



厌氧氨氧化技术 在餐厨废弃物废水处理中的应用

报告人：耿震

无锡市政设计研究院有限公司 副总工 第二设计院院长 正高工



无锡市政设计研究院有限公司



目录

01

项目背景

02

项目概况

03

工艺设计

04

调试运行

An aerial perspective of an industrial complex. A large, prominent blue dome is situated on the left side. To its right are several large, cylindrical storage tanks. The facility includes various industrial buildings, some with flat roofs and others with more complex structures. The area is surrounded by greenery, including trees and grass. A blue diagonal overlay covers the right half of the image, and the text "/01" is written in white on the left side of this overlay.

/01

项目背景

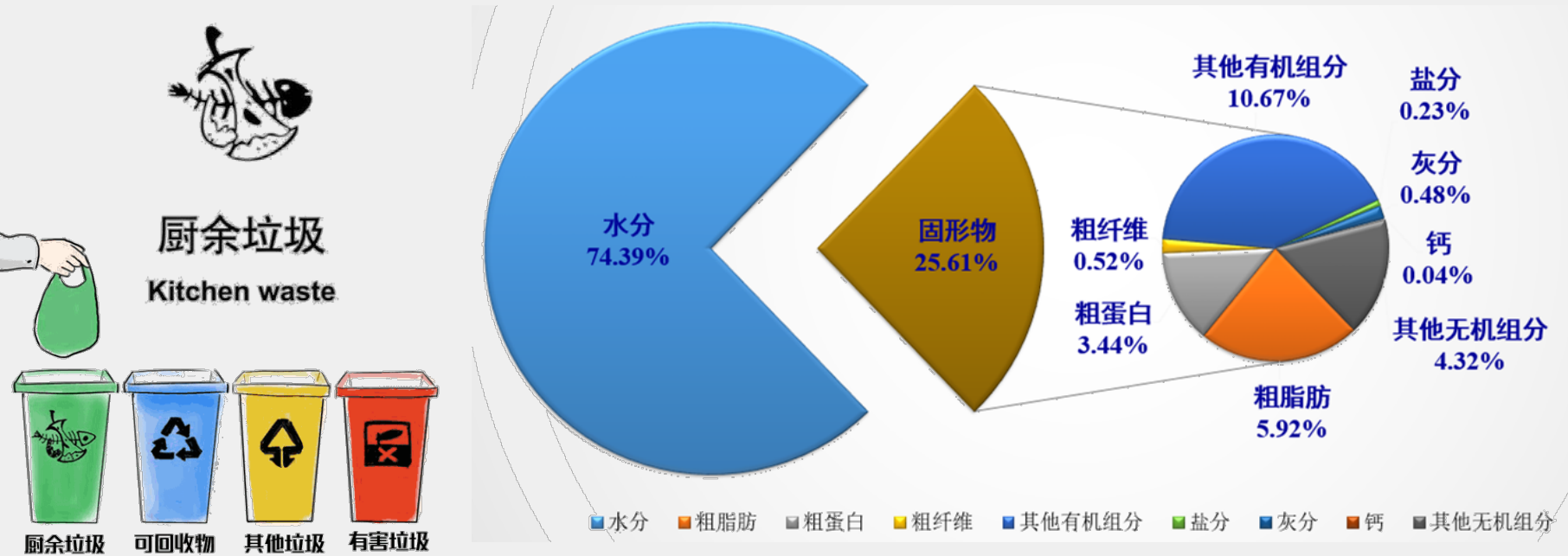
2019 年7 月1 日，《上海生活垃圾管理条例》的正式实施标志上海进入**垃圾分类强制时代**
2019 年12 月1 日开始实施的《**生活垃圾分类标志**》（GB/T 19095-2019）规定，**厨余垃圾**表示易腐烂的、含有机质的生活垃圾，包括家庭厨余垃圾、餐厨垃圾和其他厨余垃圾等。家庭厨余垃圾表示居民家庭日常生活过程中产生的菜帮、菜叶、瓜果皮壳、剩菜剩饭、废弃食物等易腐垃圾，简称厨余垃圾；**餐厨垃圾表示相关企业和公共机构在食品加工、饮食服务、单位供餐等活动中，产生的食物残渣、食品加工废料和废弃食用油脂等**；其他厨余垃圾表示农贸市场、农产品批发市场产生的蔬菜瓜果垃圾、腐肉、肉碎骨、水产品、畜禽内脏等，简称厨余垃圾。

