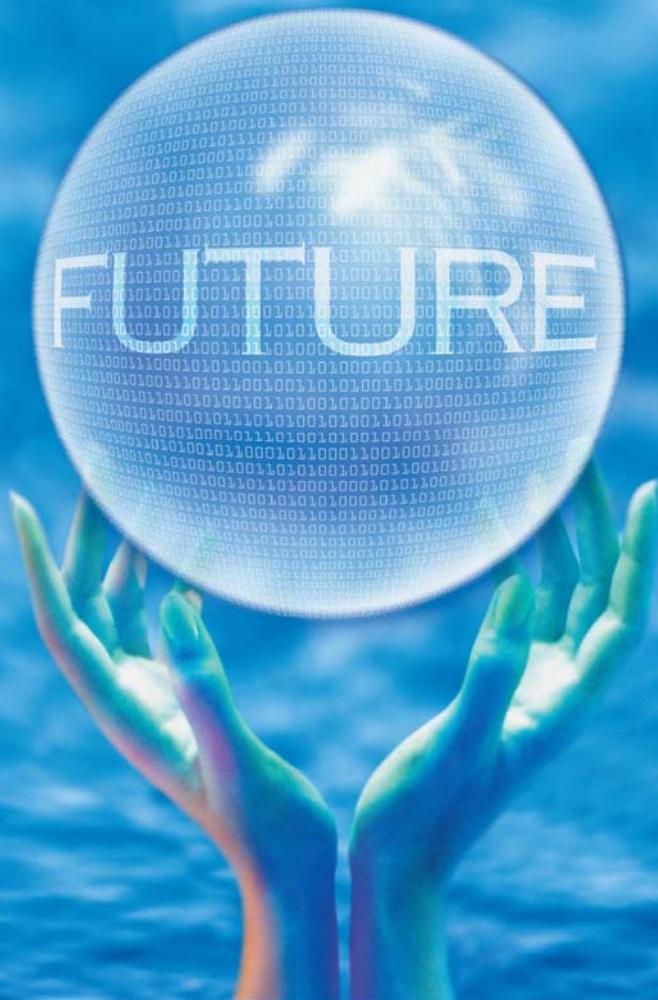


# 环境工程学报

Chinese Journal of Environmental Engineering



第9卷 第9期

Vol.9 No.9

中国科学院 主办  
生态环境研究中心  
科学出版社 出版

9  
2015

## 目 次

### 水 污 染 防 治

紫外线消毒对3种大肠杆菌的灭活效果和耐药性影响 .....	张崇森	庄凯	巨欣	王晓昌(4097)
强化除磷型 A/O-MBR 工艺运行稳定性 .....	任金柱	李军	王朝朝	刘彬 高金华 常江(4102)
超声波紫外线一体化推流式反应器中试装置用于污水消毒 .....				
.....	郭浩	周瑛	周晓琴	李子富 闫圆圆 靳昕(4107)
Ca <sup>2+</sup> 强化短程硝化颗粒污泥培养 .....	吕永涛	贾燕妮	鞠恺	赵洁 苗瑞 王磊(4112)
猪场废水厌氧自电解处理过程中关键参数优化 .....	王云	朱能武	沈伟航	李小虎 吴平霄(4117)
碳纳米管稳定纳米 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 的制备及降解染料橙 II .....		邓景衡	李佳喜	余侃萍 谢建国(4125)
湿式过氧化氢氧化活性艳蓝 KN-R .....	贺玲	刘红玉	杨春平	彭艳蓉 曾光明 王鹏 刘芬(4131)
草皮缓冲带对洱海流域面源污染的削减效果 .....			胡威	王毅力 储昭升(4138)
共培养条件下黄菖蒲和狭叶香蒲对铜绿微囊藻光合系统的影响 .....	陈国元	李青松	谢莆尧	陈燕虹(4145)
Fenton 试剂协同 TiO <sub>2</sub> 光催化降解三氯乙酸及协同机理 .....	王芬	赵宝秀	李想	李伟江 杨龙(4153)
城市大型缓流景观水体流场模拟及人工循环水动力优化 .....		贾泽宇	郑剑锋	孙力平 于静洁(4159)
短程硝化反硝化工艺处理低 C/N 餐厨废水 .....	张周	赵明星	阮文权	缪恒锋 任洪艳 黄振兴(4165)
改性天然菱铁矿去除水中六价铬 .....			周晓倩	郭华明 赵凯(4171)
2种载体对厌氧同步消化、反硝化的影响 .....	冉春秋	邹学军	范立明	崔玉波 周集体(4178)
基于有效去除铅(II)的中孔炭乙二胺改性及影响因素分析 .....				
.....	杨美蓉	李坤权	徐恩兵	乔小朵 潘根兴 郑正(4185)
城市污水处理过程中不同形态氮类营养物的转化特性 .....			金鹏康	宋利 任武昂(4193)
曝气对潜流人工湿地中木本植物的影响 .....	陈永华	吴晓芙	纪智慧	马群 陈明利(4199)
变权组合模型在景观水体水质模拟中的应用 .....			赵加斌	赵新华 彭森(4206)
鱼菜共生系统氮素迁移转化的研究与优化 .....	邹艺娜	胡振	张建	谢慧君 梁爽(4211)
基于虚拟治理成本法的生态环境损害量化评估 .....	蔡锋	陈刚才	彭枫	杨清玲 赵士波 鲜思淑 吴飞(4217)
漂浮型可见光催化剂 Fe-N-TiO <sub>2</sub> /FP-CTS 的制备及其对溶解性柴油的降解 .....				
.....	黄嘉瑜	王学江	卜云洁	张晶 马荣荣 赵建夫(4223)
非晶态 Co <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 的制备及对水中五氯苯酚的吸附 .....		孙梦圆	崔春月	吴娟 宋姿蓉(4228)
pH 对同步硝化反硝化生物膜内溶解氧分布的影响 .....			黄胜娟	荣宏伟 林孟霞(4233)
稻壳制备介孔状二氧化硅的光催化性 .....			穆浩荣	张玲玲 白淑琴(4239)
玉米秆碳源去除地下水硝酸盐 .....		李同燕	李文奇	胡伟武 冯传平(4245)
提高低 C/N 值农村生活污水中 TN 的去除效果 .....	匡武	王翔宇	周其胤	杨远盛(4252)
油田聚驱采出液乳化特性及其破乳-絮凝 .....	翁艺斌	阎光绪	李敏	翟星月 郭绍辉 张佩佩(4259)
西安某人工湖水水质时空分布特征及其荧光特性 .....		于佳真	王晓昌	薛涛 陈荣(4265)
改性钙基蒙脱土酸性条件下吸附油酸钠 .....	任瑞晨	张乾伟	石倩倩	李彩霞 王秀兰 孟媛媛(4273)
天然沸石对海水中氨氮的吸附特性 .....	王文华	赵瑾	张晓青	成玉 王静 张雨山 李陆杨(4281)
微孔曝气器脉冲式充氧效果 .....		徐鹏	单继宏	金晓航 于江忠 孙毅 张建中(4287)
厌氧、好氧、厌氧/好氧交替状态对活性污泥性质的影响 .....		杨波	单晓明	田晴 李方 马春燕(4293)
城市人工湖的生态治理 .....		徐后涛	赵凤斌	张玮 王丽卿 郑小燕(4300)
载钴催化剂的制备及对染料降解 .....	李洁冰	李玉龙	Asif Hussain	王瑾 李登新(4309)
低温季大型表流湿地对微污染水体脱氮效果及优化运行 .....				
.....	左倬	仓基俊	朱雪诞	成必新 胡伟 商志清 卿杰(4314)
沸石负载高锰酸钾去除低浓度氨氮 .....	郭华	王军林	张小燕	王娜 刘俊良(4321)
2-乙基蒽醌修饰石墨毡催化电极电化学降解土霉素废水二级出水 .....				
.....	李贵霞	岳琳	潘贵芳	刘艳芳 李伟 李再兴(4326)
抗菌剂三氯卡班在水溶液中的光降解 .....		冯振涛	刘海津	汪应灵 冯家豪(4333)
磁性水滑石快速吸附水体中 Cu(II) 离子 .....	张琪	罗琳	张嘉超	刘武嫦 胡伟斌(4339)
零价铁对水中六价铬还原性能及沉淀污泥中铬的固定化 .....	陈忠林	李金春子	沈吉敏	王斌远 樊磊涛(4345)
椰壳活性炭对水中 N-DBP 前体物的吸附 .....			张一凡	金腊华 周元(4353)

