多点进水倒置  $A^2/O$  工艺(见图1)。

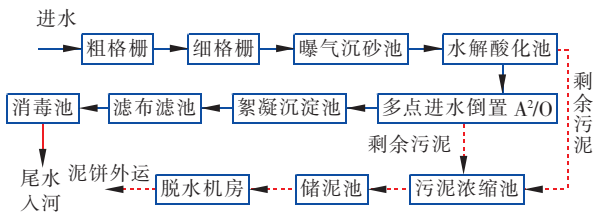


图1 污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

### 1.2 进、出水水质

该污水处理厂主要接纳周边建制镇的工业废水和生活污水,工业废水占比为70%,主要来自于屠宰、印染等行业。随着近些年产业结构调整和经济放缓,部分企业关闭,该污水厂进水水质大幅下降,设计进水和2014年实际进水年均值如表1所示。该厂出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,尾水入河。

表1 污水处理厂进水水质

Tab. 1 Influent quality of WWTP  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项 目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
设计进水	500	350	400	45	70	8.0
2014年实际 进水均值	214	94	124	12	18	2.1

根据该污水厂2014年出水水质日均值统计结果,除BOD<sub>5</sub>和SS外,COD、TN、NH<sub>3</sub>-N和TP均出现部分天数超标问题,影响出水水质稳定达标。

## 2 工艺运行诊断方法

污水处理厂工艺运行诊断流程如图2所示。

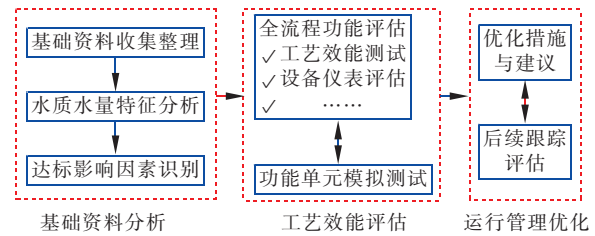


图2 污水处理厂工艺运行诊断流程

Fig. 2 Process operation diagnosis workflow of WWTP

① 基础资料收集整理。对污水处理厂项目初步设计报告、施工图、设备台账、历年进出水数据、运行记录等基础资料进行收集整理,初步了解污水处理厂的设计及运行现状。

② 水质水量特征分析。对近几年出水核心水质指标数据进行统计,考察达标情况。通过进水量、水质数据统计和COD、N、P指标组分测试,考察运行负荷率和水质波动对出水稳定达标的影响,分析溶解态难生物降解COD、溶解性不可氨化有机氮、溶解态有机磷等影响出水稳定达标的指标。

③ 达标影响因素识别。对BOD<sub>5</sub>/COD、SS/COD、COD/TN等比值及水温进行统计分析,评估进水的可生化性、无机悬浮固体组分含量、碳源及水温波动对出水水质稳定达标的影响。

④ 全流程功能评估。对全流程工艺效能进行测试,对设备仪表配置和运维进行评估,对预处理跌水复氧、生物池内外回流液高DO等碳源损耗点进行识别,对好氧区供气量、内外回流泵、分点进水等功能区可调节能力进行分析,考察污水处理工艺处理效果的稳定性、工艺控制的灵活性及节能降耗的可能性。

⑤ 功能单元模拟测试。结合上述调研测试结果,针对性地开展硝化速率、反硝化速率、厌氧释磷速率等活性污泥性能测试,对碳源及除磷药剂投加优化、难生物降解污染物强化去除等工艺进行模拟试验,判断系统对污染物的去除潜能,为优化运行措施提供技术支撑。

