

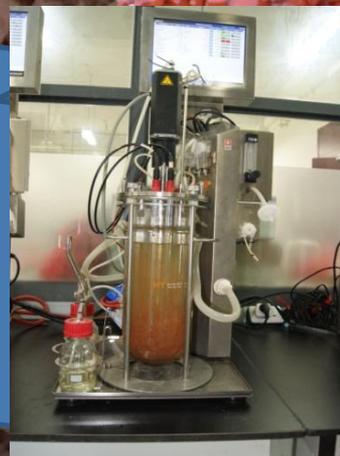
自养生物脱氮技术在高氨 高盐废水中研究与应用

李祥

苏州科技大学环境科学与工程学院
苏州天竣环境科技有限公司

一、废水脱氮研究进展

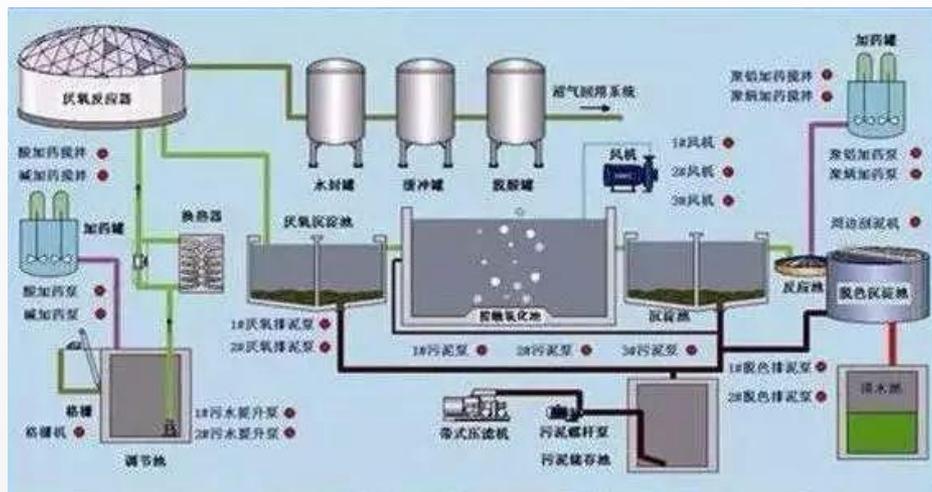
亚硝化膜



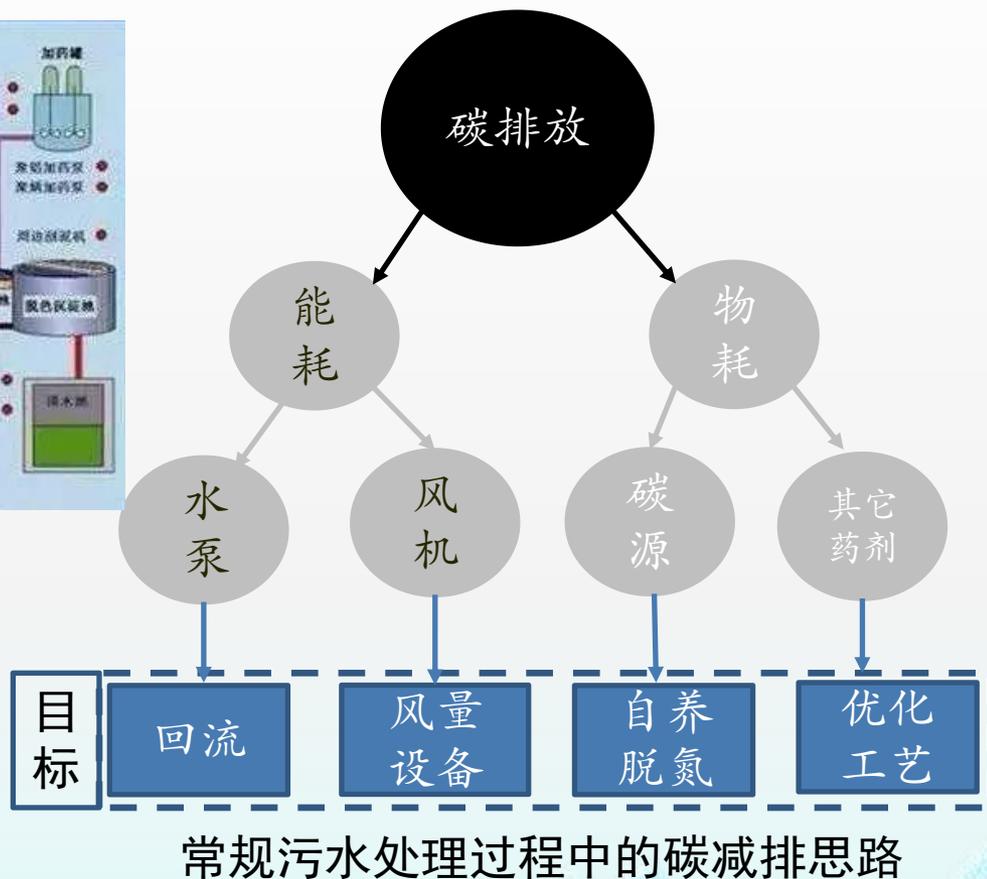
红菌



1.1 “碳达峰、碳中和”下的废水生物脱氮



污水生化处理过程中的碳减排主要体现在原有污水中有机物的能源化，减少脱氮过程碳源的需求，即减少电耗和能耗。



“碳达峰、碳中和”目标的提出，必将推动水污染治理领域诞生新工艺、新产品，缓解目前治污过程高耗能的现状。

1.1 “碳达峰、碳中和”下的废水生物脱氮

氮是大部分污水中的主要污染物之一，常以**氨氮**、**硝酸盐**形式存在。