混凝和活性炭吸附深度处理制药废水中有机物去除特征 .....	崔凤国	杨 鹏	张伟军	王东升(4359)
Fenton 试剂氧化处理火炸药污染土壤淋洗液 .....	薛江鹏	王建中	赵泉林	王中友 叶正芳(4365)
微波法对吸附扑热息痛废水活性炭的再生 .....	吴 坚	夏洪应	彭金辉	张利波 郑照强 张声洲(4371)
ES 稳定重金属污染底泥效果 .....	蒋玉广	袁珊珊	杨 伟	梁静波 巢军委(4376)
<i>Halothiobacillus neapolitanus</i> 脱硫性能及限制性因素影响 .....			冯守帅	陈金才 杨海麟(4385)
曝气速率对附加微通道湍流促进器 SMBR 流体动力学性能的影响 .....			解 芳	王建敏 刘进荣(4391)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>0</sup> 、H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>2+</sup> 、H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>3+</sup> 3种体系处理印染废水 .....			姚 兴	颜幼平 冯 霞(4398)
以游泳馆污水为处理对象的 SBR 中不同污泥负荷下氨氧化菌群落的演变 .....				
.....	薛士琼	孙宝盛	于凤庆	王明圆 李 恺 薛圆圆(4403)
环糊精改性蛭石对水中 Cr(VI) 的吸附 .....			张太亮	吴 凤 阳 萍 欧阳斌(4409)
滤材的表面改性对淤泥脱水过程中渗透性能的影响 .....			浩 婷	王 曦 周 颜 吴 燕(4415)
不同混凝剂处理低温低浊水 .....				洪 云 徐 慧(4421)
SMBBR 工艺不同填料处理生活污水 .....	李卫平	李 杰	朱浩君	杨文焕 敬双怡 殷震育 刘 燕(4427)

## 大气污染防治

煤矿井下高压喷雾雾化特性研究 .....	王鹏飞	刘荣华	汤 梦	张 文 桂 哲(4433)
露天堆场防风抑尘网遮蔽效果的数值模拟 .....			潘武轩	宋翀芳 何鸿展(4440)
TEPA/TETA 改性 SBA-15 对 CO <sub>2</sub> 吸附性能的影响 .....			魏建文	和凯凯 孟令硕 廖 雷(4447)
改性粉煤灰基吸附剂烟气脱汞 .....			郑慧敏	刘清才 王 铸 孟 飞 牛德良(4453)
改性 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 脱硫剂脱除 H <sub>2</sub> S 反应特性 .....	沈洪波	张 辉	刘应书	李皓琰 张 贺 郝智天(4458)
一株鱼粉加工硫化氢恶臭气体脱除菌株的分离与鉴定 .....			孙佩璇	娄永江 庄荣玉 严小军(4465)
北京市近 12 年空气污染变化特征及其与气象要素的相关性分析 .....	谢志英	刘 浩	唐新明	李腾腾 张文君(4471)
循环灰加湿量对密相塔半干法脱硫效率的影响 .....			韩剑宏	黄永海 卢熙宁 童震松(4479)
折流式反应器空气净化效果 .....			刘 鹏	郑 洁 宋雪瑞 王小艳(4483)

