设 计 经 验

PTA^{2}O 工艺用于养猪废水处理及其 Anammox 现象分析

王建西
（中国市政工程华北设计研究总院有限公司，天津 300381）

摘　要： PTA^{2}O 工艺是在传统 A^{2}O 工艺基础上的改进工艺，它将曝气、污泥回流、污泥沉淀集约在一个构筑物内，占地小，投资省。某养猪废水处理项目规模为 1 500 m^3/d，原采用 AO 工艺，针对其废水高 COD、高氨氮的特点，改造工程采用水解酸化 + PTA^{2}O 工艺，出水执行《畜禽养殖业污染物排放标准》（GB 18596—2001）。工程运行 100 多天后生物池自发产生厌氧氨氧化现象，之后进行生产性厌氧氨氧化调试 5 个月，生物池运行功率由 143 kW 降为 37 kW，节能 74.1%，碱液及碳源基本停止投加，处理成本（不包括人工费）由 9.49 元/m^3 降为 1.38 元/m^3，COD 去除率达 80% 左右，总氮去除率维持在 90% 水平。厌氧氨氧化运行一年多来，从未发生崩溃，一直稳定运行，出水达标，节能显著。本案例证明，PTA^{2}O 工艺采用的曝气、沉淀、污泥回流及水力循环方式在适宜的水质条件下易于自发产生厌氧氨氧化现象，且有较强生命力。

关键词： PTA^{2}O 工艺；　养殖废水；　厌氧氨氧化
中图分类号： TU992　　**文献标识码：** B　　**文章编号：** 1000－4602(2020)08－0056－07

Application of PTA^{2}O Process in Swine Wastewater Treatment and Its Anammox Phenomenon Analysis

WANG Jian-xi
(*North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd.*, *Tianjin* 300381, *China*)

Abstract: PTA^{2}O process is an improved process on the basis of traditional A^{2}O process, which integrates aeration, sludge reflux and sludge sedimentation in one structure, occupies small area and saves investment. The capacity of a swine wastewater treatment project was 1 500 m^3/d under the originally AO process. Swine wastewater has the characteristics of high COD and high-strength ammonium, so the transformation project adopts hydrolysis acidification and PTA^{2}O process. The effluent after transformation is required to meet the *Discharge Standard of Pollutants for Livestock and Poultry Breeding* (GB 18596－2001). Anammox occurred spontaneously after about 100 days' operation of the project. Afterwards, full-scale Anammox was carried out for 5 months. The power consumption of the biological tank was reduced by 74.1% from 143 kW to 37 kW; alkali and carbon source were basically stopped addition. The treatment cost excluding labor decreased from 9.49 yuan/m^3 to 1.38 yuan/m^3; the removal rate of COD was about 80%; the removal rate of total nitrogen was maintained at the level of 90%. Anaerobic ammonia oxidation process operated for more than a year, with no collapse, stable operating, effluent up to standard, energy saving remarkable. This case showed that the aeration, sedimentation, sludge reflux and hydraulic circulation that PTA^{2}O process adopted could easily produce spontaneous anaerobic ammonium oxidation under suitable water quality conditions, and had strong

sustainability.

Key words: PTA²O process; swine wastewater; anaerobic ammonium oxidation(Anammox)

1　项目概况

北方某养殖企业占地约 233 hm^2(3 500 亩),年出栏生猪 30 余万头,供应京津等地。废水主要包括猪舍冲洗水、猪粪便水及少量生活污水,目前废水量约 1 500 m^3/d。废水经厌氧发酵,沼气用于发电,沼液进废水处理站处理后一部分排放至市政污水处理厂,一部分深度处理后回用于冲洗猪舍、浇洒厂区绿地。

企业早年建有一座废水处理站,构筑物包括提升泵站、初沉池、AO 生物池、二沉池、加药间、鼓风机房等。随着养殖规模的不断扩大,原有废水处理设施能力不足,2017 年进行改造。改造工程规模为 1 500 m^3/d,设计进、出水水质见表 1。出水回用于养殖场,水质需满足《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB 18596—2001)。