有机物含量高

极易腐烂

水分含量大

油脂、盐分含量大



餐厨垃圾的危害

(1) 餐厨废弃物中**含有各种细菌，易腐败、易变霉**、臭味难闻，会对城市环境造成污染。餐厨废弃物未经处理直接喂猪，屠宰后的垃圾猪肉流入市场，食用后会直接影响人们身体健康。



(2) 餐厨废弃物中含有的大量游离水及油脂导致了**填埋场部分渗滤液盲沟和导气井堵塞**，给填埋场带来了极大的安全隐患。同时，餐厨废弃物极易腐烂产生恶臭，不仅严重影响了周边环境质量，而且还增加了污水处理的难度和成本。

(3) 餐厨废弃物进入下水管网，废物中有机组分不能得到资源利用，**影响下水管网的疏通和清淤**，增大了城市污水的产生量 and 处理量，也增加了城市污水处理厂的处理负荷；同时餐厨废弃物在污水管网中易沉积、发臭，增加病菌、**蚊蝇的滋生和疾病的传播**。

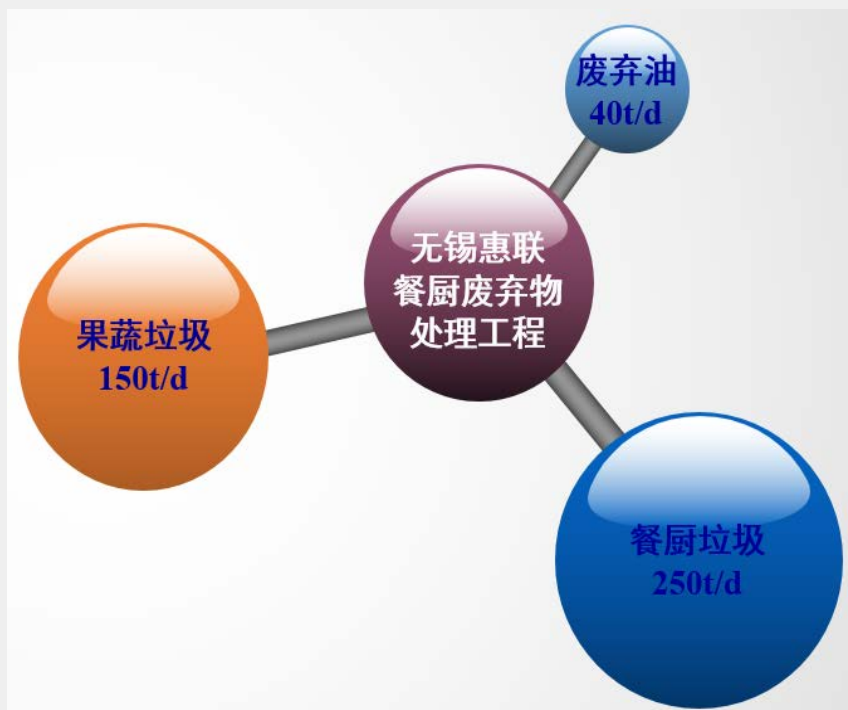


目前，无锡市有大小饭店共**8000**余家，每日产生的餐厨废弃物高达**600**多吨。

垃圾处理厂建成使用前餐厨废弃物处置设施均为就地分散式，分散于各街道，处理能力低。

新安街道处理点（**1吨/日**）、市民中心处理点（**1.2吨/日**）、马山中转运站处理点（**2吨/日**）...

