

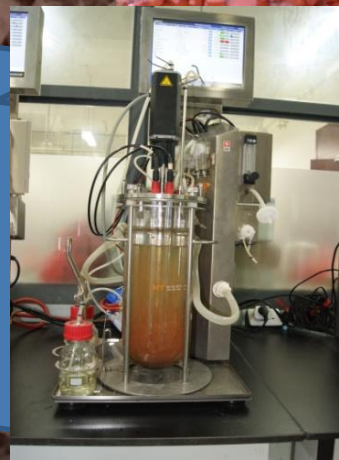
# 全程自养生物脱氮关键技术 与应用示范

李祥 副教授

苏州科技大学环境科学与工程学院  
苏州科技大学环境生物技术研究

# 一、废水脱氮研究进展

PN  
膜

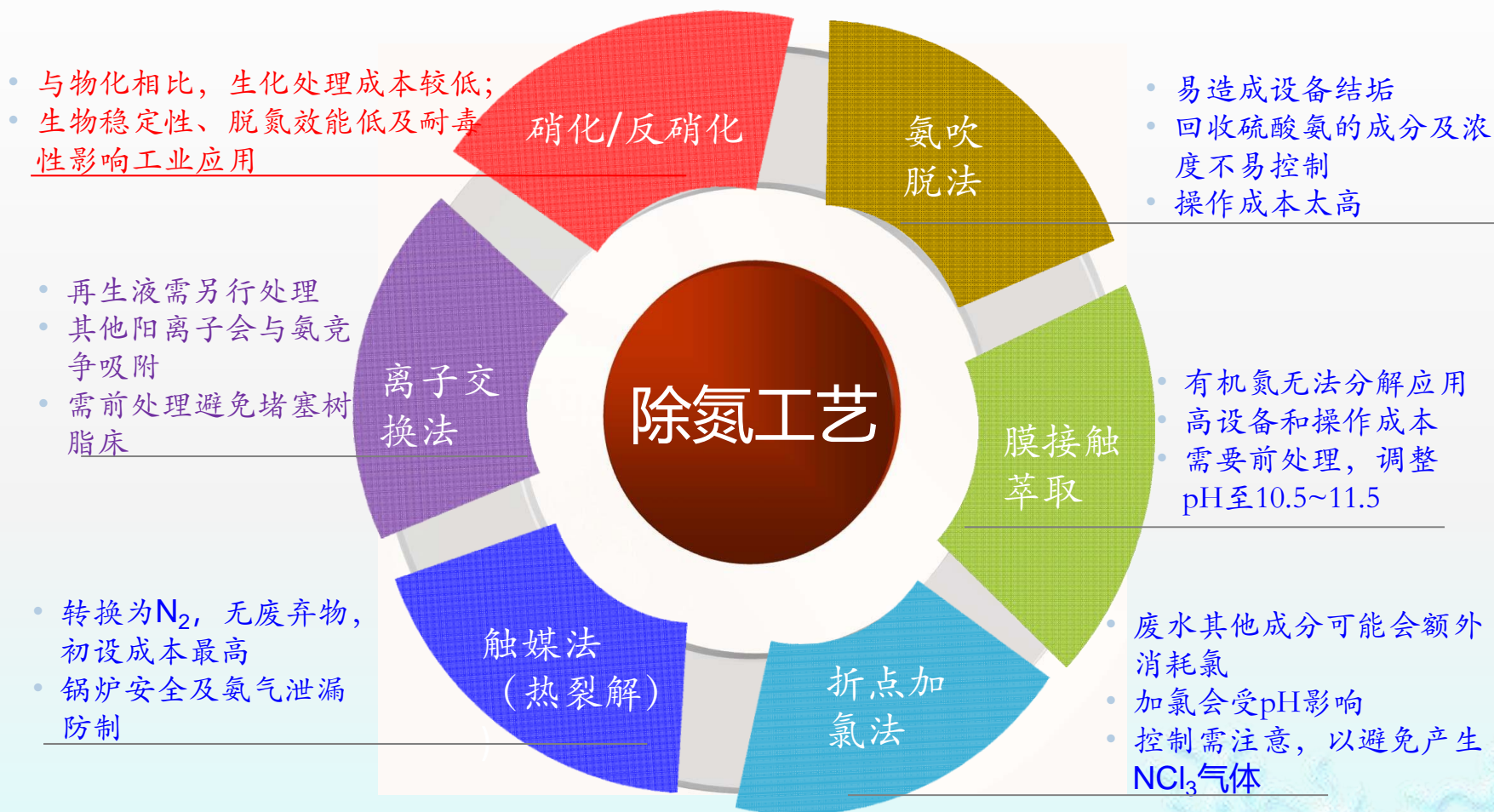


Anammox  
污泥





# 1.1、 常见脱氨工艺介绍



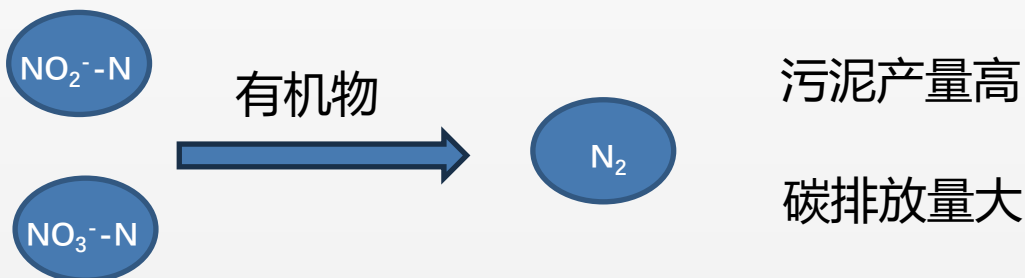
不同的脱氨工艺存在不同的应用边界，没有最牛的，只有最适合！

针对高氨 (<3000mg/L) 废水采用生物处理最适宜，但是对于含有低有机物废水，如何突破额外有机物的需求是一个重要问题

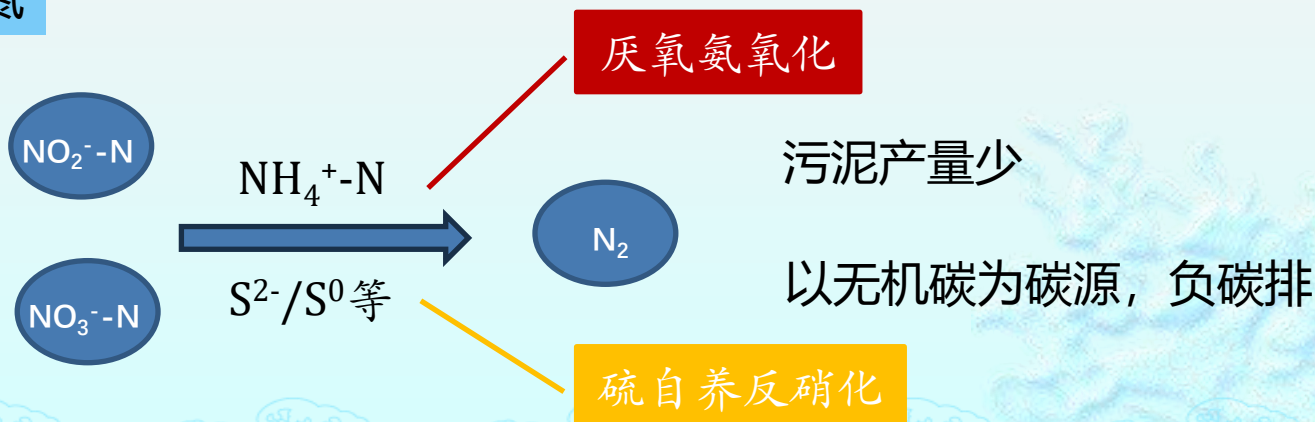
## 1.2、 自养生物脱氮工艺

在“3060”的指导下，大幅降低废水脱氮过程的碳排(电耗和物耗)是废水处理发展的必然趋势。