⑥ 优化措施与建议。根据工艺诊断和优化运行技术可行性研究结果,提出合理的优化运行及工程改造建议。

⑦ 后续跟踪评估。对污水处理厂实施的技术改造内容和出水水质进行跟踪测试,评估优化措施的运行效果。

### 3 问题诊断

#### 3.1 进水水质和水量

① 水量超负荷运行。对该污水处理厂 2011 年—2014 年运行负荷率进行统计分析,结果见表 2。可以看出,该污水处理厂运行负荷波动较大,呈现逐年上升的趋势,2014 年年均运行负荷率达到 102%,超负荷运行天数占比为 51%。污水处理厂长期处于超负荷运行状态,会降低生物池有效停留时间,影响脱氮除磷效果,同时会加大二沉池水力表面负荷,降低沉淀效果,出水挟带大量污泥,影响出水水质稳定达标。此外,在江南地区梅雨季节大规模降雨时段,超高负荷状态下污水处理厂的溢流会直接导致受纳水体黑臭问题。

表 2 污水处理厂 2011 年—2014 年运行负荷率统计

Tab. 2 Operating load rates of WWTP in 2011 – 2014

项 目	运行负荷 最大值/%	运行负荷 年均值/%	超负荷天数 占比/%	波动系数
2011 年	125	63	5	2.0
2012 年	128	79	16	1.6
2013 年	178	87	14	2.1
2014 年	155	102	51	1.5

② 进水 TP 波动大且溶解性有机磷浓度高。对该污水处理厂 2011 年—2014 年核心水质指标进行统计分析,发现进水 TP 浓度波动较大,影响出水 TP 的稳定达标。受工业废水影响,2012 年以来,进水 TP 峰谷值的交替周期明显缩短,且波动系数极大,其中 2013 年波动系数高达 7.8。

受工业废水冲击较大的污水处理厂,可能存在溶解态有机磷影响出水稳定达标的现象,因此对进水中磷组分进行测试分析,结果如表 3 所示。溶解态有机磷为溶解态总磷 (STP) 和磷酸盐 ( $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ ) 之差。可以看出,进水中溶解态有机磷浓度高、波动较大,高值可达 0.6 mg/L,影响出水 TP 稳定达标。

表 3 磷组分测试结果

Tab. 3 Test results of phosphorus component

项 目	mg · L <sup>-1</sup>			
	TP	STP	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$	溶解态 有机磷
1#	1.8	1.8	1.2	0.6
2#	2.4	0.9	0.7	0.2
3#	2.4	1.4	1.1	0.3

#### 3.2 预处理单元

① 转鼓细格栅故障频繁。预处理段设置 1 台

转鼓式细格栅,目前已停止运行,污水从旁边预留渠道超越进入沉砂池。该污水厂来水含有大量屠宰废水,进水含有大量油脂和猪毛等细小纤维状悬浮物,油脂将细小悬浮物粘附在转鼓细格栅网孔上,难以通过反冲洗去除,长此以往导致转鼓细格栅堵塞,不能正常运行。漏损的大颗粒悬浮物和漂浮物穿透沉砂池进入后续水解酸化池和生物处理单元,必然造成水解酸化池堵塞、生物单元污泥活性降低、搅拌和曝气能耗增加、在线监测仪表损耗等一系列问题。

② 水解酸化池堵塞。水解酸化池采用升流式结构,有效容积为 2 592 m<sup>3</sup>,停留时间为 6.2 h,采用“八爪鱼式”布水分配器。现场调研发现,水解酸化池表面浮渣较多,多处进水口堵塞,导致短流,影响运行效果。水解酸化池堵塞降低了对进水中溶解性有机磷和溶解性难降解有机物的转化能力,影响出水 COD 和 TP 稳定达标。分析原因为:一方面,前端细格栅故障导致大量漂浮物、缠绕物未经有效拦截直接进入水解酸化池,造成布水管堵塞;另一方面,布水管的水力搅拌作用未有效发挥,水解酸化池泥龄过长,高无机组分污泥在池体底部长期积累,导致板结,排泥不畅,进一步加剧布水管堵塞。

③ 跌水复氧现象显著。该污水处理厂预处理单元为敞开式无除臭处理系统,存在转鼓格栅配水渠、曝气沉砂池出水口和水解池出水口 3 处明显的跌水复氧点,故选择关键工艺点位进行 DO 测试,结果如图 3 所示。经过计算,三次跌水复氧和曝气池曝气致使进水增加了 6.18 mg/L 的 DO,将导致 2.16 mg/L 的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  理论去除损失量,影响出水 TN 稳定达标。