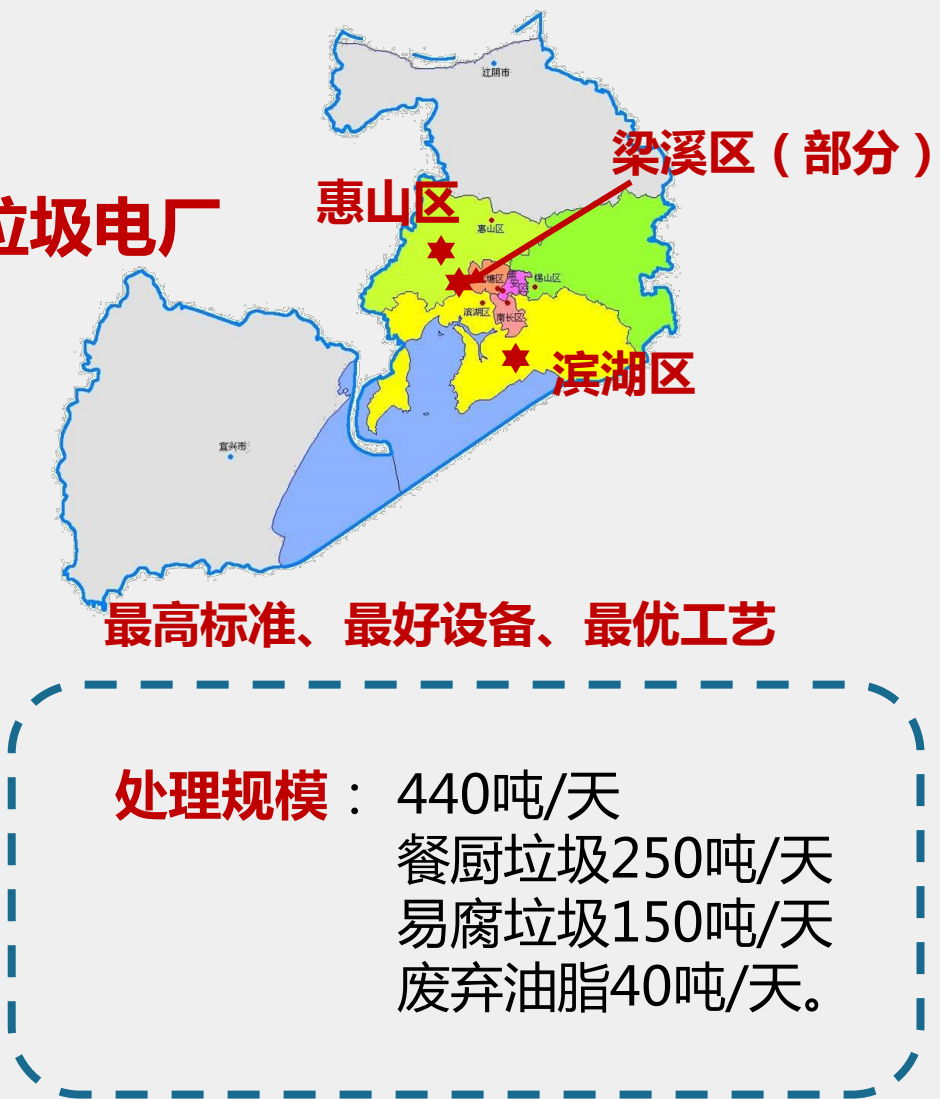