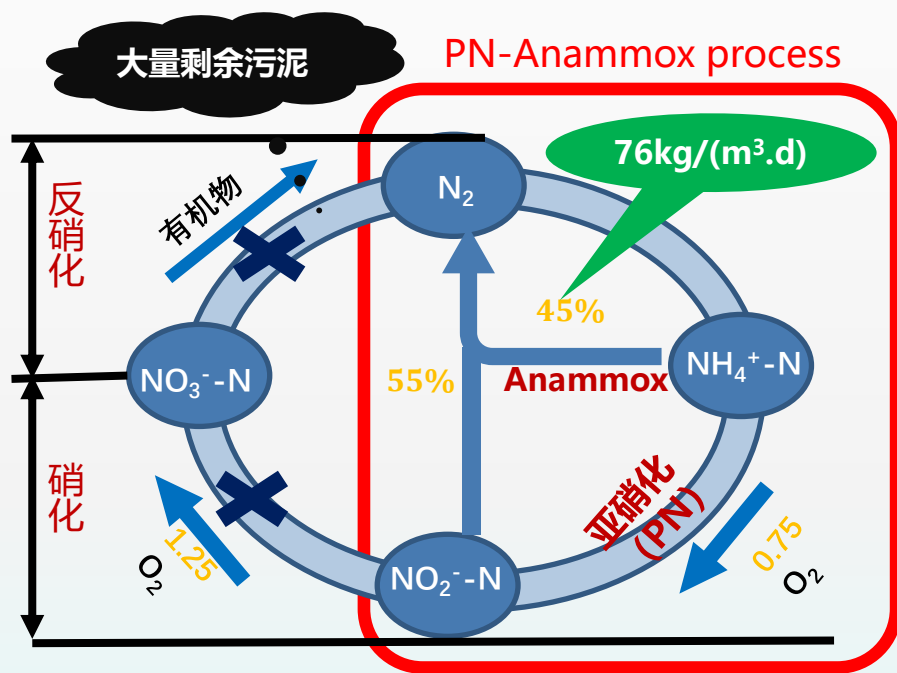
### 异养脱氮



### 自养脱氮



# 1.3、厌氧氨氧化基本原理



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；

PN-Anammox是最适用于高氨废水的脱氮处理的新型技术。

# 1.4、PN与Anammox工艺的耦合机理及问题

➤ PN和Anammox的耦合过程是一个多底物，多微生物的协同和竞争的复杂过程。

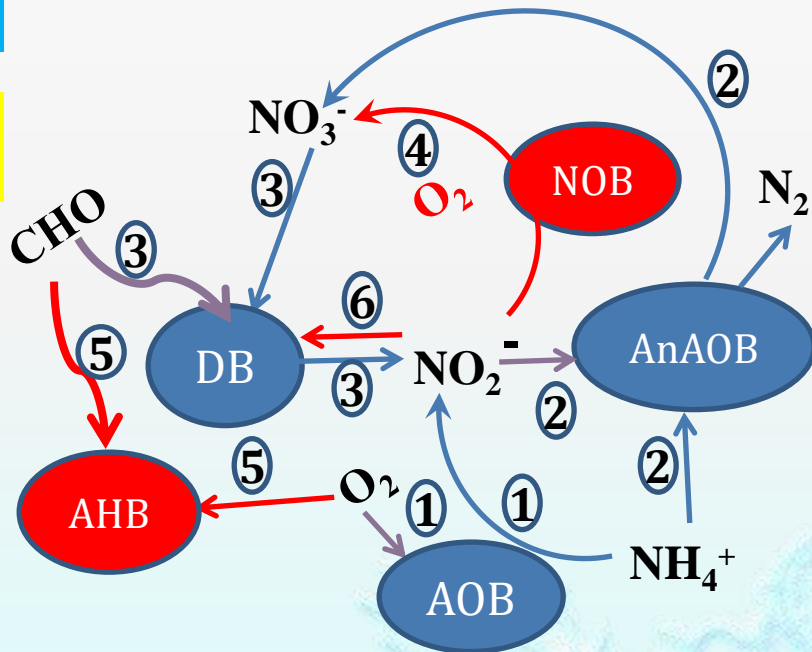
➤ 硝化菌（NOB）的存在，常常导致PN过程失稳。

➤ 异养微生物（AHB）的存在，常常使得好氧量增大、中间产物竞争，导致脱氮能力下降。

➤ AOB和AnAOB具有相同的pH、温度的需求；**但是存在DO需求矛盾。**