依据废水中C/N比因地制宜选择工艺。

高C/NH₄⁺比废水：发酵行业，养殖行业

有机物应尽数资源化或能源化，降低其到生化段对氧的消耗，可采用常规A/O工艺实现氮的去除，最好采用**部分亚硝化耦合厌氧氨氧化**脱氮。

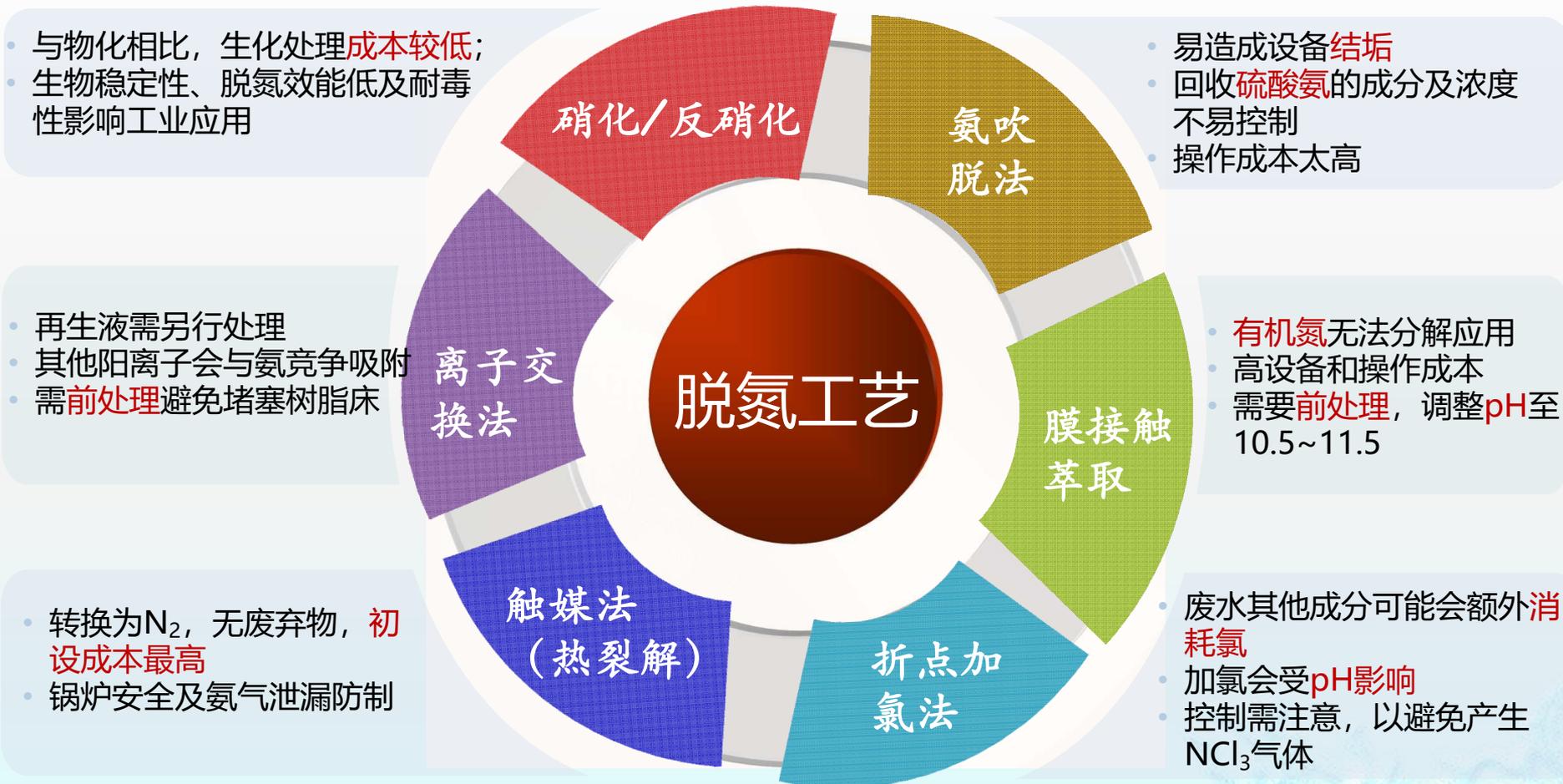
低C/NH₄⁺比废水：老龄垃圾渗滤液、光伏多晶硅废水，半导体脱氨尾气废水

氨氮应尽可能地采用**部分亚硝化厌氧氨氧化工艺**进行高效、低耗的自养脱氮，降低曝气和回流的动力消耗，降低反硝化过程碳源的物耗。

低C/NO₃⁻比废水：尚未达标的生化尾水、光伏单晶硅废水、稀土废水

NO₃⁻导致出水总氮高，额外投加碳源增加碳排，可采用**自养生物脱硝工艺**进行生物脱氮，可采用**硫自养反硝化工艺**（需因地制宜，考虑二次污染）、**铁自养反硝化工艺**。