表 1　设计进、出水水质

Tab. 1　Design influent and effluent quality

$mg \cdot L^{-1}$

项　目	COD	BOD_5	SS	TN	NH_3-N	TP
设计进水	3 000	1 200	1 100	1 200	1 100	20
设计出水	400	150	200		80	8

2　改造工艺选择

养殖废水具有高 COD、高氨氮、高磷特点,根据排放要求,处理工艺须具备除磷脱氮功能。国内养殖废水处理工艺有 A²O[1]、ABR 厌氧/CASS 好氧[2]工艺等。

本项目进水氨氮高,碳氮比不足,且经过厌氧发酵后的 COD 难以生物降解,运行中需大量投加碳源。若采用厌氧氨氧化工艺,对于企业来说,则意味着巨大的经济效益。

厌氧氨氧化在国内养殖废水处理中虽有实验研究[3],但尚无成功案例。借鉴其他养殖废水处理项目经验,该工程生物处理确定采用水解酸化 + PTA²O 工艺,工艺流程见图 1。PTA²O(Perfect Type Anaerobic - Anoxic - Oxic)工艺是近几年出现的一种新型强化脱氮除磷工艺,是在传统 A²O 工艺基础上的改进型工艺。该工艺保留传统 A²O 工艺厌氧、缺氧、好氧功能,对曝气、污泥回流、污泥沉淀等进行了改进:在曝气方面采用可以不停车更换的曝气软管技术;污泥回流方面采用气提直接回流方式;在沉淀方面采用将高效的斜管沉淀装置置于曝气池内完成泥水分离的方式。这样的改进,在保证污水处理除磷脱氮效果的同时,可以不停车维护和更换曝气系统,省去了专门的污泥回流泵房及构筑物之间的连接管道,不采用大型的辐流式沉淀池,节省了占地和投资。

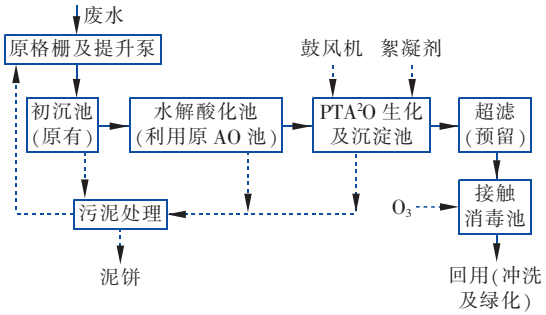

图 1　废水处理工艺流程

Fig. 1　Flow chart of wastewater treatment process

短程硝化是实现厌氧氨氧化的前提条件,低溶氧是实现短程硝化的前提条件。PTA²O 工艺除了上述优点外,其特殊的密布式曝气系统、气提回流及大比例气提环流式循环系统使它在低溶氧方式运行方面更具优势。

3　主要工艺设计参数及设备配置

改造工程在原址进行。包括原有建(构)筑物,厂区占地 10 367 m^2(15.55 亩)。规模按 1 500 m^3/d 设计。

原有提升泵池及初沉池功能不变,原 AO 池改为水解酸化池,原辐流式二沉池改为污泥浓缩池。

新建建(构)筑物包括:配电及控制室、脱水机房、鼓风机房、加药间、臭氧间、超滤间、PTA²O 生化池(包括厌氧区、缺氧区、好氧区、二沉区、絮凝沉淀区)、接触消毒池等。