➤ 如何缓解功能微生物之间的矛盾，抑制非功能微生物的生长，提高耦合过程的脱氮效能一直是Anammox工艺应用于高氨废水的研究热点。

➤ 厌氧氨氧化出水会含有高浓度的硝酸盐、残留的氨与亚硝，影响总氮的达标排放！



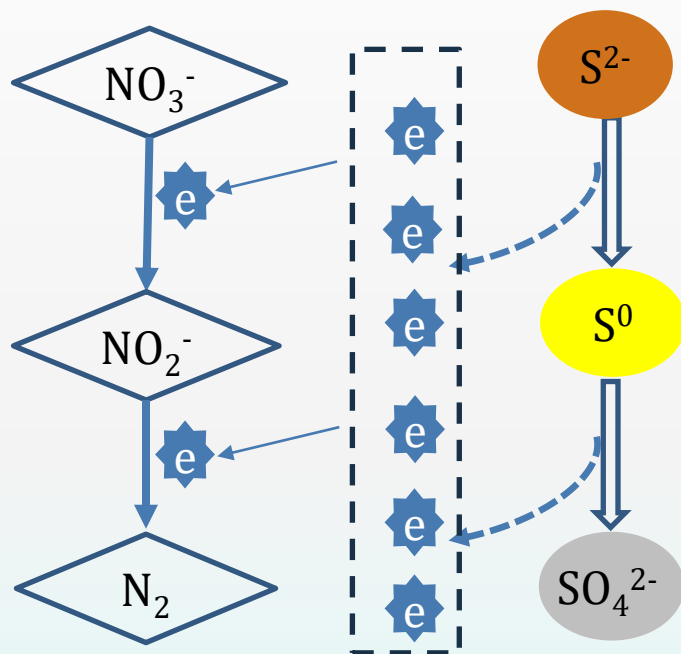
厌氧氨氧化技术作为高效脱氮的工艺单元具有显著优势，不能作为最终达标排放工艺单元。

理想底物转化途径

竞争型底物转化途径



## 1.5、硫自养反硝化基本原理



SADN脱氮原理

优势:

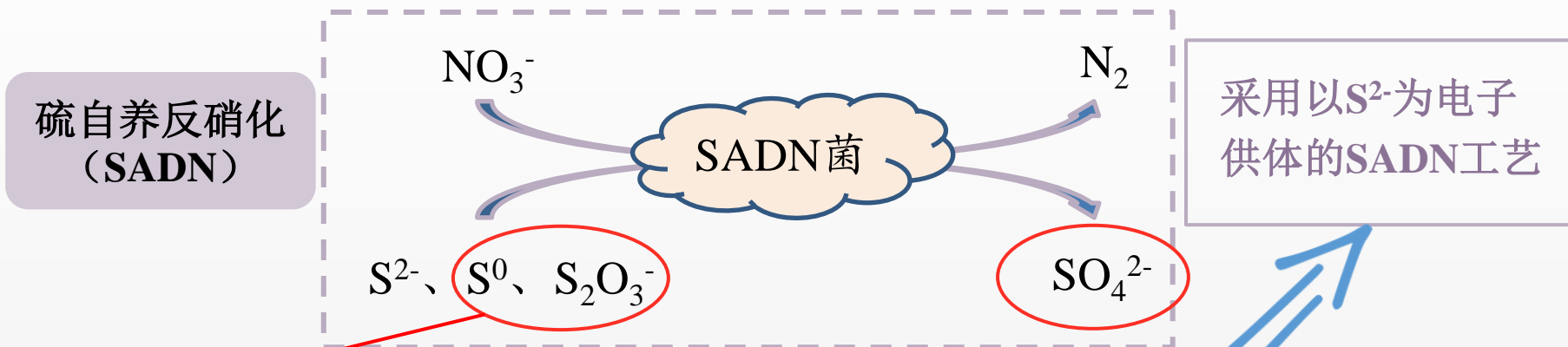
- ◆ 以还原态硫为碳源，无需有机物添加，大幅降低碳排；
- ◆ 硫自养反硝化产酸与厌氧氨氧化产碱，实现酸碱互补；
- ◆ 无需有机物参加，全自养生物脱氮，污泥产量少。
- ◆ 实现 $\text{NO}_2^-$ 和 $\text{S}^0$ 累积的双短程硫自养反硝化是未来发展的方向。

缺陷:

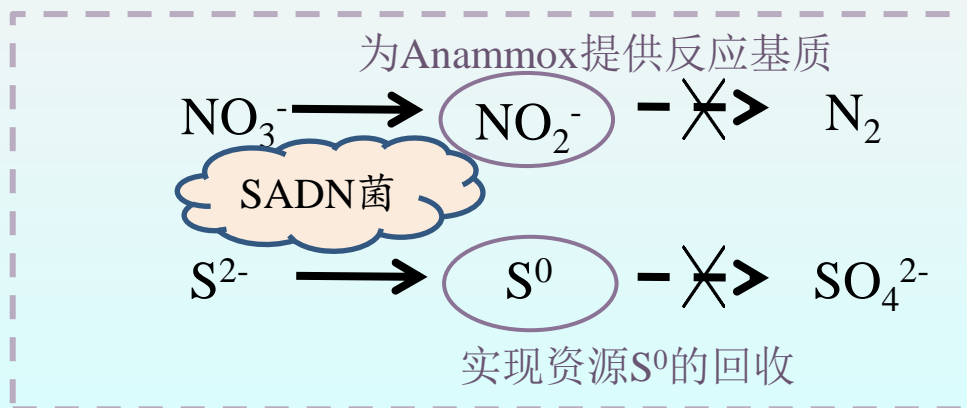
产生大量硫酸盐副产物，引起水体二次污染；

硫自养反硝化技术更适用于低浓度硝酸盐废水的处理，更适用于沿海地区！

# 1.6 硫自养脱氮工艺存在问题及解决方向



**存在问题：** 以 $S^0$ 或 $S_2O_3^{2-}$ 为电子供体时不仅会产生大量的酸，需要投加大量的碱来维持pH值。同时，还会产生大量硫酸盐，需要额外投加碳酸钙来进一步处理。



## DSSADN工艺优点

- ✓ 无需添加有机碳源
- ✓ 强化脱氮效率
- ✓ 以废治废效果

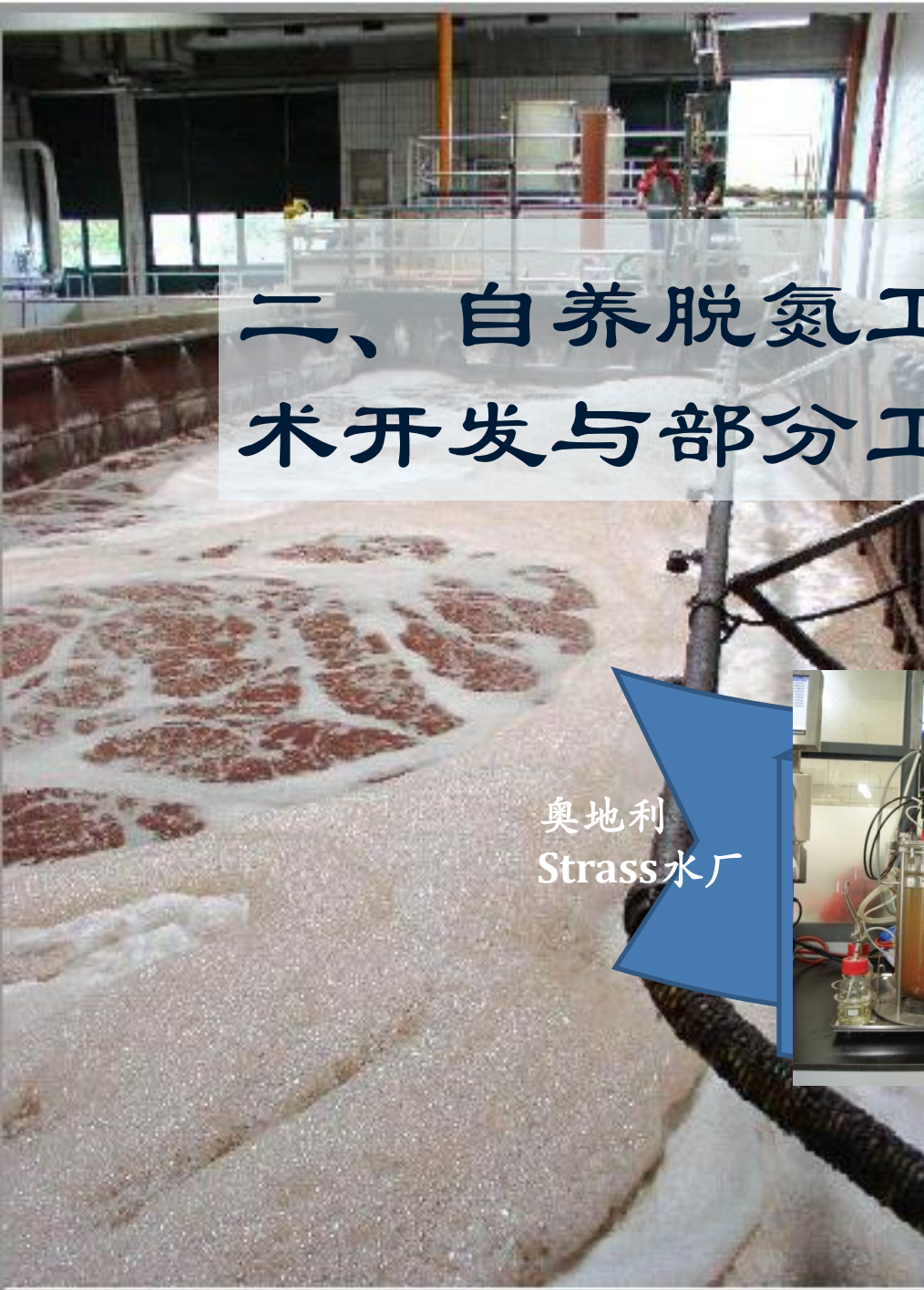


## 二、自养脱氮工艺的关键技术开发与部分工业应用

奥地利  
Strass水厂



荷兰  
Dokhaven水  
厂

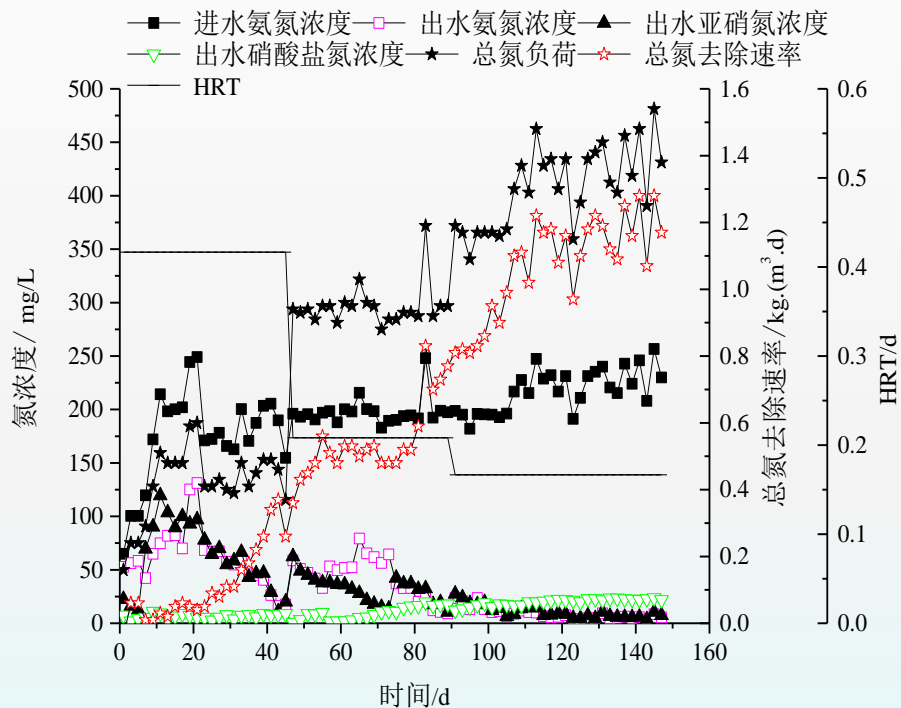




## 2.1、PN-Anammox一体化应用于PCB废水处理



PCB废水处理现场



▶ 反应器有效体积 $0.5\text{m}^3$ ，日处理污水量达到 $4\text{m}^3$ ，脱氮效能稳定在 $1.2\text{kg}/(\text{m}^3.\text{d})$ 左右。

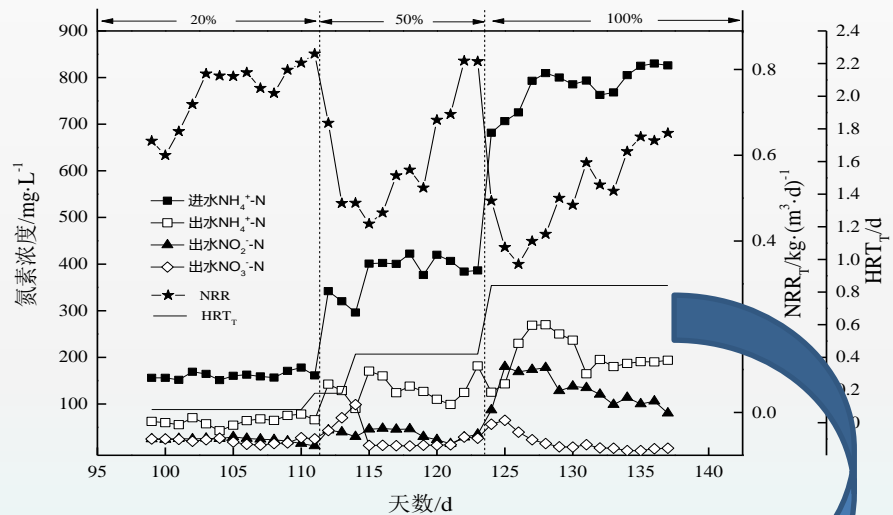