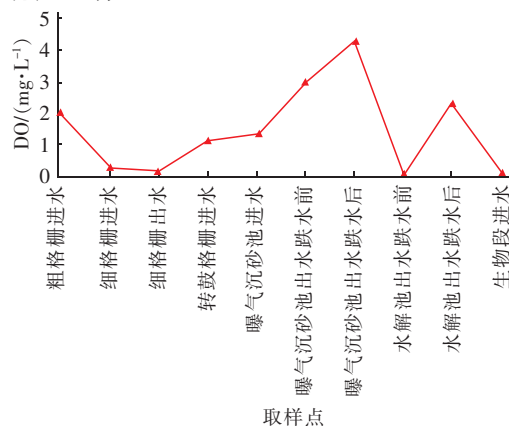


图 3 预处理单元沿程 DO 变化情况

Fig. 3 DO change of pretreatment unit



3.3 生物处理单元

① 生物除磷能力丧失。该系统采用化学协同除磷工艺,除磷药剂选用聚合氯化铝(PAC,有效含量为10%),投加摩尔当量<sup>[3]</sup>约为5.94,投加点设置在好氧池末端。取8 L好氧池末端活性污泥混合液,污泥浓度为3 660 mg/L,投加1.2 g乙酸钠,进行厌氧释磷能力测试,结果如图4所示。可以看出,在小分子有机物充足的条件下,活性污泥经过1 h反应,仅释放0.21 mg/L的 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 。由于进水TP浓度波动较大,污水厂采用过量投加除磷药剂的方式来保证出水TP稳定达标,过量除磷药剂在一定程度上影响了生物系统厌氧释磷效果,造成了系统生物除磷能力的丧失,加剧了除磷药剂的消耗。

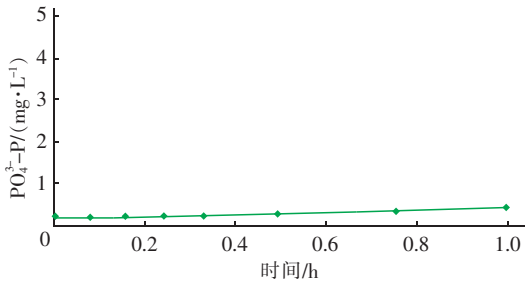


图4 活性污泥厌氧释磷能力测试曲线

Fig.4 Anaerobic phosphorus release rate of activated sludge

② 内回流混合液DO浓度高。硝化液内回流采用穿墙泵从好氧池末端打入缺氧池,调研测试发现,内回流混合液DO浓度均高于6.5 mg/L(见表4)。二期工程配置2台132 kW风机,日常运行仅开启一台,但风量仍过大,可调性差,难以将好氧池DO控制在合适范围。这部分高DO混合液进入缺氧池,造成碳源无效损耗,同时导致缺氧池入口DO浓度迅速升高,最高达到0.47 mg/L,破坏缺氧池反硝化环境,影响反硝化效果。

表4 污水处理厂内回流混合液DO测试结果

Tab.4 DO of recycling mixture in WWTP  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项 目	内回流混合液 DO	缺氧池入口 DO
1#	6.74	0.31
2#	6.59	0.27
3#	6.62	0.31
4#	8.04	0.47
平均值	7.00	0.34

③ 温度对脱氮能力影响大。低温会明显影响活性污泥性能,硝化菌对温度的变化尤为敏感。对冬季和夏季活性污泥的脱氮效能进行跟踪测试,结果如表5所示。可以看出,温度对活性污泥脱氮能

力的影响主要体现在冬季低温条件下硝化速率和反硝化速率的降低,冬季硝化速率仅为夏季的一半,反硝化速率下降23%。冬季低温条件下,活性污泥硝化速率和反硝化速率的下降,可能会导致系统脱氮能力不足,影响出水氨氮和TN的稳定达标。

