

分点进水前置预缺氧 A^2O 工艺用于郑州马头岗污水厂

李国金¹, 李霞², 王小玲³, 谭云飞⁴, 郭淑琴¹

(1. 天津市市政工程设计研究院, 天津 300392; 2. 天津理工大学 环境科学与安全工程学院, 天津 300384; 3. 中原环保股份有限公司, 河南 郑州 450044; 4. 郑州污水净化有限公司, 河南 郑州 450044)

摘要: 郑州马头岗污水处理厂随着收水系统内排污量的增加,需新建二期工程,处理规模为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。工程包括污水处理、污泥浓缩、厌氧消化、污泥脱水及干化全流程设计。污水主体处理工艺采用了分点进水前置预缺氧的 A^2O 工艺。将二期工程处理效果与采用倒置 AAO 工艺的一期工程进行了对比,结果表明,分点进水前置预缺氧 A^2O 工艺脱氮除磷效率更高,COD、 BOD_5 、SS、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP 的去除率分别比一期增加 12.7%、22.17%、8.33%、26.69%、4.0%、9.20%,分别达到了 96.67%、99.56%、98.79%、98.98%、81.39%、98.28%,出水均值除 TN 外,其余指标均可达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水质标准。

关键词: 分点进水; 缺氧前置; 脱氮除磷

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)10-0052-06

Application of A^2O Process with Division Point Inflow and Preposed Preconditioning in Zhengzhou Matougang WWTP

LI Guo-jin¹, LI Xia², WANG Xiao-ling³, TAN Yun-fei⁴, GUO Shu-qin¹

(1. Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300392, China; 2. School of Environmental Science and Safety Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China; 3. Zhongyuan Environmental Protection Co. Ltd., Zhengzhou 450044, China; 4. Zhengzhou Sewage Purification Co. Ltd., Zhengzhou 450044, China)

Abstract: With the increase of discharge capacity in the wastewater collection system of Zhengzhou Matougang Wastewater Treatment Plant, the phase II project of Zhengzhou Matougang Wastewater Treatment Plant was constructed with the treatment capacity of $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The project contained wastewater treatment, sludge concentration, anaerobic digestion, sludge dewatering and drying. The A^2O with division point inflow and preposed preconditioning was used as the main wastewater treatment process. The paper summarized the design of the phase II project, and compared the treatment performance with the phase I project using inversion AAO process. The results showed that the efficiency of nitrogen and phosphorus removal was much higher in the A^2O with division point inflow and preposed preconditioning. Compare to the phase I project, COD, BOD_5 , SS, $\text{NH}_3 - \text{N}$, TN, TP removal rates of the phase II project increased by 12.7%、22.17%、8.33%、26.69%、4.0%、9.20% respectively, which were 96.67%, 99.56%, 98.79%, 98.98%, 81.39%, 98.28%. Except for TN, the average value of

other indexes of treated water could meet the class III standard of the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002).

Key words: division point inflow; preposed preconditioning; nitrogen and phosphorus removal

1 工程概况

郑州马头岗污水厂总处理水量为 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 一、二期工程各 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 主要收集处理排水系统内的生活污水和工业废水。

一期工程于 2007 年下半年建成通水, 设计排放标准为二级(部分指标优于二级)^[1]; 2010 年 7 月进行升级改造, 改造后采用倒置 AAO 工艺, 目前出水水质优于一级 A 标准^[2]。

二期工程于 2013 年开工建设, 设计出水水质为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 中一级 A 排放标准。

马头岗污水处理厂一、二期共用一根 $d2\ 800 \text{ mm}$ 进水干管, 二期工程 $d2\ 400 \text{ mm}$ 进厂管线由现状主干管 30# 顶管接收井处引至二期进水泵房。建设单位 2008 年—2013 年进水水质监测资料表明, BOD_5 、COD、SS、 NH_3-N 、TP、TN 的最高值多出现在每年的 3、4 月份, 最低值多出现在 7 月, 相比较其他季节, 夏季数值偏低。分析认为夏季人们生活用水量较大, 雨水量大, 气温较高, 污染物的相对浓度较低所致。二期工程设计进水水质根据实测进水水质统计资料 85%~90% 保证率确定(见表 1)。