3.1　预处理

预处理利用原有格栅、进水提升泵、初沉池。

进水格栅,栅距为 7 mm,$N=1.5$ kW;提升泵 3 台(1 用 2 备):$Q=80$ m^3/h,$H=150$ kPa,$N=4$ kW。

初沉池容积为 561.6 m^3,设计沉淀时间为 8.98 h。桁车式刮泥机 $N=1.5$ kW。

3.2　水解酸化池

将原 AO 池改为水解酸化池。原 AO 池容积为 1 744 m^3,设计停留时间为 27.9 h。

利用原罗茨风机:7.25 m^3/min,P = 49 kPa,N = 11 kW,1 用 1 备;利用原有悬挂式微孔曝气链 1 套;污泥回流泵:Q = 50 m^3/h,H = 100 kPa,N = 4 kW,2 套(1 用 1 备);上清液回流泵:Q = 40 m^3/h,H = 50 kPa,N = 1.5 kW,2 套(1 用 1 备);新型气提循环装置 1 套,新增沉淀装置 2 套。

3.3　PTA^{2}O 生化池(包括二沉池及絮凝沉淀池)

PTA^{2}O 生化池设计为百乐克形式。上部尺寸为 67 m × 57 m,下部尺寸为 44.6 m × 34.6 m,深为 5.0 m,有效水深为 4.50 m。总容积约 11 000 m^3。平面示意见图 2。

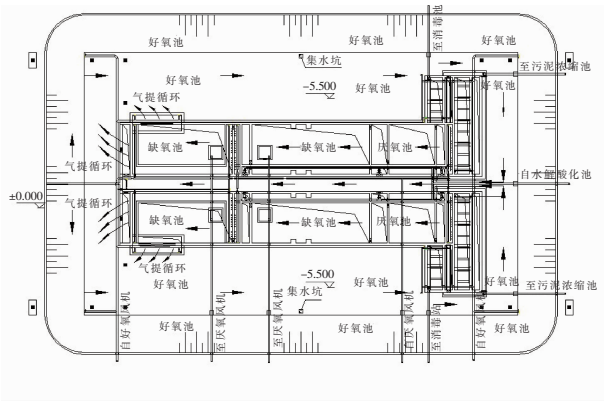

图 2　PTA^{2}O 平面示意

Fig. 2　Schematic diagram of PTA^{2}O process plane

好氧区设计停留时间为 140 h,氨氮容积负荷为 0.16 kg/(m^3 · d),污泥浓度为 5 ~ 8 g/L,有效水深为 4.5 m。厌氧区停留时间为 6 h,缺氧区停留时间为 29 h。

二沉池及絮凝沉淀池采用带反冲洗的斜管沉淀池。总水深为 4.5 m,二沉池面积为 50 m^2,表面水力负荷为 1.25 m^3/(m^2 · h),絮凝沉淀池面积为 25 m^2,表面水力负荷为 2.50 m^3/(m^2 · h)。

污泥回流比为 250%,硝化液回流比为 200%。

主要设备:低通气量不停车更换曝气系统 1 600 m^2,曝气沉淀装置 50 m^2,絮凝沉淀装置 25 m^2,气提回流装置 22 套,PLC 溶氧精确控制系统 2 套。

3.4　臭氧间及超滤膜车间

建筑尺寸为 6.10 m × 10.20 m × 4.1 m。

臭氧投加量按 30 mg/L 计算,需投加 1 500 × 30 = 45 kg/d = 1.88 kg/h。臭氧间主要设备见表 2。

表 2　臭氧间主要设备

Tab. 2　Main equipment of O_3 room

项　目	数量/台	电源	单台功率/kW	单台配电容量/kVA
臭氧发生器	1	380 V,50 Hz	32	41.6
空压机	1	380 V,50 Hz	15	19.5
冷干机	1	220 V,50 Hz	1.07	1.4
吸干机	1	220 V,50 Hz	0.06	1
水泵	1	380 V,50 Hz	1.5	1.95
尾气破坏器	1	220 V,50 Hz	2.2	2.9