## 2.2、DN-PN-Anammox一体化应用于酒精废水处理



酒精生产废水处理



►处理后回用于酒精发酵，与自来水相比，酒精的产率仅下降1%。



有机物成为脱氮效能提高的主要限制因素

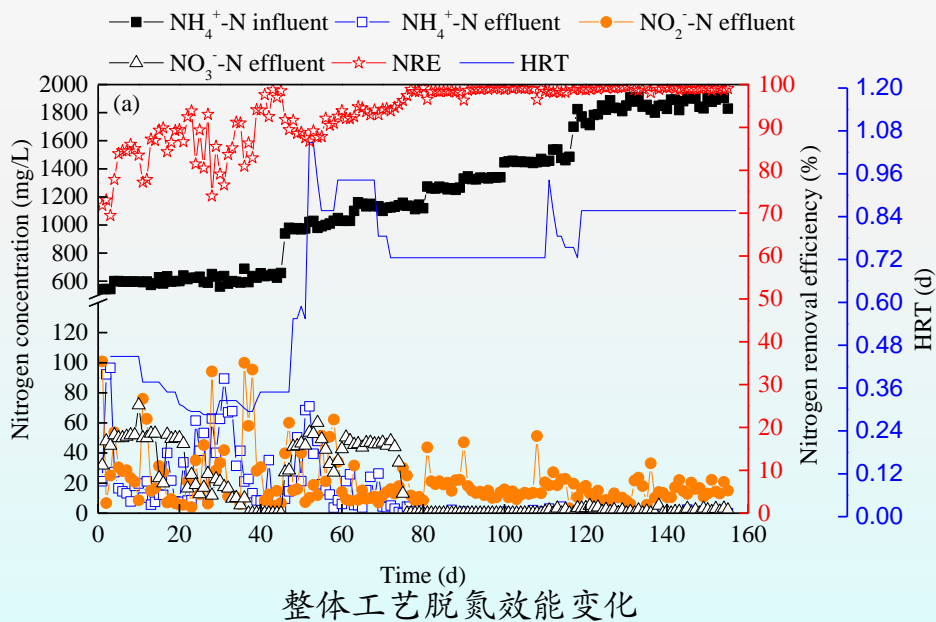
►完全以酒精废水作为进水时，总氮去除速率稳定在0.65kg/(m<sup>3</sup>·d)左右，可用于此类酒精废水的处理。



## 2.3、PN-Anammox一体化应用于中晚龄垃圾渗滤液处理

垃圾渗滤液进出水水质表

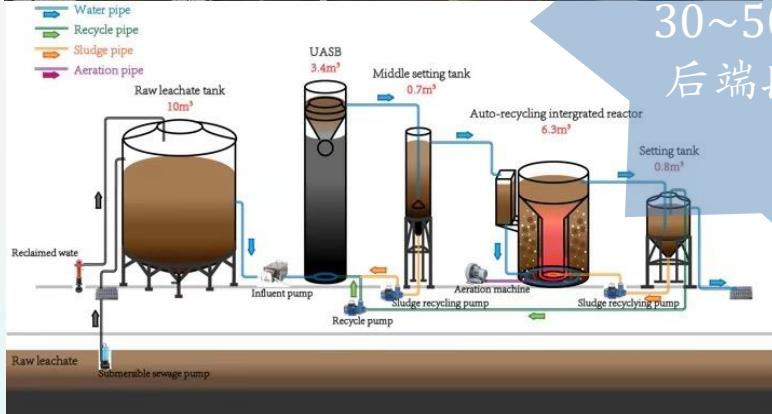
指标	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N mg/L	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N mg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N mg/L	COD mg/L	BOD <sub>5</sub> mg/L	碱度 mg/L	盐度 g/L	pH
进水	1200~1900	0.1~0.5	0.1~0.5	1800~2200	400~500	6000~8000	1.6~1.8	7.7~8.1
出水	10~20	0~2	0~1	1000~1100	0~10	2000~2500	1.3~1.5	7.7~8