## 固体废物处置

市政污泥干化动力学研究 .....	范海宏	武亚磊	李斌斌	马 增(4488)
响应曲面法优化 CO <sub>2</sub> 活化制备夏威夷坚果壳基活性炭 .....	程 松	张利波	夏洪应	彭金辉 张声洲 周朝金(4495)
胞外聚合物对生物浸出线路板金属粉末中铜的作用 .....			杨 崇	朱能武 崔佳莹 吴平霄(4503)
微波超声协同处理废弃印刷线路板中非金属 .....			蔡丽楠	殷 进 张 桐 孔晓露(4509)
水淬钢渣碳化固定 CO <sub>2</sub> .....	涂茂霞	雷 泽	吕晓芳	赵宏欣 王丽娜 张军玲 陈德胜 宋文婉 齐 涛(4514)
O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> 气氛下市政污泥混煤燃烧及动力学特性 .....			邵志伟	黄亚继 严玉朋 刘长奇(4519)
提高硅钙渣胶凝活性的热活化实验 .....			杨志杰	孙俊民 张战军 苗瑞平(4526)
医疗废物处理中生物指示剂湿热灭菌动力学方程 .....			靳登超	李 阳 鲍振博 刘 娜(4531)
三七渣固态发酵生产康宁木霉生防菌 .....	谭显东	王君君	王 浪	羊依金 郭俊元 彭 兰 覃璐琳(4535)
3 种畜禽粪便产气特性差异分析 .....			陈 芬	李 伟 刘奋武 张吴平 李筱梅 卜玉山(4540)
黑曲霉固态发酵三七渣产纤维素酶 .....			黄 凡	谭显东 胡 伟 羊依金 林巧玉 任晓霞(4547)
常温下好氧颗粒污泥的形成过程及除污性能 .....			姚 力	信 欣 郭 毅 宋 幻 李 姣(4553)
垃圾填埋场 HDPE 膜漏洞密度及其影响因素的统计分析 .....			徐 亚	能昌信 刘玉强 刘景财 董 路(4558)
富集同型产乙酸菌污泥厌氧产酸 .....			王 晋	李习伟 符 波 杨 彦 刘 和(4565)

## 土壤污染防治

海泡石及其复配原位修复镉污染稻田 .....	梁学峰	韩 君	徐应明	谭适娟 雷 勇 罗文军(4571)
水泥固封镉污染土离子释放规律与微观结构 .....				董祯琴 陆海军 李继祥(4578)

## 环境生物技术

嗜酸氧化亚铁硫杆菌脱煤矸石中硫影响因素的筛选及条件优化 .....				
.....	赵尚明	何 环	于忠琦	黄冠华 冷云伟 陶秀祥(4585)
高岭土固定 GY2B 优化其降解性能 .....			李跃武	吴平霄 李丽萍 党 志(4591)

## 环境 监 测

成都市道路细颗粒物污染特征 .....	袁小燕	叶芝祥	杨怀金	张 菊(4598)
基于远程图像色度的点源水质监测方法 .....			李 文	杨守波 罗学科(4603)
海洋石油工程新型溢油监测系统研究 .....			隋迎光	彭吉友 刘志明 任 华(4609)

# 城市污水处理过程中不同形态氮类营养物的转化特性

金鹏康 宋利 任武昂

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院,西安 710055)

**摘要** 针对不同形态氮类营养物在城市污水处理系统中迁移转化机理尚不明确这一问题,通过现场监测和实验室模拟分析,研究不同形态氮类营养物在整个城市污水处理系统(A/A/O工艺)中的转化特性。研究表明,在原污水总氮中溶解态氮和颗粒态氮比例相当,浓度分别为39.28 mg/L和41.24 mg/L,无机氮是溶解态氮的主要成分,比例占93.2% (36.61 mg/L),而有机氮含量极少,仅为2.67 mg/L。在颗粒态氮中有机氮比重很大,约占96.58% (39.83 mg/L)。在整个一级处理过程中溶解态氮变化量很小,而颗粒态有机氮减少了45%,总氮降低主要是由于颗粒态有机氮通过沉淀作用去除而实现的。现场监测和模拟实验结果表明,溶解性有机氮在厌氧区和缺氧区中由于被厌氧微生物降解而大幅度减少,而在好氧区却有一定程度的增加。二级出水中的氮主要还是以无机氮为主,可通过进一步优化工艺参数来强化系统硝化/反硝化作用,去除污水中残留的无机氮。