表 1 二期工程进、出水水质

Tab. 1 Influent and effluent quality of the phase II project
 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	一期设计进水	一期改造设计进水	实测年均进水	二期设计进水	二期设计出水
COD	480	480	398.8	480	50
BOD ₅	220	250	210.18	250	10
SS	350	400	351.53	400	10
氨氮	55	45	37.0	45	5(8)
TN	—	60	49.32	60	15
TP	7	8	6.46	8.0	0.5

2 工程设计

2.1 工艺流程

二期工程污水处理采用分点进水前置预缺氧 A²O 工艺。前置缺氧段 A²O 工艺是在 UCT 基础上的进一步变型, 目的是尽量减少硝酸盐进入厌氧区, 使污水生物除磷效率提高。目前此工艺在国内已有一定的研究成果并已逐步实际应用^[3,4]。

二期工程污泥处理采用重力预浓缩+机械浓缩+中温厌氧消化+机械脱水工艺; 污泥处置采用薄层干化工艺。

工艺流程见图 1。

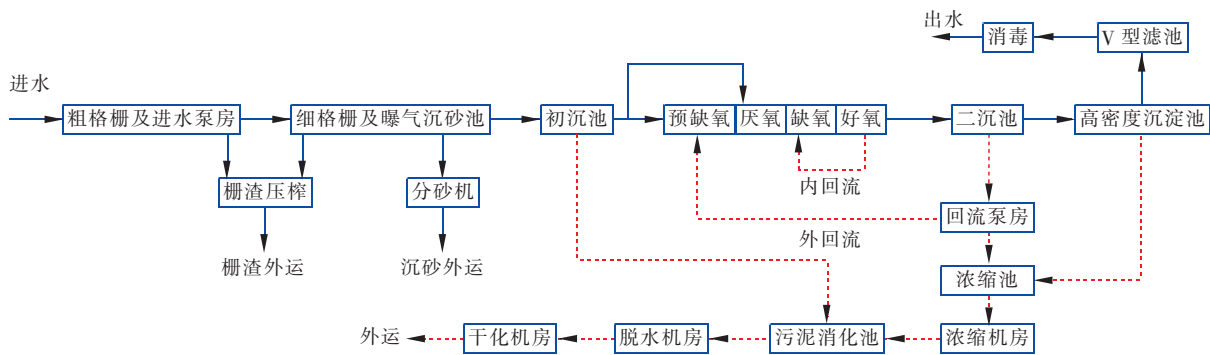


图 1 二期工程工艺流程

Fig. 1 Flow chart of the phase II project

2.2 工程设计

2.2.1 粗格栅及进水泵房

进水管采用 $d2\ 400 \text{ mm}$ 混凝土管, 管顶覆土为 12.75 m 。为缩短工期、减少土建施工对周边建构筑物影响, 粗格栅及进水泵房采用沉井施工工

艺。进水提升泵房由进水前池和集水池组成, 格栅前未设置溢流管道, 进水前池池顶高于设计地面 1.55 m , 可保证污水超量或雨季时利用一期进水泵房进水管溢流; 事故时, 也可以关闭格栅前闸门, 利用高位进水池高度保证污水不溢流至厂区地面。

在进水前池内设置了6道栅条间隙为25 mm、栅宽为1.5 m的钢丝绳牵引式格栅除污机。

在集水池内设置进水提升泵,采用潜水排污泵,共设6台(5用1备),单泵 $Q=3\,250\text{ m}^3/\text{h}$, $H=200\text{ kPa}$, $N=250\text{ kW}$,其中2台设置变频。

2.2.2 细格栅及曝气沉砂池

细格栅采用转鼓细格栅,共设置8套,转鼓直径为1.8 m,栅条间距为6 mm。相对于一期工程增加了1台。主要原因是实际运行过程发现栅渣量偏大,增加1台便于实际运行,偶数台也有利于结构整体布置设计。