PN-Anammox小试装置

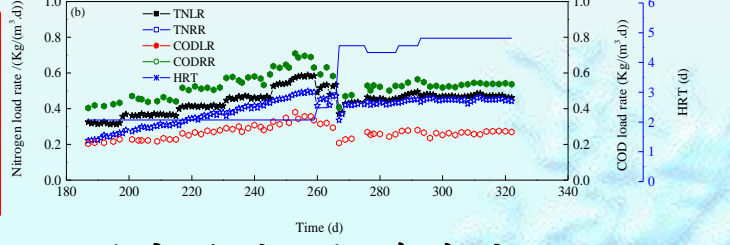
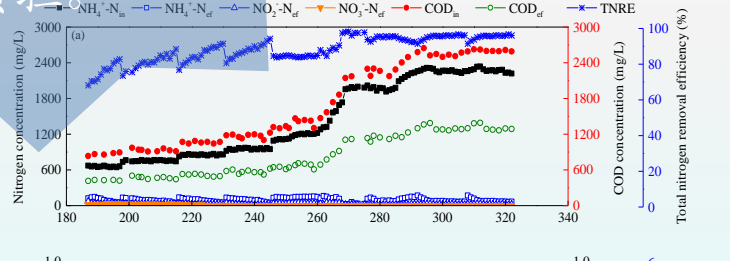
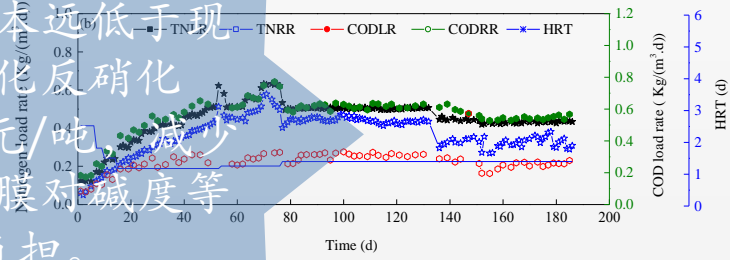
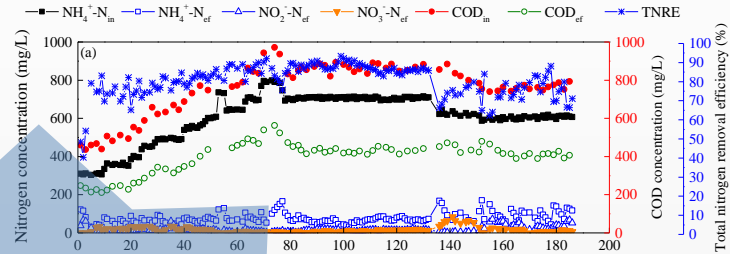
▶ 反应器有效体积13.6L，日处理污水量达到15L，出水总氮20mg/L，脱氮效能稳定在2.1 kg/(m<sup>3</sup>.d)左右，去除率可达99%。

# PN-Anammox一体化应用于垃圾渗滤液处理



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。

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。

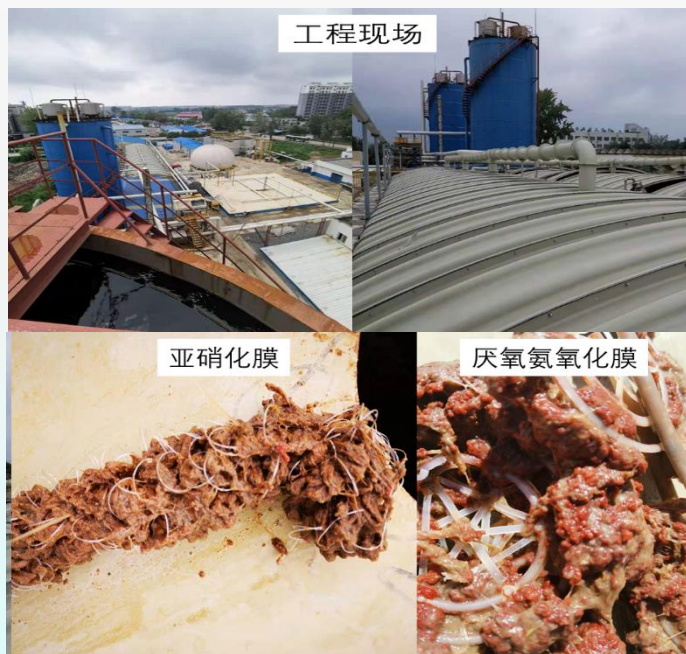


依托化学氧化处理形成一套无膜化、低碳高效的垃圾渗滤液处理工艺，不依赖碳源脱氮，无膜浓相产生。

## 2.4、PN-Anammox应用于发酵工业废水

氨基酸废水进出水水质表

指标	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 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

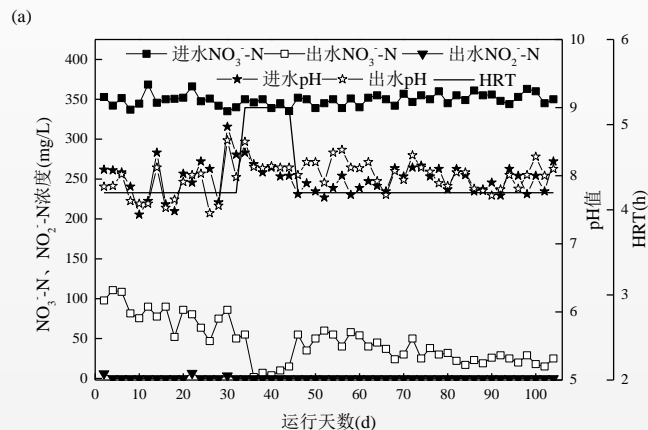
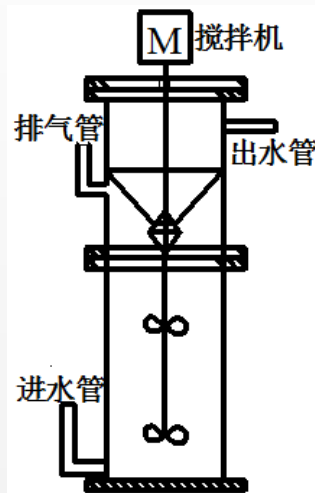