**关键词** 氮类营养物 城市污水处理系统 转化特性

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2015)09-4193-06

## Transformation characteristics of different forms of nitrogen nutrients in process of wastewater treatment

Jin Pengkang Song Li Ren Wuang

(School of Environmental & Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract** The aim of this study was to investigate the transformation process of different forms of nitrogen nutrients by filed measurement and simulate test in the whole city sewage treatment (A/A/O) system. The study showed that influent dissolved nitrogen and particulate nitrogen proportion were almost the same, concentrations of 39.28 mg/L and 41.24 mg/L, respectively. Dissolved nitrogen was mainly composed of dissolved inorganic nitrogen, which portion constituted 93.2% (36.61 mg/L), but dissolved organic nitrogen concentration was very low (2.67 mg/L). The particulate organic nitrogen portion constituted 96.26% of the particulate nitrogen. Dissolved nitrogen changes was very small in the process of the whole primary treatment, but particulate organic nitrogen decreased 45%. Particulate organic nitrogen was removed due to precipitation, which resulted in lower total nitrogen. Filed measurement and simulate test showed that dissolved organic nitrogen was significantly reduced by anaerobic microbial degradation in the anaerobic and anoxic compartments of the secondary treatment, whereas a slightly increase of dissolved organic nitrogen concentrations was observed in the aerobic compartment. Secondary effluent nitrogen mainly composed of inorganic nitrogen, through the further optimization of process parameters, we can enhance system nitrification/denitrification to remove the residue of inorganic nitrogen in the wastewater.

**Key words** nitrogennutrients; urban sewage treatment system; transformation process

城市污水中的氮类营养物可分为有机氮和无机氮两大类,其中有机氮可分为:颗粒态有机氮(PON)和溶解态有机氮(DON)2种;无机氮包括氨氮( $\text{NH}_3\text{-N}$ )、硝态氮( $\text{NO}_3\text{-N}$ )和亚硝态氮( $\text{NO}_2\text{-N}$ )。污水进入二级生物处理系统(AAO、氧化沟、SBR等)后,无机氮元素在硝化/反硝化细菌作用下转化

**基金项目:**国家自然科学基金(51178376);国家水体污染控制与治理科技重大专项(2011ZX07302-001);西安市科技计划项目(CX12160)

**收稿日期:**2014-09-29; **修订日期:**2014-11-28

**作者简介:**金鹏康(1974—),男,博士,教授,主要从事水和废水的深度处理技术研究。E-mail: pkjin@hotmail.com

成  $N_2$  排出系统<sup>[1]</sup>。随着我国水环境质量的持续恶化<sup>[2]</sup>,已有的标准和规范对污水厂出水总氮排放量的控制愈加严格<sup>[3]</sup>;为此研究人员针对污水处理工艺和系统操作参数进行大量的研究并进行了改进与优化,确保处理水总氮指标能达到排放标准<sup>[4-6]</sup>,但对处理水中氮营养盐的赋存形态却少有研究。与此同时,污水厂进水中的有机氮、无机氮在污水处理过程中不同工艺单元内的去除规律和转化特性,迄今为止鲜有文献报道。

基于此,本文以采用 A/A/O 生物处理工艺的西安市某污水处理厂为研究对象,通过对污水处理工艺过程中氮元素赋存形态进行分析,以期揭示氮元素在

污水处理过程中的迁移转化规律,对今后污水处理厂出水 TN 排放指标的进一步控制具有理论参考意义。

## 1 研究方法

### 1.1 分析方法

该实验所用水样取自西安市第五污水处理厂,该水厂采用 A/A/O 处理工艺,处理规模约每天 20 万 t,生物池采用微孔曝气,有效水深 8.0 m,生物池水力停留时间 16.5 h(其中厌氧池 2 h,缺氧池 5.5 h,好氧池 9 h)。污水厂处理流程以及取样点如图 1 所示。此次研究选择细格栅出水作为系统总进水,二沉池出水作为总出水。

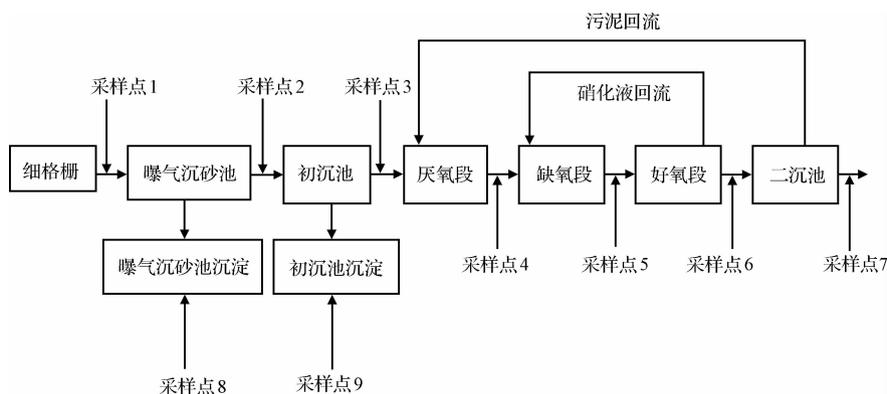


图 1 污水厂处理流程和取样点

Fig. 1 Sewage treatment plant processes and sampling points

污水中不同形态氮营养物组分之间关系如图 2 所示,其中颗粒态氮 (particulate nitrogen, PN) 和溶解态氮 (dissolved nitrogen, DN) 用孔径为  $0.45 \mu\text{m}$  滤膜区分。溶解态氮又包括溶解态有机氮 (dissolved-organic nitrogen, DON) 和溶解态无机氮 (dissolved inorganic nitrogen, DIN); 颗粒态氮包括颗粒态有机氮 (particulate organic nitrogen, PON) 和少量吸附在颗粒上的溶解态氮,称为吸附性氮 (adsorption of nitrogen, AN)。