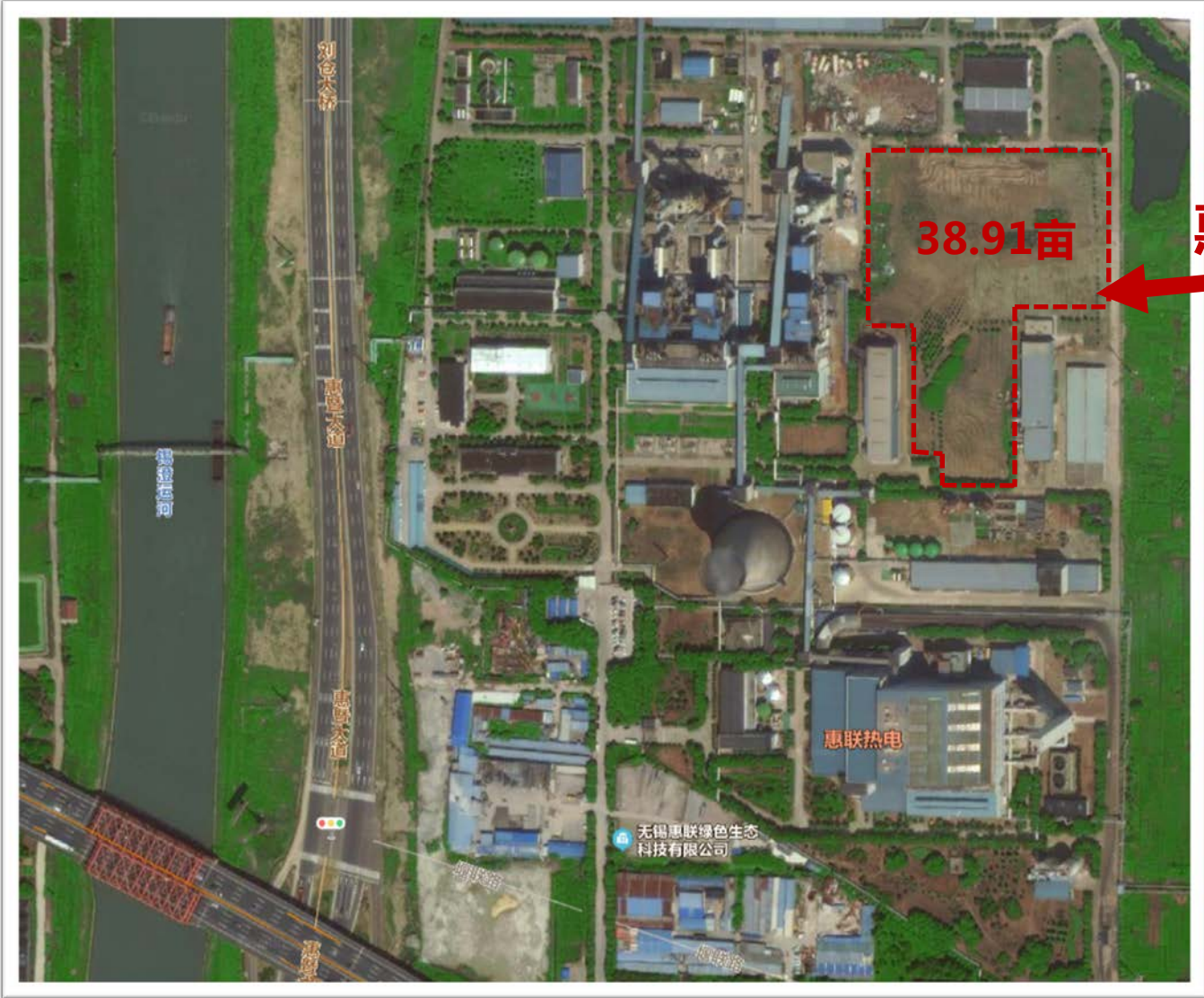
产生量 << 处理量