一期工程采用旋流沉砂池^[1],实际运行发现本工程收水范围内污水含砂量较高,尤其是夏季多雨季节,水量波动对沉砂效果影响巨大,旋流沉砂池截留砂量少,砂水分离器分离效果差。主要原因是停留时间过短,水量波动影响水力流态,最终影响除砂效果及后续泵、搅拌器的运行。二期工程采用了曝气沉砂池,平均停留时间为8 min,高日高时流量停留时间为6.15 min,曝气量为 $0.3\text{ m}^3/\text{m}^3$ 。曝气沉砂池采用4格4桥式,单桥跨度为5.2 m。另外,为了提高砂水分离效率,本工程未采用砂水分离器等一体化设备,而是设计2座钢筋混凝土结构、配备除砂螺旋的砂水分离池,单池平面大体呈锥形,宽边为4.1 m,窄边为1.4 m,长为5.8 m,高为3 m,螺旋直径为400 mm,处理量 $\geq 120\text{ m}^3/\text{h}$ 。经运行检验,此构筑物分砂效率很高,停留时间是关乎沉砂效果的关键因素。

2.2.3 初沉池

全厂共设4座直径为40 m的中心进水周边出水的辐流式沉淀池。表面水力负荷为 $3.25\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,停留时间为1.35 h,池边有效水深为4.4 m,超高为0.3 m。采用单条集水渠双侧三角堰出水,在内侧设置浮渣挡板和浮渣斗。刮泥机为半桥式周边传动刮泥机,单机功率为4.0 kW。

初沉池前设置超越管道,便于水质季节性波动导致C/N比不足时,污水超越初沉池,不经沉淀直接进入反应池。

2.2.4 生物反应池

全厂设4组反应池,总池容为 $25\,000\text{ m}^3$,停留时间为20 h,设计预缺氧、厌氧、缺氧、好氧池容比例约为8.2%:8.2%:32.8%:50.8%。泥龄为16 d,污泥浓度为 3.8 g/L ,污泥产率为 0.9 kgDS/kg-

BOD_5 ,污泥负荷为 $0.07\text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$,内回流比为200%~300%,气水比为7.9:1,外回流比为50%~100%。

反应池平面布置见图2,工艺简图及各部分容积比例见图3。

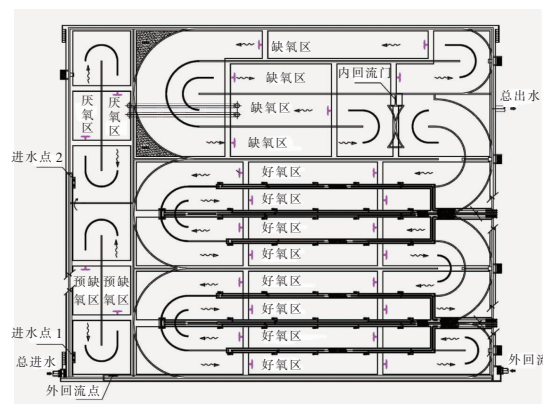


图2 反应池平面布置图

Fig. 2 Plane layout of reaction tank

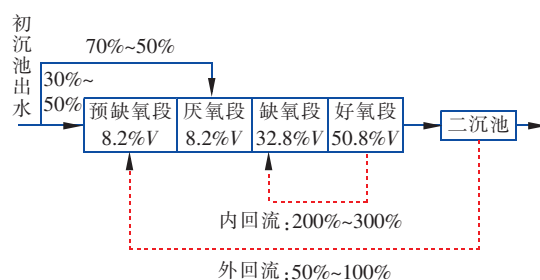


图3 运行方式

Fig. 3 Operation mode

二期生物反应池采用氧化沟,循环流态,旨在缓解推流池型冬季污泥上浮问题,从实际运行来看,效果不十分理想,单纯池型及流态的改变不能有效抑制丝状菌膨胀。本构筑物设计时,由于是循环流,所以采用内回流门形式进行内回流控制,但在实际运行过程中发现内回流门不能精确控制回流比,另外,从图2可以看出,好氧段与缺氧段之间的内回流门与好氧段之间的顺直段距离短,水力流态差,造成涡流流态,影响回流比,反硝化脱氮效果不好,调试运行阶段在内回流处靠近好氧段处增设一推流器,增大回流比,缓解涡流流态,效果良好。