表5 冬季和夏季活性污泥的硝化和反硝化速率

Tab.5 Nitrification rate and denitrification rate of activated sludge in winter and summer

项 目	水温/ $^{\circ}\text{C}$	反硝化速率/ ( $\text{mgNO}_3^{-}-\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\text{MLVSS}\cdot\text{h}^{-1}$ )	硝化速率/ ( $\text{mgNH}_3-\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\text{MLVSS}\cdot\text{h}^{-1}$ )
夏季	25.0	5.18	1.18
冬季	15.6	3.98	0.60

注: 反硝化速率和硝化速率测定方法参考游佳等<sup>[4]</sup>、杨敏等<sup>[5]</sup>文献。

4 优化运行建议及工程改造措施

针对上述问题,通过技术分析和模拟试验,提出以下优化运行及工程改造建议。部分建议被污水处理厂采纳,并于2015年开始进行技术改造。

4.1 三期工程扩建

该污水处理厂运行负荷呈现逐年上升的趋势,超负荷运行情况在近几年将更为显著,面临扩建的需求,三期扩建工程于2017年开工建设,规模为 $1\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,预计2019年投入运行。在三期工程建成运行之前,仍需关注污水厂的水量负荷问题,雨季严重超负荷运行时段,可通过管网联动将部分污水输送至处理有余量的污水厂。

4.2 预处理段设施改造

针对预处理单元转鼓格栅故障及水解酸化池堵塞问题,该厂于2015年初对水解酸化池进行了改造,在水解池底部增设曝气系统,通过定期曝气,扰动污泥,防止水解酸化池底部污泥板结。同时,于2016年增加一台6 mm阶梯式细格栅,实现了大颗粒悬浮物和漂浮物的有效拦截,解决了水解池布水管的堵塞问题。

4.3 预处理跌水复氧控制

采用跌水区封闭隔绝控制,选用无除臭系统的单层加盖措施或与除臭系统耦合的双层加盖措施,通过降低跌水区域空气与外界富氧空气的对流交换,实现复氧控制。本工程可在转鼓格栅配水渠、曝气沉砂池出水口和水解池出水口3处明显跌水复氧点敞开口加盖柔性玻璃板或油毡进行封闭处理,并四周加胶条密封。工程经验<sup>[6-7]</sup>表明,该措施可使

污水跌水复氧量下降 2~4 mg/L。

#### 4.4 化学除磷药剂投加点优化

将化学除磷药剂投加点由好氧池末端改为絮凝沉淀池前端,避免过量药剂进入污泥系统对生物除磷能力产生抑制。药剂投加点更改后,活性污泥絮体对药剂的吸附消耗减少,生物除磷能力逐渐恢复, PAC 投加量大幅下降,保证出水 TP 稳定达标的同时实现了节能降耗。

#### 4.5 内回流混合液 DO 控制

为降低内回流混合液 DO 浓度,减少对缺氧区反硝化效能的影响,可采用好氧池增设消氧区<sup>[7]</sup>和低 DO 运行两种措施。该厂风机配置过大造成内回流混合液 DO 过高,浪费能耗,因此,从节能降耗角度出发,采用低 DO 运行措施,将原 1 台 132 kW 大风机替换为 1 台 75 kW 小风机。风机更换后,内回流点的 DO 从 7 mg/L 下降至 3 mg/L 左右。

#### 4.6 强化脱氮措施的季节性调整

针对冬季低温活性污泥系统脱氮能力下降的问题,可采取增加好氧区污泥浓度、延长泥龄和提高好氧段 DO 浓度三种措施有效增加硝化菌含量,提高系统硝化能力,保障出水氨氮稳定达标;通过增加缺氧区污泥浓度增大反硝化菌含量,以及投加外加碳源提高反硝化菌活性两种措施强化系统反硝化能力,保障出水 TN 稳定达标。碳源投加点应远离混合液回流点、进水点等 DO 浓度相对较高的位置。