在2016年、2021年对该公司污水处理工艺进行两次改造，在污水浓度不变，不增设池体的情况下，分别于污水处理量由700方提升到1200方，然后再提升到1800方。大幅降低企业基建成本和运行费用。



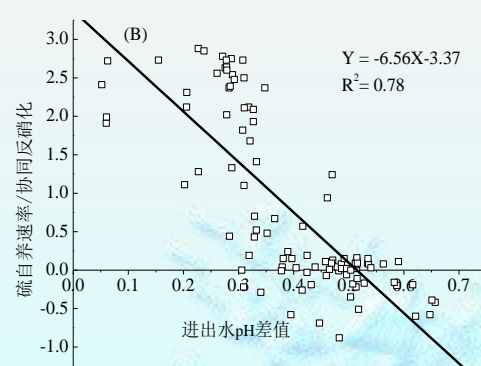
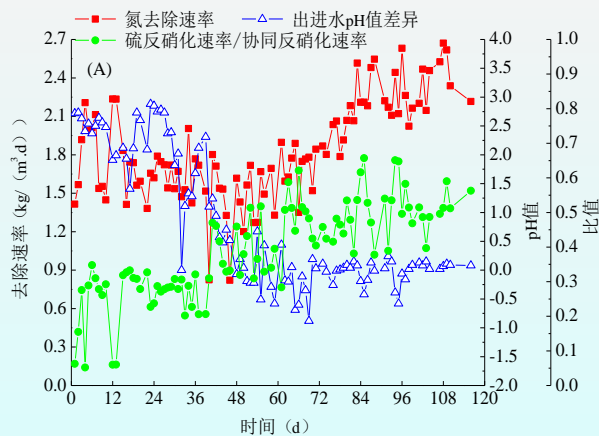
## 2.5、 硫自养反硝化应用于光伏工业废水

### 改进后污水处理工艺



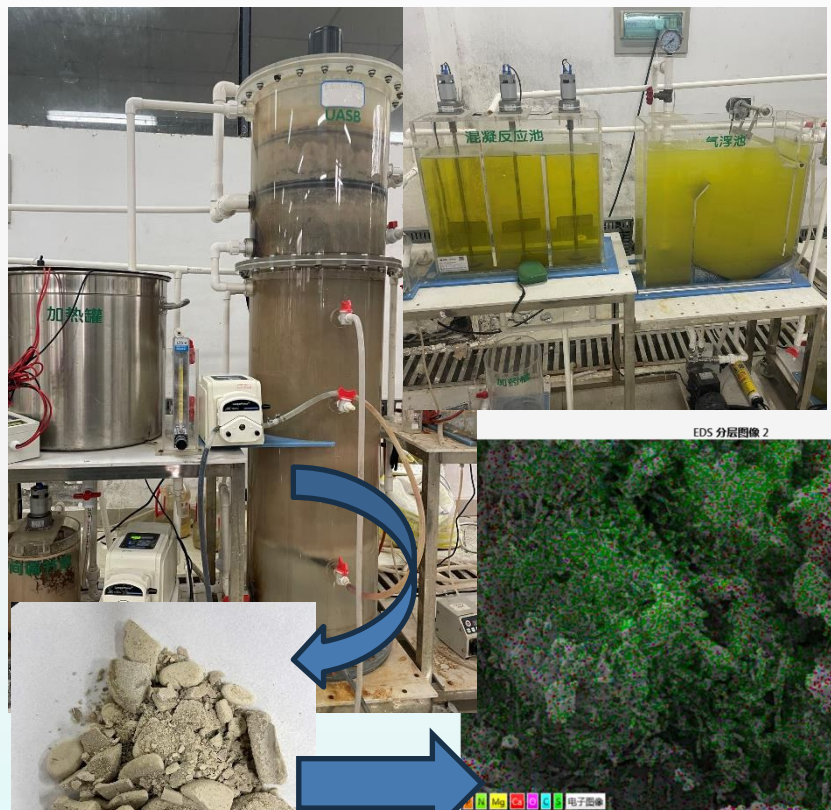
实现异养反硝化与硫自养反硝化反应的协同，出水总氮去除率为85%以上，脱氮效能稳定在2.5 kg/(m<sup>3</sup>·d)。