取 500 mL 污水,首先混匀后测量污水总氮 ( $TN_1$ ) 和 SS,再取 100 mL 水样用  $0.45 \mu\text{m}$  滤膜过滤,得到滤液和滤渣两部分。测量滤液中的总氮 ( $TN_2$ ) 和总无机氮 (TIN),包括  $NH_4^+-N$ 、 $NO_3^- -N$  和  $NO_2^- -N$ 。将滤渣用纯水洗脱到 100 mL 的锥形瓶中,在  $25^\circ\text{C}$ 、200 r/min 下震荡 2 h,再 5 000 r/min 离心  $5 \text{ min}$ <sup>[7]</sup>,最后定容到 100 mL,过  $0.45 \mu\text{m}$  滤膜,测量滤液中的  $TN_3$ 、 $NH_4^+-N$ 、 $NO_3^- -N$  和  $NO_2^- -N$ ,滤液中的氮叫做吸附性氮 (AN)。

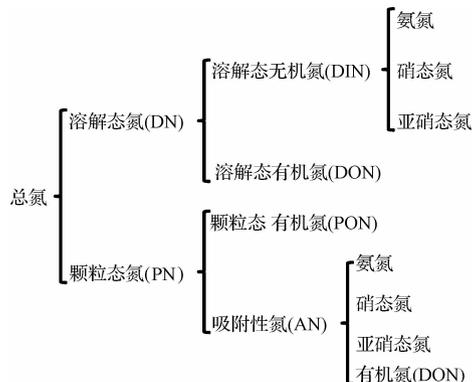


图 2 不同形态氮组分关系图

Fig. 2 Different types of nitrogen component diagram

$$PN = TN_1 - TN_2 \quad DN = TN_2 \quad AN = TN_3$$

$$PON = PN - AN \quad DON = TN_2 - TIN$$

$TN$ 、 $NH_4^+-N$ 、 $NO_3^- -N$  和  $NO_2^- -N$  的测量均采用北京谱析通用仪器有限责任公司生产的 TU-1901 双光束紫外可见分光光度计,测量方法均采用《水和废水监测分析方法》(第 4 版)上的标准方法,使用试

剂均为标准方法上要求的优级纯试剂。

沉淀泥中总氮包括 PON 和一部分吸附在颗粒表面的 AN。取曝气沉砂池和初沉池的沉淀物,在 50℃ 下恒温烘干,研磨成粉末状,称 0.2 g,分成 2 等份。第 1 部分加入 50 mL 的水,移到 100 mL 的锥形瓶中,在 25℃、200 r/min 下震荡 2 h,再 5 000 r/min 离心 5 min,最后定容到 100 mL,过 0.45 μm 滤膜,测量滤液中的 TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N。这部分

氮为吸附性的氮 (AN),其中 DON = TN - NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N - NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N - NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N。第 2 部分溶于 50 mL 的水,用凯氏定氮法测量凯氏氮 (KN)。PON = KN - NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N - DON。

### 1.2 实验室模拟实验

建立反应器(见图 3),选择与污水厂相同的工艺参数,模拟溶解性有机氮在生物反应池中的降解。取回流污泥作为反应器接种泥,反应器内污水取自初沉池出水,调节 MLSS 在 4 000 ~ 5 000 mg/L 之间。

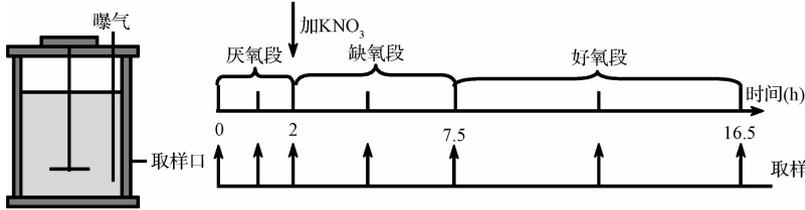


图 3 反应器以及反应时间和取样时间

Fig. 3 Reactor, reaction time and sampling time

在恒温条件下分 3 个阶段运行,分别是厌氧条件下反应 2 h,缺氧条件下反应 5.5 h,好氧条件下反应 9 h,在反应过程中要持续搅拌。厌氧过程结束后(2 h),向反应器中加入大约 10 mg/L KNO<sub>3</sub>,并且在好氧段开始时,打开曝气装置,使容器中溶解氧达到 2 mg/L 以上,以模拟整个 A/A/O 处理过程。取样时间如图 3 所示,并用 0.45 μm 滤膜过滤,测量 TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N。

## 2 结果与讨论

### 2.1 一级处理系统中氮营养物的分布

#### 2.1.1 污水中氮组分分布

从表 1 可以看出,进水总氮含量为 (80.52 ± 1.4) mg/L,PN 和 DN 含量分别为 41.24 mg/L 和 39.28 mg/L,比例分别为 51.24% 和 48.78%。不同形态氮类营养物分布如表 1 所示,其中 DIN 是 DN 的主要成分,比例占 93.2% (36.61 mg/L),其中以氨氮为主。而 DN 中有机氮 (DON) 含量很少,仅有 2.67 mg/L。PN 主要由 PON 组成,所占比例高达 96.58%,其余 3.42% 为 AN。AN 主要有硝态氮和 DON,分别占 AN 的 53.19% 和 27.66%,而氨氮在 AN 的含量极少。

曝气沉砂池出水氮组分分布和进水中相似,进水总氮含量为 73.43 mg/L,PN 和 DN 含量分别为 35.04 mg/L 和 38.39 mg/L,比例分别为 47.72% 和 52.28%。不同形态氮类营养物分布如表 2 所示,其中 DN 主要还是以氨氮为主,PN 比进水减少了