### 5 投资预算及优化运行效果

#### 5.1 投资预算

该污水处理厂优化运行改造项目投资预算如表 6 所示,总投资预算为 7 315.53 万元。

表 6 优化运行改造项目投资预算

Tab. 6 Investment budget of optimizing operation and reconstruction project 万元

项 目	投资预算
三期工程扩建	7 253.2
厌氧水解池改造	30.93
购置 1 台 6 mm 阶梯式细格栅	16
预处理跌水区封闭隔绝控制	0.4
购置 1 台 75 kW 罗茨风机	15

#### 5.2 优化运行效果

##### 5.2.1 出水水质

截至 2017 年 5 月,除三期扩建工程正在建设中,其他改造项目均已完成,2017 年 5 月—12 月出水 COD、TN、NH<sub>3</sub>-N 和 TP 水质指标统计分析结果

如图 5 所示。可以看出,出水各项水质指标均能稳定达到一级 A 标准。

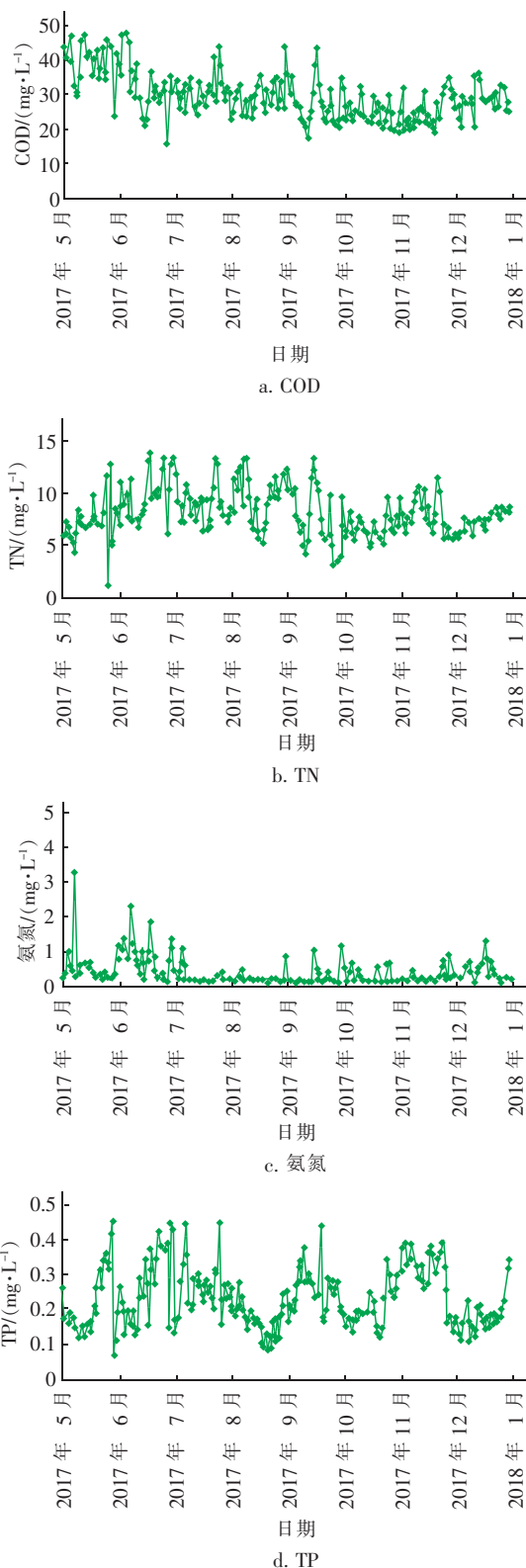


图 5 污水厂 2017 年 5 月—12 月出水水质

Fig. 5 Effluent quality of WWTP from May to Dec. 2017

### 5.2.2 优化运行对节能降耗的贡献

优化运行项目实施对该污水厂节能降耗的贡献主要体现在3个方面:①风机改造后,风机吨水电耗从 $0.32\text{ kW}\cdot\text{h}$ 下降至 $0.18\text{ kW}\cdot\text{h}$ ,下降率为44%;②化学除磷药剂投加点更改后,PAC年均投加量从 $98\text{ mg/L}$ 下降至 $41\text{ mg/L}$ ,下降率为58%,年节省量约为416 t;③预处理跌水复氧和内回流混合液DO控制(内回流比为100%),可使污水系统中DO下降 $3\text{ mg/L}$ 和 $4\text{ mg/L}$ 左右,即可节省乙酸投加量 $7\text{ mg/L}$ 左右,年节省量约为240.9 t。