超滤设计采用超滤膜堆,处理量为 750 m^3/d,主要设备见表 3。

表 3　超滤间主要设备

Tab. 3　Main equipment of UF room

项　目	规格	材料	数量
超滤供料泵	Q = 60 m^3/h,H = 300 kPa,N = 11 kW	双相钢	2 台(1 用 1 备)
自清洗过滤器	100 μm 精度	耐海水涂层	1 套
超滤膜堆	出力:1 000 m^3/d	组合	1 套
超滤膜组件	860	PVDF	32 支
化学清洗、反洗装置	成品	组合	1 套
清洗泵	Q = 100 m^3/h,H = 200 kPa	双相钢	1 台
反洗泵	Q = 160 m^3/h,H = 200 kPa	双相钢	1 台
加药装置(氧化剂/盐酸/碱)	成品	组合	3 套
计量泵	Q = 0 ~ 1 000 L/h,H = 400 kPa	PVC	3 台
溶液箱	200 L	PE	3 台

3.5　接触消毒池

消毒池兼作蓄水池用,使消毒剂与水充分混合,杀灭水中的细菌和病毒。接触消毒池出水经流量计计量后作为再生水回用于冲洗猪舍、浇洒绿地。

臭氧消毒池尺寸为 8.5 m × 8.5 m,有效水深为 3.2 m。停留时间为 3.4 h。

臭氧及超滤因故暂未上马,目前暂时采用次氯酸钠消毒,加注量最大为 20 mg/L。计量泵 2 台(1 用 1 备),Q = 25 L/h ,功率为 0.15 kW。

再生水回用泵:Q = 40 m^3/h,H = 300 kPa,N = 5.5 kW,2 套(1 用 1 备)。

接触消毒池出水由巴氏计量槽计量。

3.6　污泥浓缩

利用原有辐流式二沉池作为污泥浓缩池和污泥

储池,浓缩和储存絮凝沉淀池污泥,定期进行污泥处置。池内径为 12.7 m,周边池深为 3.3 m,有效水深 3.0 m,池容 380 m^3。刮泥机 N=1.1 kW。

3.7　鼓风机房

鼓风机房平面尺寸为 8 m×9 m,内设好氧鼓风机 2 台,向生物反应池供气,用于搅拌污水和保障生物池内生物降解所需的氧量。厌氧鼓风机 2 台,用于厌氧池鼓风搅拌和污泥提升回流。

主要设备:好氧鼓风机 2 台(1 用 1 备),流量为 90 m^3/min,风压为 60 kPa,功率为 132 kW;厌氧防爆风机 2 台,流量为 5 m^3/min,风压为 60 kPa,功率为 11 kW。

3.8　污泥脱水机房、加药间

建筑尺寸为 12 m×13 m×4.1 m。满负荷 1 500 m^3/d 运行时污泥量约 2 030 kgDS/d,选用叠螺脱水机 1 台,处理 60~100 kgDS/h;处理后泥饼含水率≤80%,送至附近污泥干化厂干化处理。污泥脱水投加 PAM,加药量最大为 4 g/kgDS。

主要设备:叠螺式污泥浓缩脱水机 1 台,处理能力为 100 kgDS/h,整机功率 2.05 kW;污泥进料泵 2 台(1 用 1 备),Q=22~35 m^3/h,H=0.4 MPa,N=4 kW;污泥转送泵 2 台(1 用 1 备),Q=22~35 m^3/h,H=0.4 MPa,N=4 kW;PAM 制备系统 1 套,0.37 kW,按干泥量的 0.5% 计为 4 kg/d,浓度 0.1%,加药泵 Q=500 L/h,H=0.5 MPa,N=0.55 kW。

3.9　加药系统

PAC 加药系统:PAC 储罐 2 台,单台 V=5.0 m^3,搅拌器 2.2 kW。计量泵 2 台(1 用 1 备),Q=60 L/h,H=0.6 MPa,功率为 0.37 kW。

PAM 加药系统:PAM 自动泡药机 1 台,Q=1 000 L/次,搅拌器 2.2 kW。计量泵 2 台(1 用 1 备),Q=80 L/h,H=0.6 MPa,功率为 0.18 kW。