6.2 mg/L,但吸附性氮 (AN) 含量几乎没有变化。

在一级出水(初沉池出水)中总氮含量为 60.46 mg/L,PN 和 DN 还是以 PON 和 DIN 为主,所占比例均大于 90%。出水中总有机氮 (PON + DON) 浓度为 24.3 mg/L,占总氮的 40.19%,其中又以 PON 为主,大约占 TON 的 90.16% (见表 3)。这与 Czerwionka<sup>[8]</sup>的研究结果相吻合,其对 8 个污水厂 (BNR 工艺) 一级出水中有机氮进行了调查,研究表明,一级出水中总有机氮 (TON) 含量在 15.5 ~ 35 mg/L 之间,占总氮 24% ~ 45%,其中主要以 PON 为主,均占 50% 以上,最大可达到 78%。

#### 2.1.2 沉淀泥中氮组分分布

沉淀泥中的氮类营养物可以分为 PON 和 AN,同时吸附性氮 (AN) 包括 DON、氨氮、硝态氮和亚硝态氮。实验结果表明,曝气沉砂池和初沉池污泥 TN 分别为 12.66 mg/g 和 39.1 mg/g。沉淀污泥中的氮

表 1 原污水中不同形态氮营养物分布状况

Table 1 Different types of nitrogen nutrient distribution in raw sewage

氮形态	浓度 (mg/L)	百分比 (%)	
溶解态有机氮	2.67	6.8	
溶解态氮	氨氮	35.64	90.73
	溶解态无机氮 硝态氮	0.94	2.39
	亚硝态氮	0.03	0.08
颗粒态有机氮	39.83	96.58	
颗粒态氮	有机氮	0.39	0.94
	氨氮	0.24	0.58
	吸附性氮 硝态氮	0.75	1.82
	亚硝态氮	0.03	0.08

表2 曝气沉砂池出水中不同形态氮营养物分布状况

Table 2 Different types of nitrogen nutrient distribution in aerated grit chamber

氮形态		浓度 (mg/L)	百分比 (%)
溶解态有机氮		2.45	6.38
溶解态氮	氨氮	34.87	90.83
	溶解态无机氮 硝态氮	1.05	2.73
	亚硝态氮	0.02	0.06
颗粒态有机氮		33.74	96.29
颗粒态氮	有机氮	0.54	1.54
	氨氮	0.19	0.54
	吸附性氮 硝态氮	0.56	1.6
	亚硝态氮	0.01	0.03

表3 初沉池出水中不同形态氮营养物分布状况

Table 3 Different types of nitrogen nutrient distribution in primary settling tank

氮形态		浓度 (mg/L)	百分比 (%)
溶解态有机氮		2.39	6.38
溶解态氮	氨氮	33.8	90.18
	溶解态无机氮 硝态氮	1.27	3.38
	亚硝态氮	0.02	0.06
颗粒态有机氮		21.91	95.34
颗粒态氮	有机氮	—	—
	氨氮	0.53	2.30
	吸附性氮 硝态氮	0.53	2.30
	亚硝态氮	0.01	0.06

主要以 PON 形式存在,在曝气沉砂池沉淀和初沉池沉淀中 PON 分别占总氮的 94.31% (11.94 mg/g) 和 70.69% (31.16 mg/g)。而 AN 含量很低,其中主要是硝态氮和 DON,在曝气沉砂池沉淀物中几乎没有氨氮和亚硝态氮存在,在初沉池沉淀中氨氮所占比例不到 20%,亚硝态氮几乎没有(见表 4)。结合表 1、表 2 和表 3 可以看出,AN 主要是有机氮和硝态氮,氨氮含量极少,亚硝态氮几乎没有。

表4 沉淀泥中不同形态氮营养物分布状况

Table 4 Different types of nitrogen nutrient distribution in precipitation mud

氮形态		浓度 (mg/g)	百分比 (%)
颗粒态有机氮		11.94	94.31
曝气沉砂池沉淀	有机氮	0.22	1.74
	吸附性氮 氨氮	—	—
	硝态氮	0.5	3.95
	亚硝态氮	—	—
颗粒态有机氮		31.16	70.69
初沉池沉淀	有机氮	3.61	9.23
	氨氮	1.41	3.61
	硝态氮	2.89	7.39
	亚硝态氮	0.03	0.08

## 2.2 一级处理系统中有机氮去除途径分析

整个一级处理过程中 TN 及其组分的变化情况如图 4 所示。进水总氮在经过曝气沉砂池和初沉池后,分别减少了 7.09 mg/L 和 12.96 mg/L,其中 PN 分别减少了 6.2 mg/L 和 12.06 mg/L, DON 和氨氮等含量变化不大。

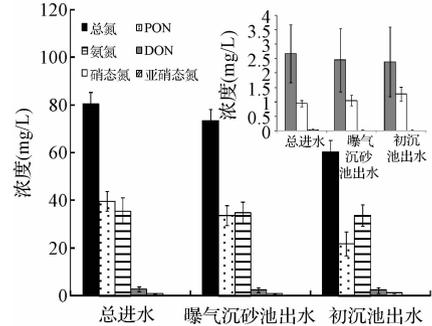


图4 一级处理中氮组分浓度

Fig. 4 Nitrogen fractions in primary treatment

表 5 为对曝气沉砂池及初沉池氮平衡的分析结果,经过实验测量得出曝气沉砂池沉淀泥中 TN 为 12.66 mg N/g,换算为每升污水的沉淀量为 6.51 mg N/L ( $\Delta \text{TN} \times \Delta \text{SS}/1000$ ),同理初沉池沉淀总氮为 12.51 mg N/L。结合图 4 可知,进水总氮在经过曝气沉砂池和初沉池后,分别减少了 7.09 mg/L 和 12.96 mg/L,与沉淀泥中氮含量相差不大,因此可知,一级处理过程中污水 TN 减少是由于 PON 的物理沉淀作用去除的。Sattayatewa. 等<sup>[9]</sup>和 Mulholland 等<sup>[10]</sup>研究表明,PON 能够通过沉淀、混凝、过滤和膜分离去除,在一级处理中 PON 被去除 50% 左右, DON 只能在生物工艺中通过氨化和水解去除。