2.2.5 二沉池

全厂设6座直径为52 m的周进周出辐流式二沉池,分为两组,每组共用一座回流剩余污泥泵房。

表面水力负荷为 $1.28\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,池边水深

为4.5 m,超高为0.5 m。单条集水渠单侧三角堰出水,在内侧设置浮渣挡板和浮渣斗。吸泥机为半桥式周边传动单管吸泥机,单机功率为0.75 kW。

与一期8座直径为45 m的周进周出辐流式二沉池相比,在保证出水SS达标的情况下,大大节省了土建费用。

2.2.6 鼓风机房

全厂设一座鼓风机房,内设6台带有隔音罩的单级高速离心鼓风机(5用1备),单机风量为20 000 Nm^3/h ,风压为72 kPa,电机功率为500 kW。鼓风机进气的取风口设计为高位取风,距室外地面12 m,同时每台鼓风机又设置了一套卷帘过滤器,过滤器的过气量为25 000 m^3/h ,压降 <2 kPa,功率为0.55 kW。鼓风机采用油冷却。设计在侧墙设置了8套轴流风机,在屋顶设置了4套屋顶风机,通过强制对流通风的方式对室内进行换风。

本工程6台风机中的2台由一期移至,另新购4台。调试运行阶段,建设单位对现状鼓风曝气系统进行了改进,实现了自动合理供、配气,节能效果明显^[5]。

2.2.7 回流剩余污泥泵房

全厂设2座回流剩余污泥泵房,单座服务于3座二沉池及2座生物反应池。每座泵房设4台污泥回流泵,采用潜水轴流泵,单台流量为1 720 m^3/h ,扬程为40 kPa,电机功率为30 kW。根据开启台数,回流比为50%~100%可调。

每座泵房设3台剩余污泥泵(2用1备),采用潜污泵,单台流量为180 m^3/h ,扬程为150 kPa,电机功率为13.5 kW。

2.2.8 混合反应沉淀池

混合反应沉淀池共设置4个系列,每个系列2座,共8座。由混凝区、絮凝区、平流沉淀区及泥渣回流系统和剩余泥渣排放系统组成。混合时间为87.9 s,絮凝时间为16.88 min,斜管沉淀部分表面负荷为7.93 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

单座混合池设置快速搅拌器1台,单台直径为1.2 m,絮凝池设置带套筒慢速搅拌器2台,单台直径为2.0 m,沉淀池设置1台中心驱动刮泥机,单台直径为16 m,设置回流污泥泵3台(2用1备),单台流量为100 m^3/h ,扬程为50 kPa;设置剩余污泥泵3台(2用1备),单台流量为100 m^3/h ,扬程为150 kPa。

2.2.9 V型滤池

V型滤池共16格,单格平面尺寸为15 m \times 8 m,池深为4.55 m,滤板以上池深为3.35 m。V型滤池设计滤速(均日均时)为6.5 m/h,强制滤速为6.94 m/h,滤料粒径为1.35 mm,不均匀系数小于1.3,滤料层厚度为1.2 m,1 m^2 滤板安装长柄滤头56个,为运行方便,在滤池进水总渠道上预留闸槽可将每个系列滤池分开独立运行。气冲强度为15 $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,水冲强度为4 $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,扫洗强度为1.8 $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。

由于工程规模较大,考虑到V型滤池反冲洗废水排放渠道容积较大,因此未设置反冲洗废水排放池,减少一座构筑物;另优化高程布置后使得排放渠道内反冲洗废水可重力排放至厂区污水管道,减少排放泵等设备及设备附件。经实践检验,这种排放方式简单有效,但在设计时需要考虑厂区污水管道的排放能力,避免反冲洗废水排放不畅导致溢流至厂区地面。

2.2.10 污泥处理处置系统

一期工程设计采用离心浓缩、厌氧消化、离心脱水后外运的污泥处理处置方式^[1],但未实施。二期工程建设后,全厂达到60 $\times 10^4$ m^3/d 污水处理规模,本次新建60 $\times 10^4$ m^3/d 污水配套的污泥消化设施,新建200 t/d(80%含水率,土建300 t/d)污泥干化设施,是国内最大的污水处理+污泥消化+污泥干化的全流程污水处理厂。