碳源投加系统:采用液体生物质碳源,碳源储罐 2 台,单台 V=5.0 m^3。计量泵 2 台(1 用 1 备),Q=3 000 L/h,功率为 0.25 kW。

碱液投加系统:采用液体碳酸氢钠,碱液储罐 2 台,单台 V=15.0 m^3。计量泵 2 台(1 用 1 备),Q=200 L/h,H=0.6 MPa,功率为 0.37 kW。

4　调试运行结果

该项目于 2018 年 4 月初通水调试,接种污泥采用市政污水处理厂活性污泥。经两个月调试,至 6 月中旬已可以稳定运行。运行期间,生化系统溶解氧控制在 0.1~0.5 mg/L,pH 值调整在 6.3~7.9之间。调试期间(2018 年 4 月 3 日—6 月 17 日)进、出水水质见表 4。

表 4　实际进、出水水质

Tab. 4　Actual influent and effluent quality

项　目		水量/(m^3·d^{-1})	COD/(mg·L^{-1})	NH_3-N/(mg·L^{-1})	TN/(mg·L^{-1})	TP/(mg·L^{-1})
进水	最高值	1 871	8 538	1 040	1 317	299
	最低值	1 009	1 337	605	617	33.9
	平均值	1 445	2 155	790	881	63.4
出水	范围		88.3~285.4	10.6~19.8		3.9~34
	平均值		168.8	16.4		21.3

根据化验结果,出水 BOD_5<120 mg/L。前期调试期间未测 SS,厌氧氨氧化运行期间测过,污泥 SVI 值可达 70 mL/g 左右,絮凝沉淀出水 SS 在 40 mg/L 左右。

由于实际进水 TP 远大于设计值,造成出水 TP 偏高,工程出水排放至市政污水厂。经与有关部门协商,接收出水的污水处理厂能够接受 TP 偏高,污水厂出水能够达到一级 A 排放标准。

5　效益分析

本项目投资按规模为 1 500 m^3/d 计,工程概算投资为 1 566 万元,吨水投资为 1.04 万元。由于臭氧及超滤暂没上马,项目设计装机容量为 356.65 kW,运行功率为 182.7 kW。不计人工费,吨水运行成本为 9.49 元(见表 5),其中碳源成本为 5.48 元,占总成本的 57.7%。

表 5　运行成本

Tab. 5　Actual operating cost

项目	水量/m^3	电费/元	纯碱费/元	碳源费/元	除磷费/元	消毒费/元	药剂费合计/元	总费用/元	吨水费用/(元·m^{-3})
4 月	24 064	52 461	110 115	40 313			150 428	202 888	8.43
5 月	45 747	87 444	19 110	327 940			347 050	434 494	9.50
6 月	23 893	50 589	2 646	145 411	44 218	9 023.7	201 299	251 888	10.54
合计	93 704	190 494	131 871	513 664	44 218	9 023.7	698 595	889 089	9.49