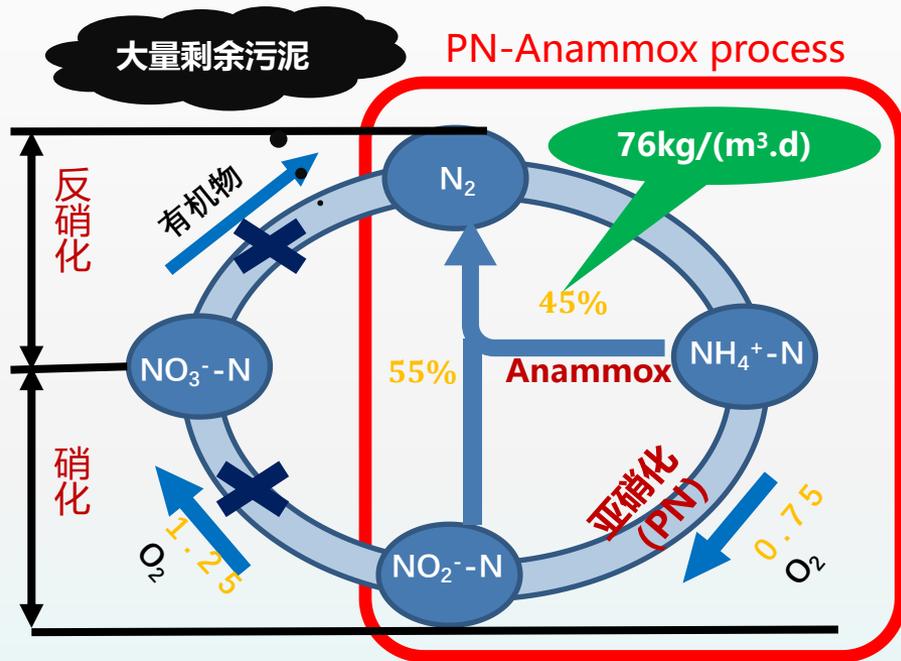
1.2、常见脱氨工艺介绍



针对高氨氮（200~3000mg/L）废水，如何低碳、低耗高效处理一直是研究者、市场关注的焦点。

1.3、厌氧氨氧化基本原理

- **部分亚硝化-厌氧氨氧化**：首先在好氧环境下将50%氨氮氧化为亚硝酸盐，然后氨氮和亚硝酸盐在厌氧环境下转化为氮气的过程。



部分亚硝化-厌氧氨氧化原理示意图

与传统硝化反硝化工艺相比，PN-Anammox具有的优势：

- 氮转化历程短，传统工艺一半的途径；
 - 需氧量低，曝气能耗减少60%以上；
 - 全自养生物工艺，无需有机物参与，减少100%的碳源投加
 - 污泥产量低，大约减少70%的污泥量；
 - 脱氮效能高，传统脱氮的数十倍；
- **部分亚硝化-厌氧氨氧化工艺**可适用于盐度 $< 5\%$ (电导率50000)的废水自养脱氮。

PN-Anammox是最适用于**适度温度 (20~40°C)** 的高氨废水的脱氮处理的新颖技术。

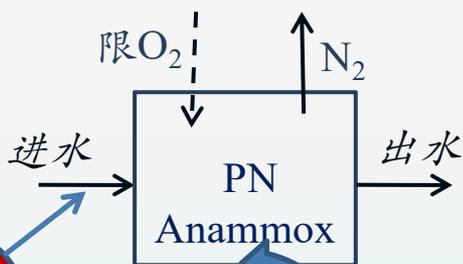
1.4、部分亚硝化-厌氧氨氧化工艺组合形式

耦合形式

一步式

单一反应器内通过低氧环境实现亚硝化和厌氧氨氧化耦合脱氮

脱氮效能 $0.5\sim 1.5\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$



真凑合

当前解决方法

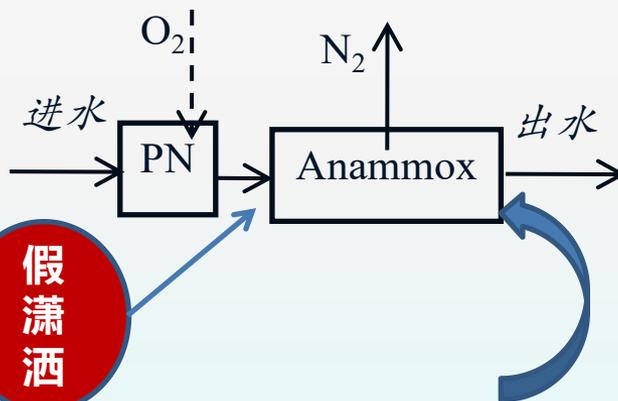
- 一体式：颗粒化污泥，生物膜内外层形成DO浓度梯度。



两布式

分别在好氧和厌氧的两个反应器内实现亚硝化和厌氧氨氧化耦合脱氮

脱氮效能 $0.3\sim 0.71\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$



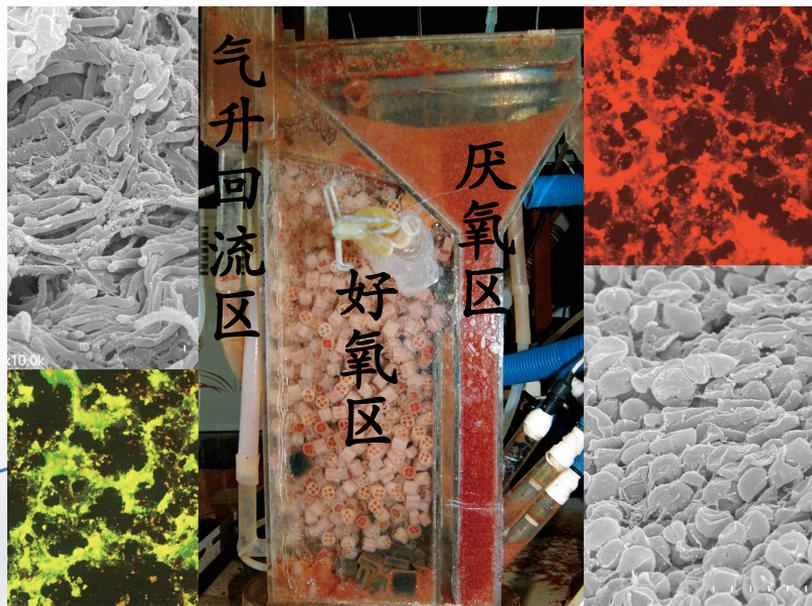
假潇洒

当前解决方法

- PN采用SHARON运行模式；添加酸碱维持碱度。

- 现有工艺的耦合过程并**不能够**实现功能微生物充分地发挥其氮素转化能力。

1.4、1.5步PN-Anammox装备开发



联合工艺脱氮效能达到 $3.1\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 以上, 厌氧氨氧化的脱氮效能 $26.3\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 以上。

自动内回流一体化装置

01

核心

- 无需额外动力消耗形成高回流量(进水流量的10倍以上)