污泥浓缩采用5台离心浓缩脱水机,其中2台单台处理能力为120~145 m^3/h ,3台单台处理能力为200~250 m^3/h ,配套设置污泥进料泵、絮凝剂制备装置及加药螺杆泵。为进一步降低进入消化系统的污泥含砂、渣量,初沉污泥在经过浓缩前配套了污泥除渣过滤机2台,单台能力为80 m^3/h 。

污泥消化系统设计进泥总量为160 t/d。采用一级中温厌氧消化,消化温度为35 $^{\circ}\text{C}$,停留时间为22.5 d。有机物降解率为41%,沼气产率为0.85 m^3/kg ,污泥投配率为4.44%,沼气产量为30 672 Nm^3/d 。

采用高负荷利浦厌氧反应器,设16个罐体,单罐直径为16 m、最大高度为20 m(物料高度为11.5 m)、消化区容积为2 250 m^3 、气囊容积为750 m^3 。

高负荷厌氧反应器较传统常规厌氧消化系统,进泥含固率由传统的4%~5%提高至10%~12%,

消化池容积减少 50%, 大大减少占地, 同时减少污泥加热能耗和厌氧消化反应器能耗; 和传统厌氧反应器相比, 利浦厌氧反应器的污泥搅拌和回流的功率减小 280 kW, 每年节约用电 $241.92 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

污泥脱水采用离心式脱水机 4 台 (3 用 1 备), 不利情况下 4 台全用, 单台处理能力为 $45 \sim 70 \text{ m}^3/\text{h}$, 干固体通量为 $3\,000 \text{ kg/h}$ 。

脱水后的污泥进入圆盘干燥机进行干化, 本工程共设置 2 台干燥机, 单台蒸发量为 $2\,976 \text{ kgH}_2\text{O/h}$, 传热面积为 $4\,112 \text{ m}^2$ 。干化后的污泥经全密封输送机输送至污泥料仓后外运。污泥干化所用热源为锅炉房饱和蒸汽。正常情况下, 锅炉燃烧采用污泥消化过程中产生的沼气, 特殊情况下补充天然气; 干

燥机废热尾气冷却除臭后高空排放。

本工程厌氧消化产生的沼气用于污泥干化, 污泥干化尾气热蒸汽中回收热量用于消化罐保温, 实现污泥消化、干化能量自平衡, 热量回收率大于 50%, 干化系统无需外加热源, 是国内第一座污泥消化、干化联合处置能源回收利用达 50% 以上的污泥厂, 日节约天然气量为 $18\,700 \text{ m}^3$; 采用超圆盘干燥机, 装机容量较同类产品低 50% 以上, 年节约能耗 $276.48 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