6　厌氧氨氧化现象及分析

6.1　厌氧氨氧化现象

运行三个多月后，工作人员查看缺氧池污泥情况时发现一种红色菌群（见图 3），初步判断属于厌氧氨氧化菌。之后运行人员以脱氮为主进行厌氧氨氧化的生产性实验。

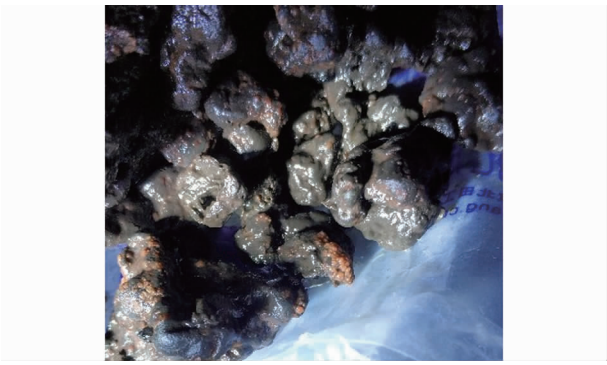

图 3　缺氧池污泥中的红色菌群

Fig. 3　Red bacteria in sludge of anoxic tank

首先停止好氧曝气，原设计 132 kW 和 11 kW 鼓风机停用，新安装一台 37 kW 鼓风机，风量为 24 m^3/min，主要用于气提大比例水力循环，少量曝气保证微氧环境，即保证亚硝化反应进行，缺氧区 DO 保持在 0.2 mg/L 以下。

经几个月调试，取污泥混合液上清液澄清，显现红色（见图 4）。随着厌氧氨氧化菌数量的不断增多，碱液、碳源基本停止投加。根据连续检测资料，总氮去除率从初期的 50% 左右逐渐提高到 90% 左右，且未见硝态氮、亚硝态氮长期大量积累，见表 6。

图 4　污泥混合液上清液呈现红色

Fig. 4　Red supernatant of sludge

表 6　实验运行成果（2018 年 11 月）

Tab. 6　Actual operating data in Nov. 2018

序号	进水/(mg·L^{-1})			出水/(mg·L^{-1})					去除率/%		
	COD	NH_3－N	TN	COD	NH_3－N	TN	硝态氮	亚硝态氮	COD	NH_3－N	TN
1	1 998	820	943	405	26.1	466	377	0.29	79.73	96.82	50.58
2	1 472	801	900	330	24.8	501	385	0.45	77.58	96.90	44.33
3	1 422	812	925	397	18.6	481	392	0.61	72.08	97.71	48.00
4	1 089	822	976	324	2.86	458	395	0.28	70.25	99.65	53.07
5	1 189	753	956	349	1.91	418	368	0	70.65	99.75	56.28
6	988	766	893	260	2.3	411	356	0.19	73.68	99.70	53.98
7	1 084	774	929	254	2.1	386	333	0.13	76.57	99.73	58.45
8	1 573	757	913	256	3.07	369	311	0.17	83.73	99.59	59.58
9	1 689	749	970	279	0.88	334	274	0.14	83.48	99.88	65.57
10	1 560	769	978	215	2.78	323	295	0.42	86.22	99.64	66.97
11	1 586	766	946	280	2.24	309	251	0.79	82.35	99.71	67.34
12	1 555	795	998	266	2.07	259	213	0.86	82.89	99.74	74.05
13	1 976	772	984	249	1.26	260	174	0.43	87.40	99.84	73.58
14	1 371	778	922	288	1.39	229	164	0.53	78.99	99.82	75.16
15	1 489	759	889	271	1.62	204	158	0.23	81.80	99.79	77.05
16	1 517	831	863	248	1.85	146	111	0.37	83.65	99.78	83.08
17	1 551	772	893	268	3.46	142	96	0.15	82.72	99.55	84.10
18	1 692	789	892	288	7.32	124	81	0.15	82.98	99.07	86.10
19	1 574	792	971	345	3.26	117	66	0.17	78.08	99.59	87.95
20	1 534	758	830	285	3.26	84	63	0.42	81.42	99.57	89.88

其后运行中虽有一些小的波动，但处理效果仍理想，符合排放要求。如 2019 年 3 月 15 日，当日进水总氮为 517 mg/L，出水氨氮为 38.3 mg/L，出水总氮为 123 mg/L，TN 去除率为 76.2%；当日进水 COD

为 1 040 mg/L,出水 COD 为 190 mg/L,COD 去除率为 81.7%。至 4 月份总氮去除率基本上可以稳定在 90%。

另一个好的现象是污泥沉降性能变优。之前以 A^{2}O 方式运行时,二沉池偶尔出现絮体上浮现象。以厌氧氨氧化方式运行以来,二沉池絮体上浮现象完全消失,经检测,污泥 SVI 值可达 70 mL/g 左右,絮凝沉淀出水 SS 可保持在 40 mg/L 左右。