02

回流产生的优势

- 创造出好氧与厌氧区, 供不同微生物生长, 缓解微生物对环境需求的矛盾。
- 有效抑制NOB生长。

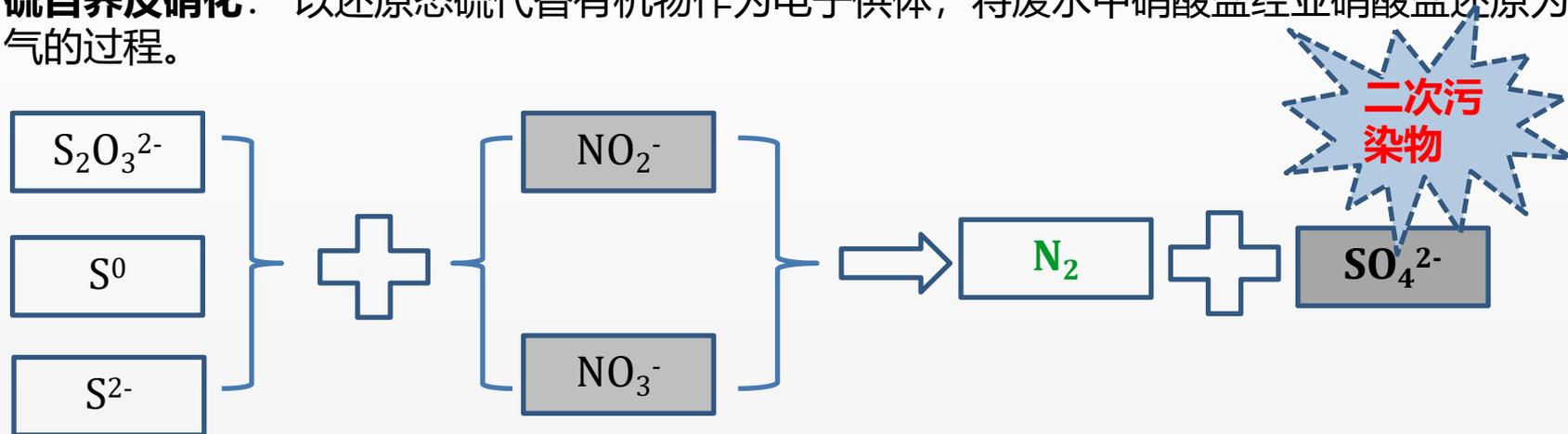
03

优点

- 继承一步式和两步式的优点, 避免了一步式和两步式缺点。

1.5、硫自养反硝化工艺

- **硫自养反硝化**：以还原态硫代替有机物作为电子供体，将废水中硝酸盐经亚硝酸盐还原为氮气的过程。



硫自养反硝化原理示意图

与传统反硝化工艺相比，硫自养具有的优势：

- 脱氮效能不亚于异养反硝化；
- **药剂量少**，不担心过量投加药剂的浪费和COD超标；
- 自养生物脱氮，固定 CO_2 作为碳源；
- **污泥产量低**，大约减少50%的污泥量。
- 硫自养反硝化过程是产酸的过程，与硝化过程配合不好，需要额外投加碱度。