3 运行效果

自调试运行以来, 二期工程出水指标稳定达标。为了从实际运行反馈中积累设计经验, 比较了一期、二期工程出水情况 (见表 2)。

表 2 一、二期工程出水水质比较

Tab. 2 Comparison of effluent quality between phase I and phase II projects

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

日 期	BOD ₅			COD			SS			NH ₃ - N			TP			TN		
	进水	一期出水	二期出水	进水	一期出水	二期出水	进水	一期出水	二期出水	进水	一期出水	二期出水	进水	一期出水	二期出水	进水	一期出水	二期出水
2016 年 8 月	123.42	1.13	1.08	262.23	13.98	13.02	315.52	6.35	5.90	28.36	0.34	0.17	4.42	0.11	0.20	43.50	9.58	9.89
2016 年 9 月	116.15	0.86	0.78	266.90	14.16	13.84	287.68	6.52	5.94	31.54	0.39	0.25	4.27	0.11	0.09	42.31	9.84	10.06
2016 年 10 月	127.48	0.84	0.82	304.13	15.69	14.63	302.47	6.60	6.07	35.10	0.48	0.35	4.82	0.12	0.06	47.00	9.76	9.90
2016 年 11 月	141.14	1.14	0.81	367.00	17.91	14.62	362.13	6.55	6.26	35.31	0.46	0.39	5.65	0.12	0.07	49.01	9.79	8.62
2016 年 12 月	245.77	1.35	1.00	521.70	16.28	14.93	518.50	6.70	6.17	40.08	0.48	0.38	6.41	0.12	0.07	54.56	9.66	8.69
2017 年 1 月	391.74	1.33	1.27	799.26	17.56	15.86	828.97	6.81	6.16	35.67	0.50	0.47	8.87	0.09	0.06	62.80	9.67	8.77
2017 年 2 月	299.29	1.34	1.12	526.13	16.65	14.68	561.90	6.42	6.19	36.72	0.57	0.35	6.10	0.09	0.08	54.45	10.12	9.45
2017 年 3 月	364.80	1.62	1.59	522.29	18.72	14.58	615.43	6.57	6.11	38.79	0.64	0.47	7.17	0.10	0.07	58.09	9.37	8.19
2017 年 4 月	460.68	1.77	1.23	757.90	18.84	15.85	813.90	6.58	6.13	41.86	0.51	0.53	9.92	0.10	0.08	73.85	11.00	9.28
2017 年 5 月	273.37	1.84	0.96	483.70	16.70	13.93	663.43	6.77	5.70	39.93	0.50	0.32	8.97	0.13	0.12	60.18	11.07	10.13
2017 年 6 月	183.71	1.62	1.00	278.45	17.32	14.33	347.35	5.77	4.50	33.13	0.51	0.29	5.31	0.17	0.16	46.13	10.52	10.51
2017 年 7 月	146.53	1.23	0.89	263.63	15.37	12.87	378.00	5.77	5.73	29.87	0.52	0.33	3.39	0.09	0.14	40.57	9.24	10.55
2017 年 8 月	152.13	1.22	0.91	223.03	13.26	12.32	370.68	6.61	6.16	26.13	0.39	0.29	2.45	0.11	0.13	37.73	10.29	10.66
平均值	232.79	1.33	1.04	428.95	16.34	14.27	489.69	6.46	5.92	34.81	0.48	0.35	5.98	0.11	0.10	51.55	9.99	9.59

需要指出的是: 在二期未投加除磷药剂的前提下, COD、BOD₅、SS、NH₃ - N、TN、TP 的去除率分别比一期增加 12.7%、22.17%、8.33%、26.69%、4.0%、9.20%, 分别达到了 96.67%、99.56%、98.79%、98.98%、81.39%、98.28%, 出水均值除 TN 外可达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) III 类标准, 说明分点进水前置预缺氧 A²O 工艺脱氮除磷效率更高, 较好地解决了脱氮除磷的矛盾。

4 结语

马头岗污水处理厂二期工程, 在分析一期工程运行情况的前提下, 通过优化反应池各反应段池容

比例, 提高了出水水质, 实际运行数据表明, 二期工程设计是科学合理的。

参考文献:

- [1] 魏新庆, 王秀朵. 多功效 UCT 处理工艺的工程应用[J]. 给水排水, 2008, 34(3): 45-48.
Wei Xinqing, Wang Xiuduo. Application of multiple effective UCT process for wastewater treatment[J]. Water & Wastewater Engineering, 2008, 34(3): 45-48 (in Chinese).
- [2] 李霞, 李国金, 王小玲, 等. 马头岗污水厂一期升级改造工程设计及运行效果分析[J]. 中国给水排水, 2012, 28(14): 86-89.

Li Xia, Li Guojin, Wang Xiaoling, *et al.* Design and efficiency analysis of first-stage upgrading and reconstruction project of Matougang Wastewater Treatment Plant [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28 (14): 86 - 89 (in Chinese).

- [3] 高洋,程洁红,戴界红. 城镇污水处理厂 A^2/O 工艺脱氮除磷潜力的研究[J]. 中国给水排水, 2017, 33 (7): 89 - 93.