## 6 结语

采用标准化的污水处理厂工艺运行诊断方法,同时结合工业废水特征,对某工业园区污水处理厂运行现状进行评估分析,针对存在的问题提出三期工程扩建、预处理段设施改造、预处理段跌水复氧控制、化学除磷药剂投加点优化、内回流混合液DO控制和强化脱氮措施的季节性调整6项优化运行措施。优化运行改造项目总投资预算为7315.53万元,项目实施后,风机吨水电耗下降44%,PAC投加量下降58%,乙酸投加量节省 $7\text{ mg/L}$ 左右。项目的实施在保障出水水质稳定达到一级A标准的同时实现了节能降耗。

### 参考文献:

- [1] 李咏梅,周琪. 工业园区污水治理的现状与发展方向[J]. 给水排水,2016,42(3):1-3.  
Li Yongmei, Zhou Qi. Present situation and development trend of wastewater treatment in industrial park[J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(3): 1-3 (in Chinese).
- [2] 胡洪营,赵文玉,吴乾元. 工业废水污染治理途径与技术研究发展需求[J]. 环境科学研究,2010,23(7):861-868.  
Hu Hongying, Zhao Wenyu, Wu Qianyu. Basic strategies and technology requirements for industrial wastewater pollution control[J]. Research of Environmental Sciences, 2010, 23(7): 861-868 (in Chinese).
- [3] 孙永利,郑兴灿,刘振江,等. 城镇污水厂化学协同除磷对生物除磷的影响[J]. 中国给水排水,2015,31(19):68-71.  
Sun Yongli, Zheng Xingcan, Liu Zhenjiang, et al. Impact of simultaneous chemical phosphorous removal on biological phosphorous removal in WWTPs[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(19): 68-71 (in Chinese).
- [4] 游佳,陈轶. 增强城市污水处理生物脱氮能力的若干技术措施[J]. 给水排水,2016,42(2):37-41.  
You Jia, Chen Yi. Measures to enhance biological nitrogen removal capacity of the urban wastewater treatment[J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(2): 37-41 (in Chinese).
- [5] 杨敏,孙永利,郑兴灿,等. 初沉池改造为回流污泥反硝化池最佳进水比例研究[J]. 南京理工大学学报,2011,35(2):279-283.  
Yang Min, Sun Yongli, Zheng Xingcan, et al. Optimum feed ratio of primary settling tank transformed as denitrification tank of recycle sludge[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2011, 35(2): 279-283 (in Chinese).
- [6] 李鹏峰,孙永利,隋克俭,等. 某污水厂预处理系统跌水复氧成因初探及控制措施[J]. 中国给水排水,2017,33(15):85-88.  
Li Pengfeng, Sun Yongli, Sui Kejian, et al. Study on mechanism and control measures of waterfall oxygenation in pretreatment system in a WWTP[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(15): 85-88 (in Chinese).
- [7] 孙永利,许光明,游佳,等. 常州城市污水处理厂提标改造与优化运行成套技术研究与应用[J]. 建设科技,2018(16):114-118.  
Sun Yongli, Xu Guangming, You Jia, et al. Research and application of technology for upgrading and optimizing operation of Changzhou municipal wastewater treatment plant[J]. Construction Science and Technology, 2018(16): 114-118 (in Chinese).



作者简介:郭亚琼(1987-),女,宁夏固原人,硕士,工程师,主要从事污水厂处理技术研发工作。

E-mail:gyq214@163.com

收稿日期:2019-03-18