- 硫自养反硝化工艺可适用于盐度 $<5\sim 6\%$ (电导率50000~60000)的废水自养脱氮。

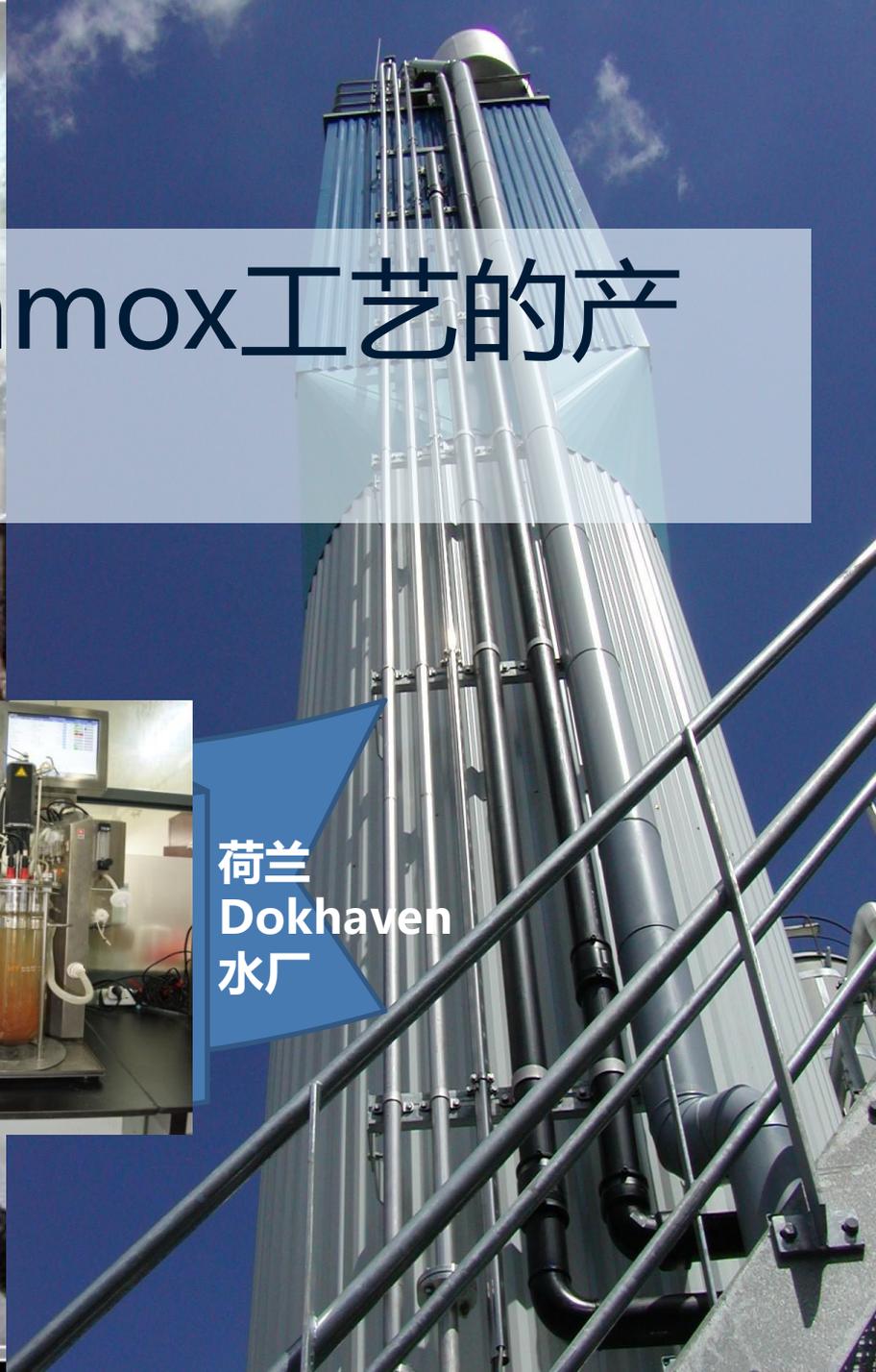
硫自养反硝化很适用于因硝氮引起的总氮超标问题的解决。

二、PN-Anammox工艺的产 学研应用之路

奥地利
Strass
水厂



荷兰
Dokhaven
水厂



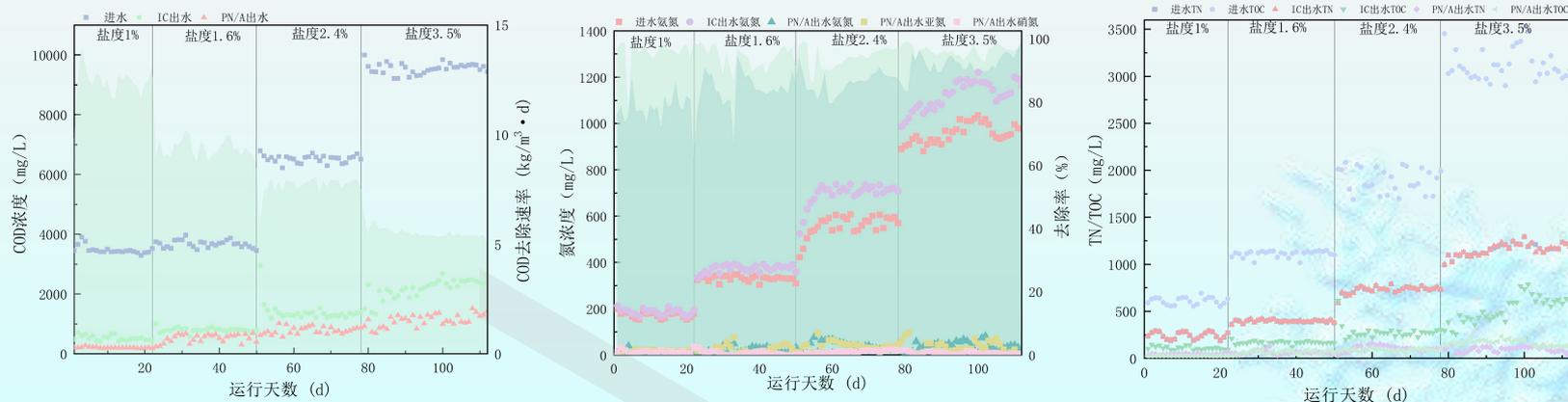
2.1、PN-Anammox应用于高氨高盐工业废水

肠衣废水（肝素钠）：该类废水不仅COD和氨氮浓度均高，而且盐度高、油脂多，原有传统A/O的硝化反硝化工艺需要**大池体**，**高曝气和回流**的动力消耗。

肠衣废水**高效脱氮除碳段**进出水水质表

指标	NH ₄ ⁺ -N mg/L	TN mg/L	COD mg/L	TP mg/L	盐度 %	pH
进水	960	1150	9500	94.2	3.5	7.7~8
出水	<50	<120	<1000	<90	3.2	7.7~8

本工艺通过UASB-PD/PA-PN/AN工艺构建，对污水中有机物和总氮进行快速处理，COD，总氮，氨氮去除率达到85%，80%和92%以上，设计负荷远高于现有设计负荷的4~5倍，大幅降低占地面积和运行成本。



2.2、PN-Anammox应用于中晚期垃圾渗滤液处理

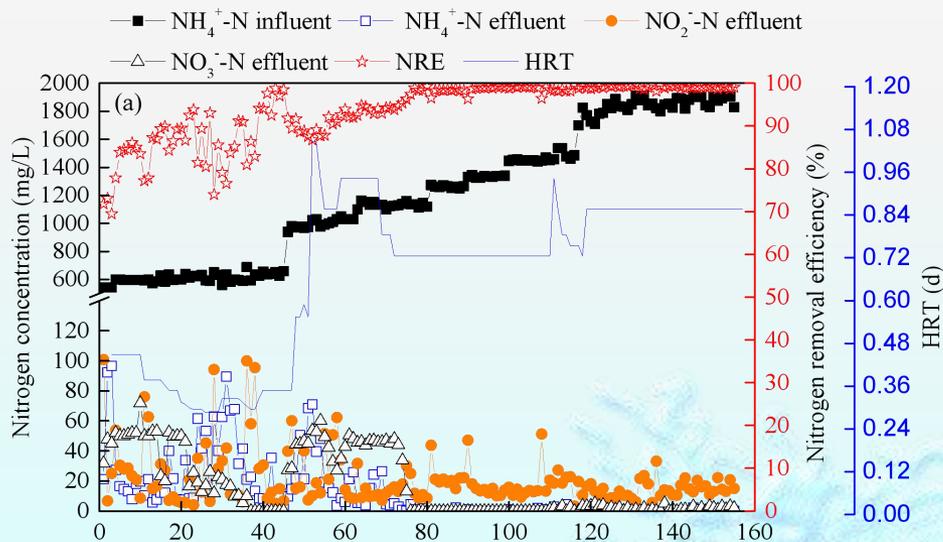
随着诸多填埋场封场，老龄垃圾渗滤液废水有机物浓度逐年下降，可生化性差，氨氮浓度和盐度逐年升高，C/N (0.5~1) 比失衡。