02

项目概述



预处理体系

440t/天

- 餐厨废弃物垃圾：物料接收+大物质分拣+精分制浆+除砂除渣+湿热水解油脂提取
- 易腐垃圾：多轴螺旋接收布料送料+磁选+粗破碎、弹跳筛分选+生物质破碎分离+调浆除砂。
- 废弃油脂：接收+除杂+加热+离心提油。



本工程设计采用**完全混合式厌氧消化工艺**，厌氧消化系统可以在**中温**条件下运行（消化温度控制在35~38℃），也可以在**高温**条件下运行（消化温度控制在54~57℃）。正常情况下，本项目按照高温条件进行运行。

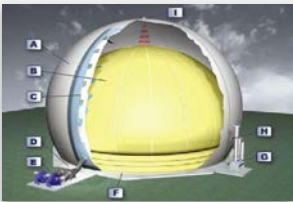
厌氧消化系统

398t/天

沼气脱硫与应用

生物脱硫+干式脱硫

冷凝水去除器及砾石过滤器→
沼气脱硫系统→
双膜储气柜



27400m³沼气/天

→
惠联垃圾热电厂
锅炉供热

...

凝气浮→
高负荷曝气池→
厌氧氨氧化→
MBR系统

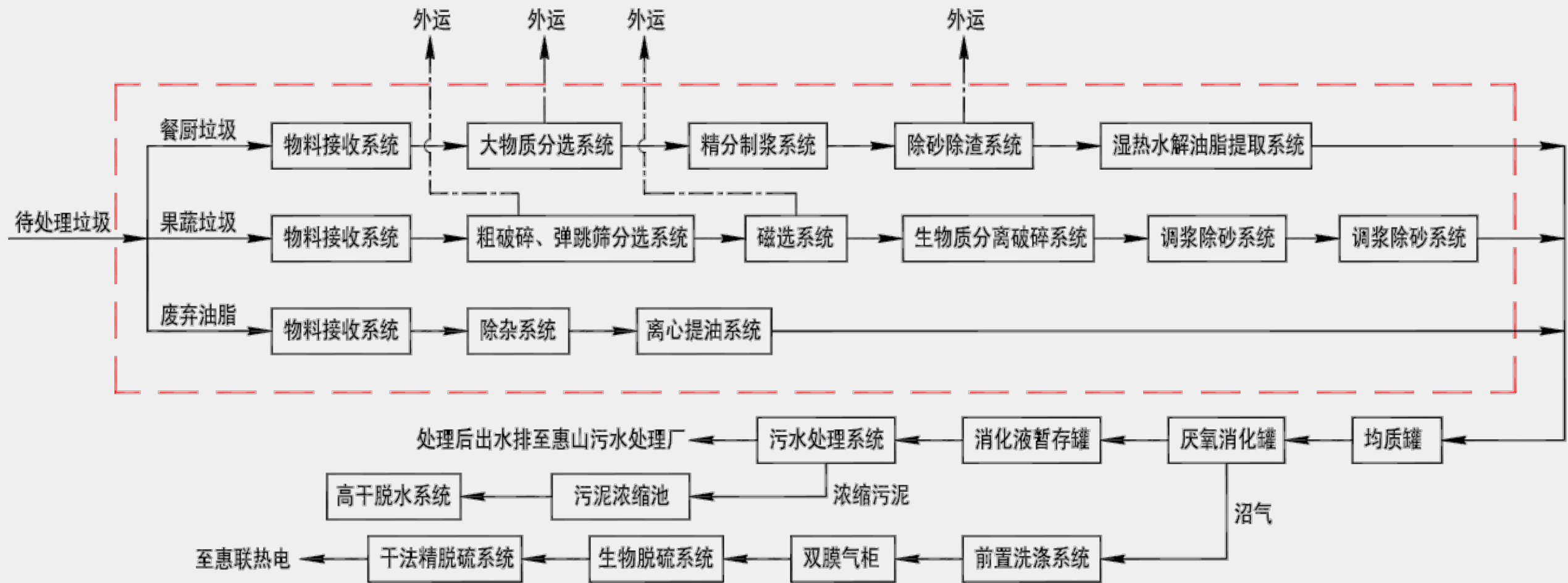
沼液处理

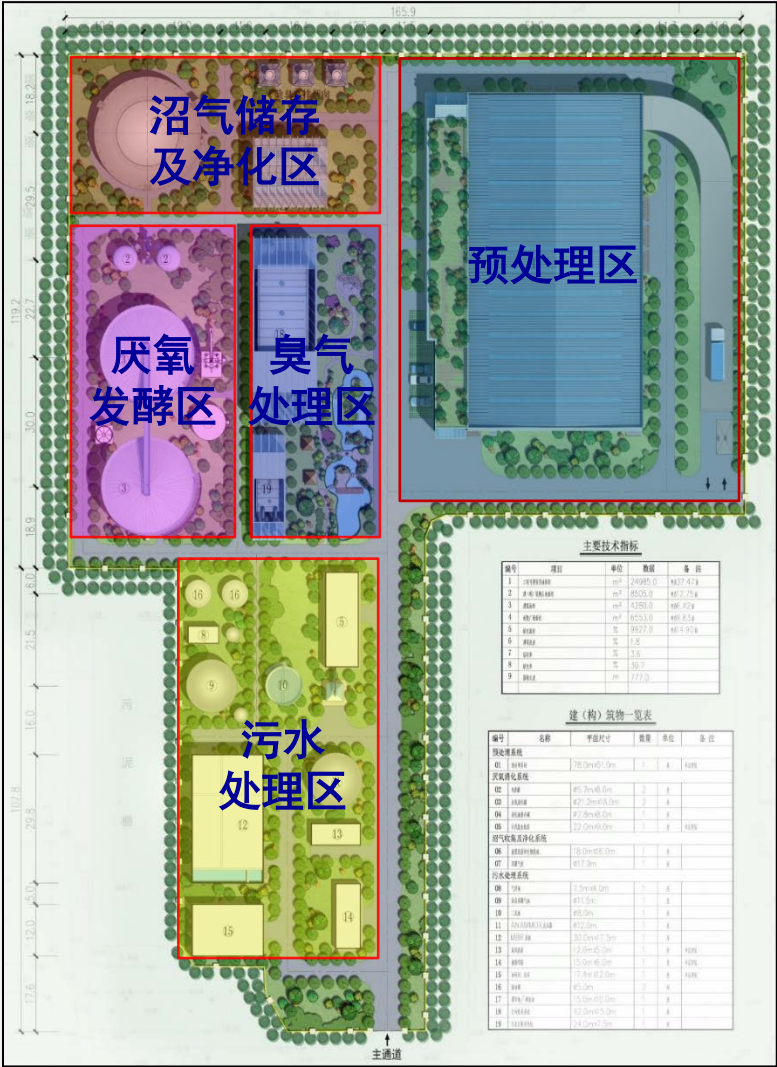
650t/天

除臭系统

27万m³/天

- 空间除臭：负压收集+低温等离子+喷淋洗涤
- 重点污染源除臭：负压收集+碱洗+生物滤床+低温等离子
- 污水处理站除臭：负压收集+碱洗+酸洗+生物滤床+低温等离子





本工程总平面布置图



工程效果图