6.2 厌氧氨氧化现象分析

一直以来,市政污水处理脱氮大都采用硝化与反硝化工艺,能耗较高。

厌氧氨氧化现象自发现至今仅 20 余年[4-5],但由于其高效的脱氮性能而受到广泛关注和研究。与传统工艺相比,厌氧氨氧化脱氮可以减少约 60% 的需氧量、100% 的碳源、80% 的污泥产量。本项目鼓风机运行功率由 143 kW 降为 37 kW,节能 74.1%;碱液和碳源已无需投加,生化池几个月不需排泥就是证明。出现厌氧氨氧化现象后,处理成本(不包括人工费)由 9.49 元/m^3 降为 1.38 元/m^3。

分析认为,本项目出现厌氧氨氧化现象,主要得益于以下几个条件的存在:

① 水温

本项目进水水温即使在冬季也保持在 27 ℃左右,适合厌氧氨氧化菌生存繁殖。

② pH 值

进水 pH 值在 6.52 ~ 7.99 之间,适合厌氧氨氧化菌生存繁殖。

③ 工艺设计为厌氧氨氧化反应创造了条件

工艺设计采用气提大流量循环,厌氧及缺氧池都采用空气搅拌,这种形式带来以下结果:

a. 它将一部分氧气带入水中,造成微氧环境,为短程硝化创造了条件,使得一部分 NH_4^+ 转化为 NO_2^-,厌氧氨氧化菌在缺氧环境中利用 NO_2^- 将 NH_4^+ 转化为 N_2;短程硝化 + 厌氧氨氧化的化学方程式为:

$$NH_4^+ + 1.5O_2 \longrightarrow NO_2^- + H_2O + 2H^+$$

$$NH_4^+ + 1.32NO_2^- + 0.066HCO_3^- + 0.13H^+ \longrightarrow 1.02N_2 + 0.26NO_3^- + 0.066CH_2O_{0.5}N_{0.15} + 2.03H_2O$$

b. 它替代了机械搅拌混合的功能,同样可以使悬浮液混合均匀,没有死角。

c. 10 ~ 20 倍的大比例流量循环对不均匀的进水浓度负荷起到稀释和平均的作用。

进水氨氮、总氮在浓度上具有较大的不均匀性,由于采用气提大流量循环,可以有效稀释,所以不会造成冲击。

d. 由于大比例循环作用,不会造成 NO_2^- 局部富集到较高浓度(如 100 mg/L 以上)[4],没有对厌氧氨氧化反应产生抑制作用,因此厌氧氨氧化反应得以顺利进行。运行中通过控制溶解氧,也很好地控制了硝态氮的增长。检测数据也表明,确实没有产生硝态氮和 NO_2^- 的长期大量积累(见表 6)。

e. 项目采用生化沉淀一体化设计,而且池容足够大。厌氧氨氧化菌生长缓慢,倍增时间需 10 ~ 12 d,这种生化沉淀一体化的设计起到了把厌氧氨氧化菌截留在生物池内,避免其流失的作用。与国外采用水力旋流分离设备截留厌氧氨氧化菌相比,本项目沉淀采用的廉价斜管同样有效。

一般来讲,厌氧氨氧化菌的生长是一个缓慢的过程,常规的厌氧氨氧化工程都是接种厌氧氨氧化污泥,进行厌氧氨氧化培养而启动的。本项目没有接种厌氧氨氧化污泥,它的厌氧氨氧化是经过了长达八个月的自然筛选才形成的。

④ COD

有研究[4]表明,COD 整体上可能对 AnAOB(厌氧氨氧化菌)的活性产生抑制作用。本项目 COD 在 1 337 ~ 8 538 mg/L 之间,平均 2 155 mg/L,是厌氧发酵后的难以生物降解的 COD,对 AnAOB 的活性抑制作用不大。