表5 一级处理中氮平衡分析

Table 5 Nitrogen balance analysis in the primary treatment

采样位置	指标	进水	出水	变化量
曝气沉砂池	SS (mg/L)	1 186	672	514
	污水中 TN (mg N/L)	80.52	73.43	7.09
	沉淀泥中 TN (mg N/L)	—	—	6.51
初沉池	SS (mg/L)	672	352	320
	污水中 TN (mg N/L)	73.43	60.46	12.96
	沉淀泥中 TN (mg N/L)	—	—	12.51

注:沉淀污泥中 TN 量为换算后的浓度。

## 2.3 二级处理中溶解性有机氮去除途径分析

图 5 可以看出,大约有 2.46 mg/L DON 进入生

物反应池, DON 在厌氧区间和缺氧区间分别减少了 1.02 mg/L 和 1.25 mg/L, 而在好氧从区间 DON 浓度增加到 1.88 mg/L。Makinia 等<sup>[11]</sup>在美国对 2 个污水厂(BNR 工艺)进行研究同样也发现了这一现象。此外,生物池内的消化液以及污泥回流会对有机氮降解产生一定的影响,为了避免这种影响采用模拟试验来研究有机氮在生物池降解过程,同时温度、水利停留时间(SRT)和 pH 对有机氮降解产生一定影响<sup>[12]</sup>,因此反应器要保持运行参数与污水厂一致。

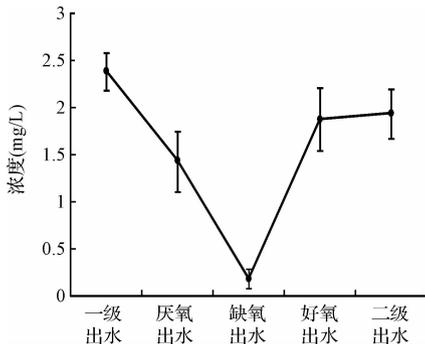


图5 DON在二级处理系统中浓度变化

Fig. 5 DON concentrations changes in the secondary treatment

实验结果表明, DON 在厌氧区间和缺氧区间大量降解,而在好氧区间 DON 出现了一定程度的增加(见图6),这种变化趋势和污水厂相类似。由于 DON 在厌氧环境中可被降解为小分子物质而被微生物吸收利用<sup>[13,14]</sup>,因此 DON 在厌氧区间和缺氧区间浓度降低是因为被微生物降解了。而好氧区间增加的 DON 可能来源于以下几个方面:(1)由于微生物代谢活动产生了新的有机氮;(2)好氧区间的曝气作用增强了水体扰动与剪切力,使吸附在活性污泥颗粒表面的溶解性有机氮释放到污水中;(3)生物池内的颗粒态有机氮被微生物水解为溶解态有机氮,但是还没有进一步转化为氨氮<sup>[15,16]</sup>。针对好氧区间增加的 DON 还需要进一步研究才能准确了解其来源以及各部分所占比例。

二级出水中的总氮主要还是以无机氮(氨氮和硝态氮)为主,该污水厂二级出水中硝态氮占出水总氮的 65% 以上,而 DON 在整个污水处理过程中变化量很小,出水浓度仅为  $(1.94 \pm 0.26)$  mg/L, 占出水总氮 15% ~ 20%, 同时在生物处理单元会不可避免产生少量的溶解性有机氮,因此为了进一步降低出水总氮,可以通过调整生物处理系统的操作参数(如曝气量、污泥停留时间)以及优化污水进水点

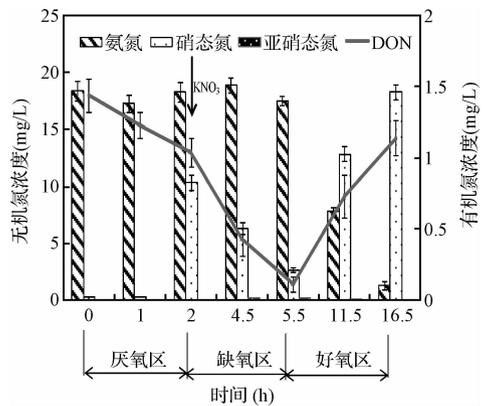


图6 氮在厌氧/缺氧/好氧3个阶段内的变化

Fig. 6 Changes of nitrogen compounds in anaerobic/anoxic/aerobic compartments

位(改为多点进水)等方式强化系统硝化与反硝化作用,去除污水中残留的无机氮营养物质。

### 3 结论

(1)污水中总氮可以分为 DN 和 PN,在总进水中 PN 和 DN 含量分别为 41.24 mg/L 和 39.28 mg/L,比例基本相当。DIN 是 DN 的主要成分,而 DON 含量很少,仅为 2.67 mg/L;PN 主要有 PON 组成,占 96.58% (39.83 mg/L)。