垃圾渗滤液进出水水质表

指标	NH ₄ ⁺ -N mg/L	NO ₂ ⁻ -N mg/L	NO ₃ ⁻ -N mg/L	COD mg/L	BOD ₅ mg/L	碱度 mg/L	盐度 %	pH
进水	1200~1900	0.1~0.5	0.1~0.5	1800~2200	400~500	6000~8000	1.6~1.8	7.7~8.1
出水	10~20	0~2	0~1	1000~1100	0~10	2000~2500	1.3~1.5	7.7~8



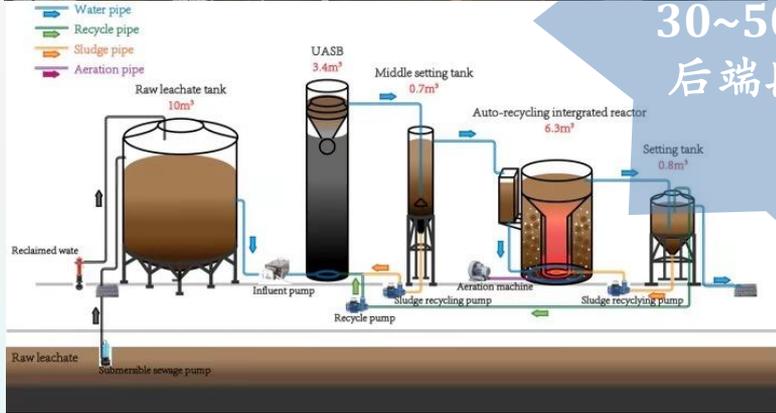
PN-Anammox小试装置



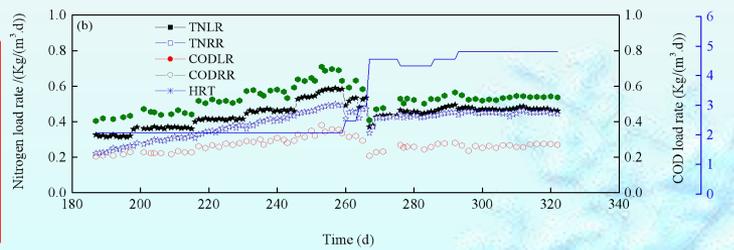
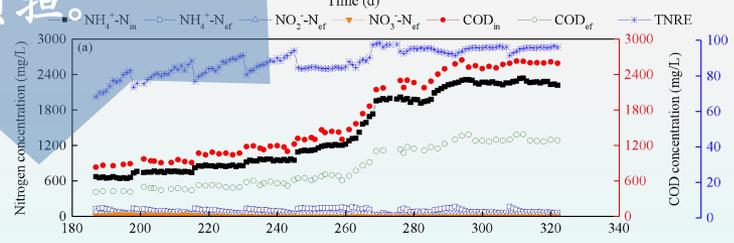
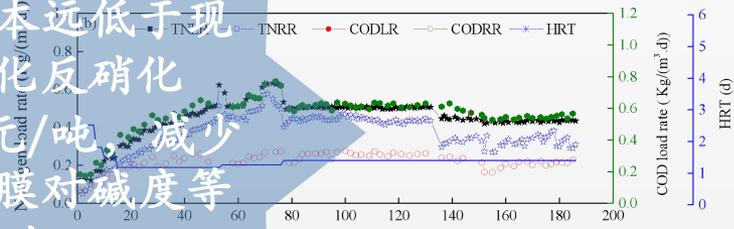
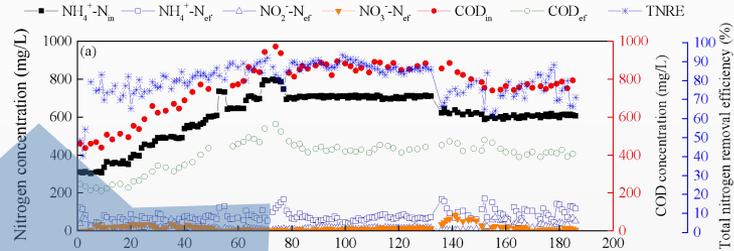
整体工艺脱氮效能变化

▶日处理污水量达到15L，出水总氮20mg/L，脱氮效能稳定在2.1 kg/(m³.d)左右，去除率可达99%。

2.2、PN-Anammox一体化应用于垃圾渗滤液处理



处理成本远低于现有硝化反硝化
30~50元/吨，减少后端段膜对碱度等负担。

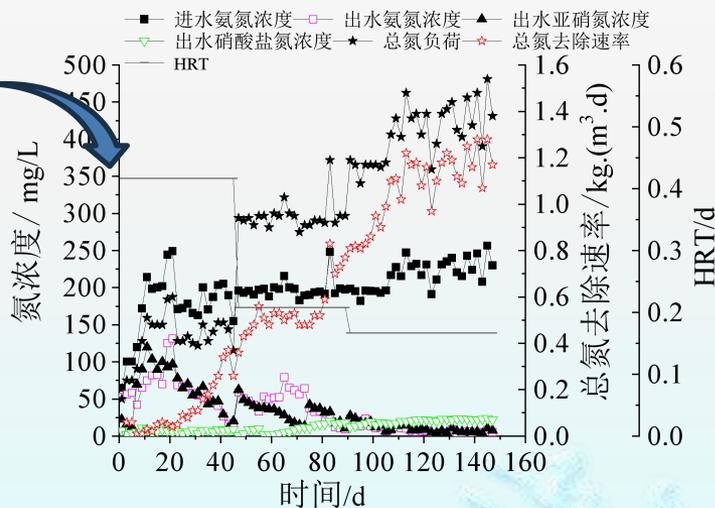


垃圾渗滤液处理，进水总氮2300~2700mg/L，整体NRR 0.5Kg/(m³.d)，厌氧区脱氮能力7 Kg/(m³.d)。脱氮成本主要来源于进水泵和鼓风机的电耗，约4~5元/吨水。

依托化学氧化处理形成一套无膜化、低碳高效的垃圾渗滤液处理工艺，不依赖碳源脱氮，无膜浓相产生。

2.3、PN-Anammox一体化应用于PCB废水处理

印刷电路板（PCB）是电子设备制造的核心部件，广泛应用于各种电子设备，加工过程中所涉及的**蚀刻阶段**和**清洗步骤**会产生**PCB废水**。主要成分为**氨水**，**铜和镍等金属离子**。