⑤ 污泥龄及污泥负荷

厌氧氨氧化菌倍增时间需 10 ~ 12 d,本项目厌氧氨氧化运行后 3 ~ 4 个月难得排泥一次,因此保证了足够长的泥龄。

厌氧氨氧化工艺污泥氨负荷一般为 0.02 ~ 0.3 kg/(kg · d)。本项目百乐克池容较大,MLSS 一般维持在 5 g/L,污泥氨负荷约为 0.021 5 kg/(kg · d)。若能在水解酸化池中实现厌氧氨氧化,则污泥氨负荷可提高至 0.136 kg/(kg · d),大大节省池容。

由于以上几个优越条件的存在,使得原本存在于废水中的少量厌氧氨氧化菌得以不断地在生物池中繁殖和积累,积少成多,终显效果。

7 结论

某养猪废水处理项目改造工程采用水解酸化 +

PTA^{2}O 工艺，出水水质达到《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB 18596—2001)。运行 100 多天后生物池自发产生厌氧氨氧化现象，使生化池运行功率由 143 kW 降为 37 kW，节能 74.1%。不需投加碱液及碳源，生化池排泥量也大为减少。

国内目前厌氧氨氧化工艺的应用案例较少，本项目的生产性实验成果，能够给类似工程提供有益借鉴。

参考文献：

[1] 孙群荣，徐彬彬，张雁峰. 氨吹脱 - A^2/O 工艺处理高浓度养殖废水[J]. 给水排水，2005，31(3)：55 - 57.
Sun Qunrong, Xu Binbin, Zhang Yanfeng. Treatment of high concentrated livestock and poultry breeding wastewater by ammonia stripping and A^2/O process[J]. Water & Wastewater Engineering, 2005, 31(3): 55 - 57 (in Chinese).

[2] 杨丽芳，朱树文，高红武，等. ABR 厌氧/CASS 好氧工艺处理养殖废水[J]. 中国给水排水，2007，23(8)：62 - 66.
Yang Lifang, Zhu Shuwen, Gao Hongwu, *et al*. Application of ABR anaerobic/CASS aerobic technology for treatment of breeding wastewater[J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(8): 62 - 66 (in Chinese).

[3] 何占飞，付永胜，荀方飞，等. 厌氧氨氧化处理养殖废水启动实验研究[J]. 水资源与水工程学报，2008，19(2)：64 - 67.
He Zhanfei, Fu Yongsheng, Xun Fangfei, *et al*. Study on the start-up ANAMMOX treated with poultry wastewater [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2008, 19(2): 64 - 67 (in Chinese).

[4] 盖书慧，张宁，张雁秋. 新型脱氮工艺 - 厌氧氨氧化(ANAMMOX)[J]. 环境科学与管理，2009，34(4)：98 - 101，105.
Gai Shuhui, Zhang Ning, Zhang Yanqiu. New ways for nitrogen removal - anaerobic ammonium oxidation[J]. Environmental Science and Management, 2009, 34(4): 98 - 101, 105 (in Chinese).

[5] 沈明玉，吴莉娜，李志，等. 厌氧氨氧化在废水处理中的研究及应用进展[J]. 中国给水排水，2019，35(6)：16 - 21.
Shen Mingyu, Wu Lina, Li Zhi, *et al*. Research and application progress of anaerobic ammonium oxidation in wastewater treatment[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(6): 16 - 21 (in Chinese).

作者简介：王建西(1964 -　)，男，河南洛阳人，大学本科，高级工程师，从事市政给排水设计工作 30 余年，曾获建设部优秀勘察设计二等奖 2 项，河北省优秀工程勘察设计一等奖 1 项，中国工程咨询协会优秀咨询成果三等奖 1 项。

E - mail：13752517662@163. com

收稿日期：2019 - 07 - 22

水利工程补短板，水利行业强监管