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。



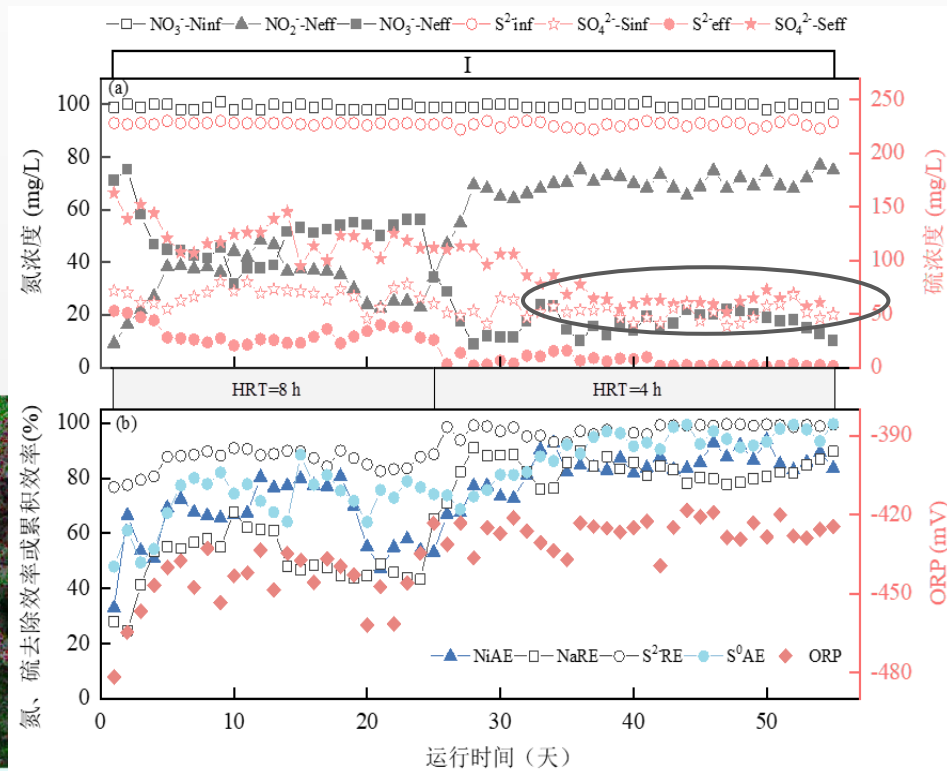
## 2.5、双短程硫自养反硝化研究

硫自养双短程反硝化过程实现亚硝酸盐和单质硫的高效累积。



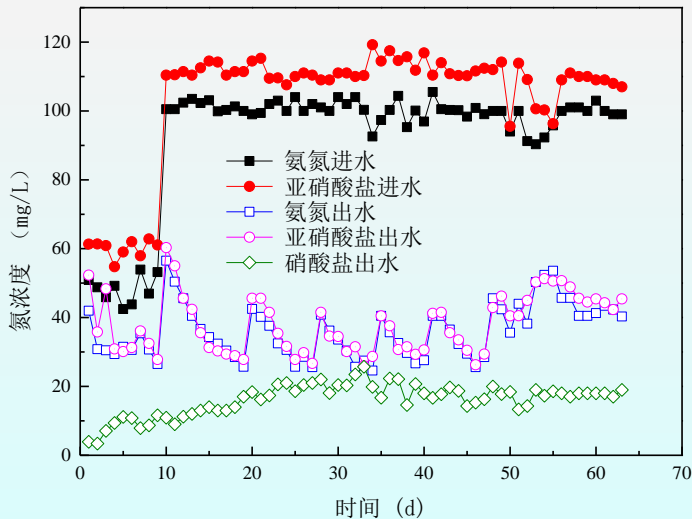
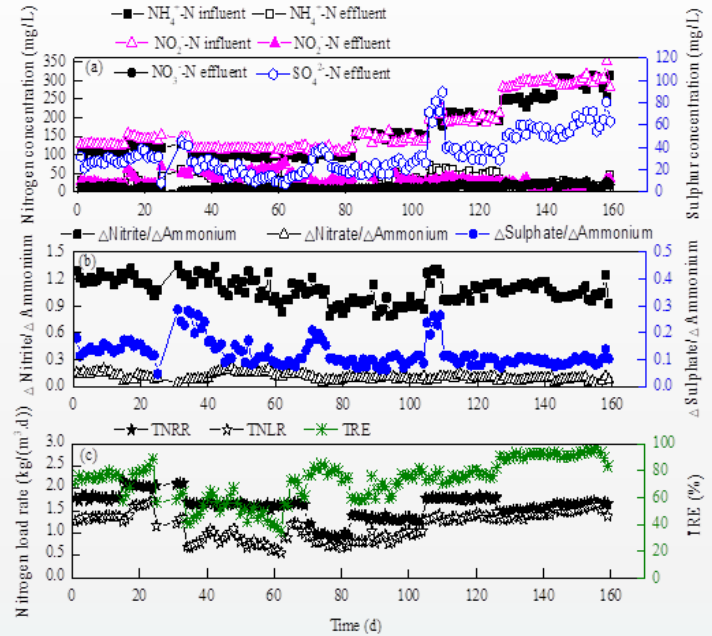
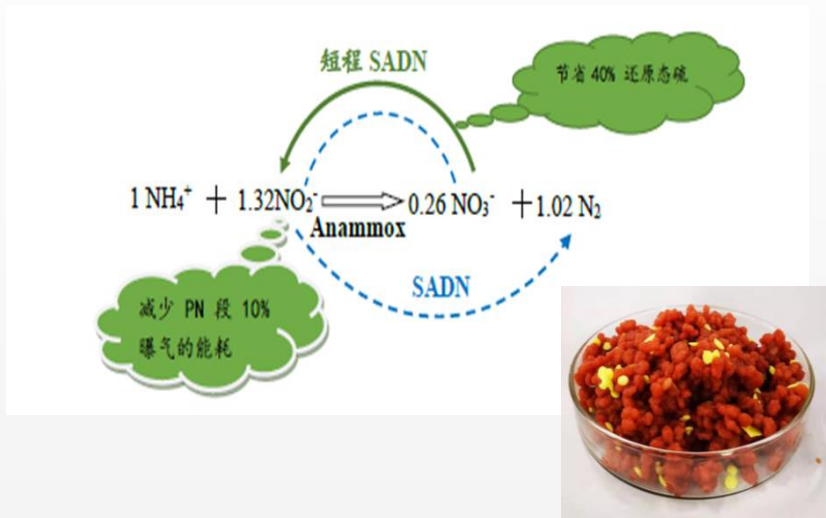
回收的单质硫

含硫量80%



NiAE和 $\text{S}^0$ AE能够分别维持在92.17%和98.85%左右，减少了硫酸盐的排放。

## 2.6、PN-Anammox耦合SADN的全程自养脱氮



$\text{NH}_4^+\text{-N}$ : 转化的 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 的摩尔转化比降低至1:1

经过160d的运行, NLR和NRR达到1.67和1.63  $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ , NRE达到97%, 远高于Anammox过程89%的理论氮去除率。



### 三、废水脱氮成果与评价



独创性:

技术评价:

获奖:



江苏省高等学校研究成果奖



上海市科技发明奖



中国城市环境卫生协会

# 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!