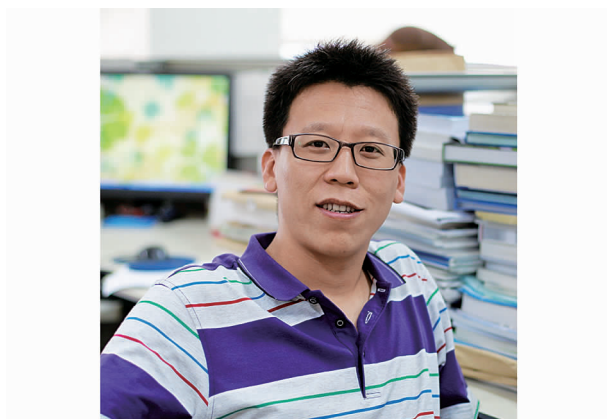
Gao Yang, Cheng Jiehong, Dai Jiehong. Potentiality of nitrogen and phosphorus removal in A^2/O process of WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33 (7): 89 - 93 (in Chinese).

- [4] 张雨,王先宝,孙红芳,等. 西安市某污水处理厂倒置 A^2/O 工艺改造研究[J]. 中国给水排水, 2016, 32 (7): 117 - 120.

Zhang Yu, Wang Xianbao, Sun Hongfang, *et al.* Transformation of inverted A^2/O process in a wastewater treatment plant in Xi'an City [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32 (7): 117 - 120 (in Chinese).

- [5] 李升,胡晓东,许飞飞,等. 马头岗污水厂精确曝气系统的实施及应用效果[J]. 中国给水排水, 2016, 32 (15): 26 - 31.

Li Sheng, Hu Xiaodong, Xu Feifei, *et al.* Implementation and application efficiency of aeration volume control system in Matougang Wastewater Treatment Plant [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32 (15): 26 - 31 (in Chinese).



作者简介:李国金(1980 -), 男, 河北承德人, 硕士, 高级工程师, 主要从事水处理研究及设计工作。

E-mail: tju_liguojin@126.com

收稿日期: 2017 - 09 - 26

(上接第 51 页)

式与设计要点[J]. 水处理技术, 2014, 40 (8): 107 - 110.

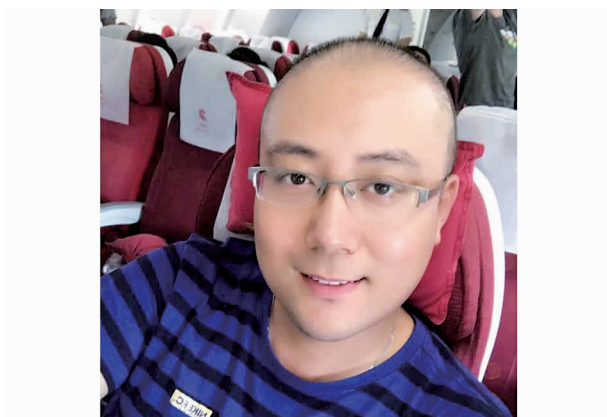
Wang Shunhe, Deng Shenglin, Jiang Baoyuan. Operation mode and design of multi-mode A^2/O process [J]. Technology of Water Treatment, 2014, 40 (8): 107 - 110 (in Chinese).

- [2] 王舜和,郭淑琴. 天津市张贵庄污水处理及再生利用一期工程设计[J]. 中国给水排水, 2013, 29 (8): 52 - 55, 59.

Wang Shunhe, Guo Shuqin. Design of first-phase project for wastewater treatment and reclamation at Tianjin Zhangguizhuang [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29 (8): 52 - 55, 59 (in Chinese).

- [3] 李承强,张竑. 深圳龙华污水处理厂的工程设计与调试[J]. 中国给水排水, 2008, 24 (24): 28 - 31.

Li Chengqiang, Zhang Hong. Design and commissioning of Longhua Wastewater Treatment Plant [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24 (24): 28 - 31 (in Chinese).



作者简介:王舜和(1981 -), 男, 黑龙江哈尔滨人, 硕士, 高级工程师, 从事污水处理工程设计工作, 曾获天津市工程咨询一等奖 2 项、全国工程咨询二等奖 2 项、天津市优秀勘察设计一等奖 2 项、国家发明专利 2 项。

E-mail: johnason80@126.com

收稿日期: 2017 - 12 - 21