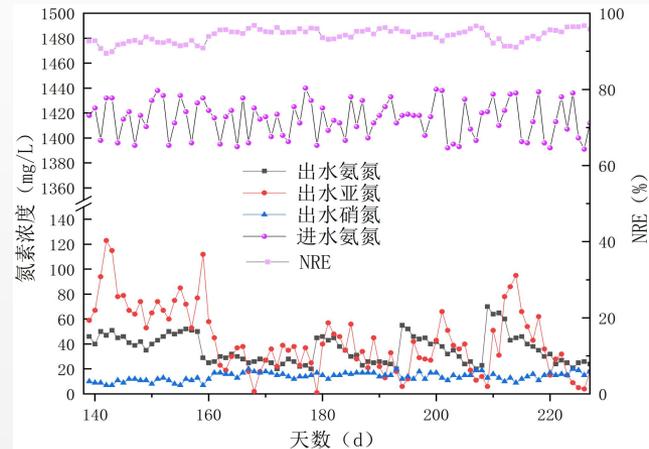
- 无需投加有机碳源，脱氮效能稳定在1.2 kg/(m³·d)左右。

2.4、PN-Anammox应用于厨余发酵液处理

随着垃圾分类的倡导，垃圾中大量有机质转向餐厨废水处理厂，对油、脂等高附加价值物质进行回收后，废水C/N比下降，氨氮浓度高，传统硝化反硝化脱氮还需额外反哺碳源。

➤ 结果：

进水COD浓度1800mg/L左右， $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度在1450~1500mg/L左右，COD/TN在1左右，出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、总氮去除率达到95%以上，工艺的总氮去除速率稳定在0.54kg/(m³·d)。



厨余中试装置现场



检测
TEST REPORT

报告编号: K

检测类别: 《苏州华益 民氢部

项目名称: 民氢部

委托单位: 民氢部

江苏民氢部

KANG DA TESTING 检测

二〇二

JNSD-A2100-E13 KJ02H23507

表 1 废水检测结果表

采样地点	样品名称	检测项目	单位	检测结果	限值
中试反应器出水 (H2133070002)	长、宽、高	氨氮	mg/L	0.025	955
		总氮	mg/L	0.01	38.1
		化学需氧量	mg/L	0.05	1.14e+02
		氨氮	mg/L	4	5.60e+02
		氨氮	mg/L	0.025	0.400
		氨氮	mg/L	0.01	0.17
中试反应器出水 (H2133070002)	长、宽、高	总氮	mg/L	0.05	2.13
		总氮	mg/L	0.05	2.13
		化学需氧量	mg/L	4	18

表 2 检测依据表

检测项目	检测标准
氨水	
总氮	《GB 8951-2019》
总氮	《GB 8951-2019》
化学需氧量	《GB 8951-2019》
氨氮	《GB 8951-2019》
总氮	《GB 8951-2019》

2.5、PN-Anammox应用于发酵工业废水

发酵废水：该类废水COD和氨氮浓度均高，原有传统A/O的硝化反硝化工艺需要**大池体**，**高曝气和回流**的动力消耗，依托原有池体进行改造，降本增效。

氨基酸废水进出水水质表

指标	NH ₄ ⁺ -N mg/L	TN mg/L	COD mg/L	TP mg/L	pH
进水	300~700	400~800	1800~3200	6~10	7.7~8.1
出水	<5	<15	<30	<1	7.7~8

在2016年、2021年对该公司污水处理工艺进行两次改造，在污水浓度不变，**不增**设池体的情况下，分别于污水处理量由**700方**提升到1200方，然后再提升到**1800方**。
运行成本由12元/吨降低到5元/吨，大幅降低企业基建成本和运行费用。



2.5、PN-Anammox应用于发酵工业废水

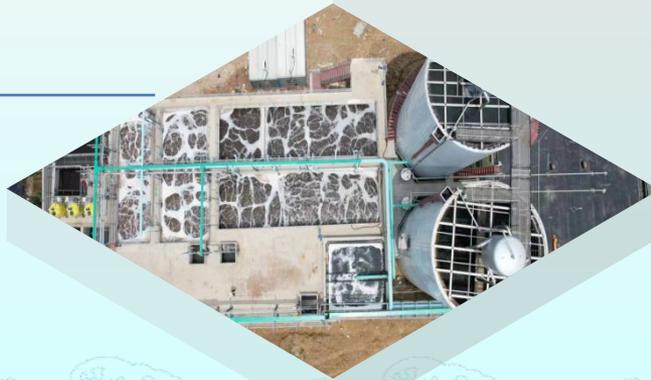
利旧改造，设计水量6000m³/d，动力消耗降低30%。



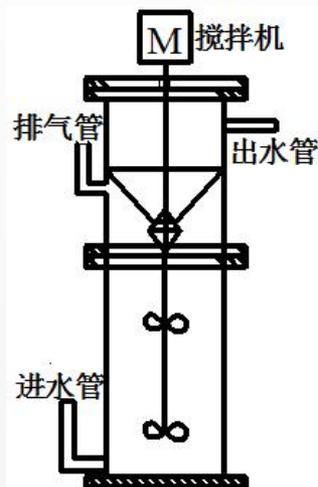
新建项目，设计水量4000m³/d，占地与传统脱氮相比节省1/3以上，动力消耗降低30%。