(2)在一级处理过程中, DN 变化量很小,总氮降低主要是由于 PON 通过物理沉降被去除而实现的,大约减少了 17.92 mg/L,去除率为 45%。

(3) DON 在厌氧区间和缺氧区间含量大幅度减少,表明进水中溶解性有机氮可以被微生物降解。

(4)好氧区间 DON 浓度有一定程度增加,说明污水在好氧处理过程中会不可避免地引入含氮有机物,该部分 DON 可能的来源是微生物代谢产物(SMP)、衰亡细胞的自溶以及颗粒态有机氮的水解,需要进一步研究方可确定其来源。

(5)就目前污水厂所执行的 TN 排放标准而言,无机氮( $\text{NH}_3\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ )仍然是处理水中氮元素的主要存在形式。可以通过调整生物处理系统的操作参数(如曝气量、污泥停留时间)以及优化污水进水点位(改为多点进水)等方式强化系统脱氮效果,减小处理水中无机氮残留。

### 参考文献

- [1] 王娟婷,于衍真.城市污水脱氮除磷技术研究进展.中国资源综合利用, 2014, 32(7): 28-31

- Wang Juanting, Yu Yanzhen. Research progress of nitrogen and phosphorus removal in municipal sewage. *China Resources Comprehensive Utilization*, **2014**, 32(7): 28-31 (in Chinese)
- [2] 孟伟. 中国流域水环境污染综合防治战略. *中国环境科学*, **2007**, 27(5): 712-716  
Meng Wei. The strategy of comprehensive pollution prevention and cure of water environment in Chinese watershed. *China Environmental Science*, **2007**, 27(5): 712-716 (in Chinese)
- [3] 余林康. 总氮指标在污水处理中的重要性探讨. *海峡科学*, **2013**, (3): 29-30  
Yu Linkang. TN indicators explore the importance of wastewater treatment. *Straits Science*, **2013**, (3): 29-30 (in Chinese)
- [4] 周永莉, 左椒兰, 李奕君, 等. 废水生物脱氮技术研究进展. *实验科学与技术*, **2014**, 12(3): 10-12  
Zhou Yongli, Zuo Jiaolan, Li Yijun, et al. Research advances of nitrogen removal by biotechnology in wastewater treatment. *Experiment Science and Technology*, **2014**, 12(3): 10-12 (in Chinese)
- [5] 王泽斌, 马云, 马强. 含氮废水生物处理技术与发展趋势. *环境科学与管理*, **2011**, 36(9): 108-112  
Wang Zebin, Ma Yun, Ma Qiang. Advance and trend of biological nitrogen removal technologies in wastewater treatment. *Environmental Science and Management*, **2011**, 36(9): 108-112 (in Chinese)
- [6] 傅刚, 董滨, 周增炎, 等. 倒置 AAO 工艺的设计特点与运行参数. *中国给水排水*, **2004**, 20(9): 53-55  
Fu Gang, Dong Bin, Zhou Zengyan, et al. Design characteristics and operating parameters of inverted AAO process. *China Water & Wastewater*, **2004**, 20(9): 53-55 (in Chinese)
- [7] 赵亚丽. 洱海表层沉积物可溶性有机氮特征及其生物有效性研究. 北京: 中国环境科学研究院硕士学位论文, **2013**  
Zhao Yali. Study on the characteristics and bioavailability of soluble organic nitrogen of surface sediments in Erhai Lake. Beijing: Master Dissertation of Chinese Research Academy of Environment Science, **2013** (in Chinese)
- [8] Czerwionka K., Makinia J., Pagilla K. R., et al. Characteristics and fate of organic nitrogen in municipal biological nutrient removal wastewater treatment plants. *Water Research*, **2012**, 46(7): 2057-2066
- [9] Sattayatewa C., Pagilla K., Sharp R., et al. Fate of organic nitrogen in four biological nutrient removal wastewater treatment plants. *Water Environment Research*, **2012**, 82(12): 2306-2315
- [10] Mulholland M. R., Love N. G., Bronk D. A., et al. Establish a research agenda for assessing the bioavailability of wastewater treatment plant-derived effluent organic nitrogen in treatment systems and receiving waters//Proceedings of the Water Environment Federation, Nutrient Removal. Alexandria, Virginia, USA, **2009**: 13-14
- [11] Mkinia J., Stensel H. D., Czerwionka K., et al. Nitrogen transformations and mass balances in anaerobic/anoxic/aerobic batch experiments with full-scale biomasses from BNR activated sludge systems. *Water Science and Technology*, **2009**, 60(9): 2463-2470
- [12] Dignac M. F., Ginestet P., Rybacki D., et al. Fate of wastewater organic pollution during activated sludge treatment: nature of residual organic matter. *Water Research*, **2000**, 34(17): 4185-4194
- [13] Gulyas H., von Bismarck R., Hemmerling L. Treatment of industrial wastewaters with ozone/hydrogen peroxide. *Water Science and Technology*, **1995**, 32(7): 127-134
- [14] Sharp R., Dubanowitz N., Sattayatewa C., et al. Biodegradability of effluent dissolved organic nitrogen: Impacts of treatment technology, process variables, and other effluent water quality parameters//Proceedings of the Water Environment Federation "Nutrient Removal 2009" Specialty Conference. Washington, DC (USA): Water Environment Federation, **2009**: 1117-1126
- [15] Parkin G. F., McCarty P. L. Production of soluble organic nitrogen during activated sludge treatment. *Journal of Water Pollution Control Federation*, **1981**, 53(1): 99-112
- [16] Parkin G. F., McCarty P. L. A comparison of the characteristics of soluble organic nitrogen in untreated and activated sludge treated wastewaters. *Water Research*, **1981**, 15(1): 139-149