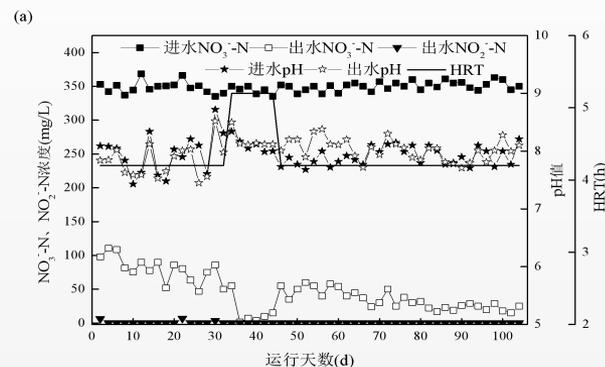
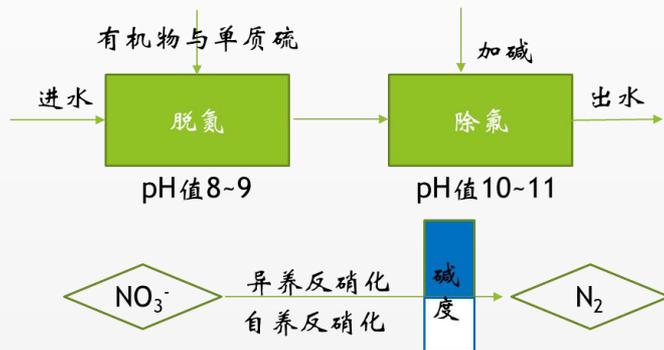
新建项目，设计水量1000m³/d，加强能源回收16%，运行成本降低50%以上。



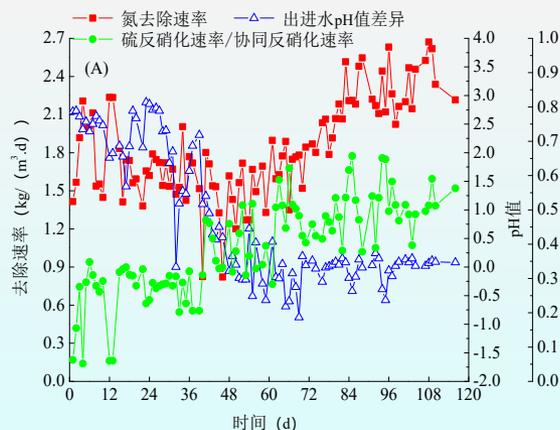
2.6、硫自养反硝化应用于光伏废水处理



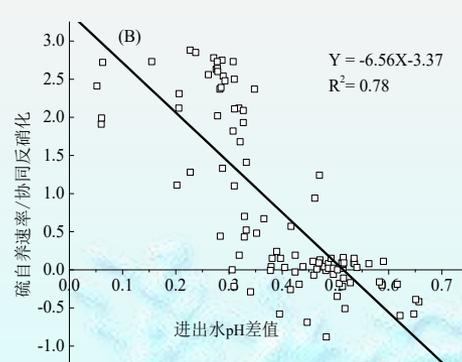
改进后污水处理工艺



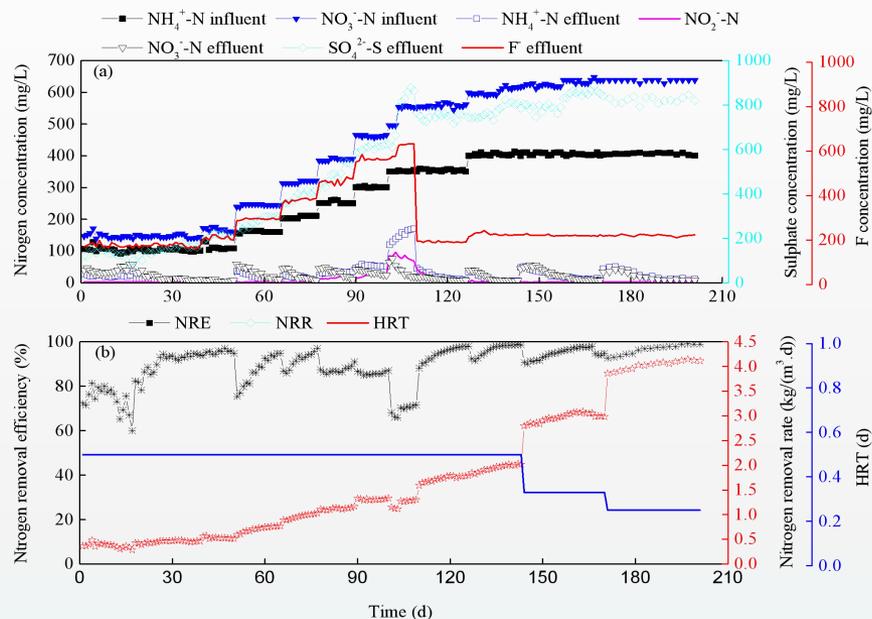
实现异养反硝化与硫自养反硝化反应的协同，出水总氮去除率为85%以上，脱氮效能稳定在 $2.5 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。



实现进出水pH差值稳定在0.15以内，实现酸碱平衡，略高于理论量。



2.7、硫自养-Anammox应用于高氨高硝废水



经过201d的运行，仅厌氧环境实现废水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的同步转化，总氮出水浓度小于20mg/L，TNRR稳定在4.11 kg/(m³·d)，其中Anammox过程和SADN过程的NRR分别达到3.11和0.96 kg/(m³·d)。

2.8、可验证化中试平台

- PN-Anammox是一个新鲜的脱氮技术，可为氮困扰企业带来巨大的降本增效优势。
- 案例少，尤其同行案例！如果敢于尝试是一个重要的问题。
- 本团队有数套基于厌氧氨氧化的中试设备（2T~30T），可为企业进行中试水平的技术验证，降低企业对技术的担忧！



三、废水脱氮成果与评价



独创性:

技术评价:

获奖:



上海市科技发明奖



江苏省高等学校研究成果奖



中国城市卫生协会



华夏建设科学技术奖



专家现场勘探



列入“一带一路”经典案例

环境生物技术研究简介

苏州科技大学环境生物技术研究所以我国水污染控制领域的问题和需求，聚焦学科前沿，服务社会发展，在**废水生物脱氮除磷理论、技术与装备，城市水体污染及其控制与修复**等方面进行基础研究、技术开发与应用推广。

主要推广技术：

- 1. 农村分散污水处理一体化装备；
- 2. 基于厌氧氨氧化技术的高氨废水自养脱氮处理工艺。



Thanks!