An aerial perspective of an industrial complex. A large, prominent blue dome is situated on the left side. Several large, cylindrical storage tanks are visible in the center and right. The facility is surrounded by greenery and trees. A large blue diagonal overlay covers the right half of the image, containing the text.

/03 工艺设计

餐厨沼液的特点

- 有机污染物浓度高 污染物浓度10000~30000mg/L
- 油脂含量高 500~3000mg/L
- 氨氮浓度高 1500~3000mg/L
- 重金属及盐分含量高 沼液盐分0.5%~1%
- 污染物成分复杂多变

表2.1设计进水水质(设计处理规模为650m³/d)

水质指标	单位	设计指标
COD	mg/L	10000~15000
BOD ₅	mg/L	4000~6000
TN	mg/L	3000
NH ₄ -N	mg/L	2500
TSS	mg/L	6000
pH		6~9
动植物油	mg/L	1000

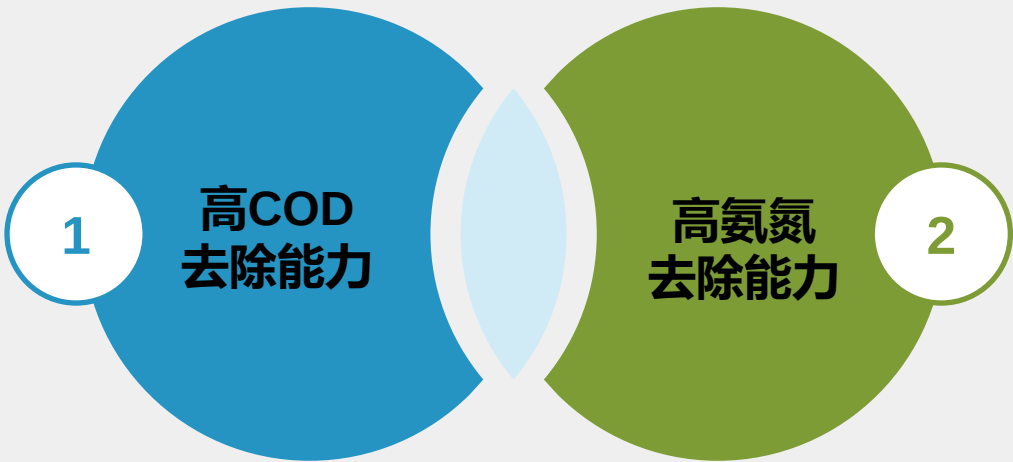


表2.2设计出水水质

水质指标	单位	排放限值
COD	mg/L	≤500
BOD ₅	mg/L	≤300
TN	mg/L	≤70
NH ₄ -N	mg/L	≤45
TSS	mg/L	≤400
pH		6.5~9.5
TP	mg/L	≤8
动植物油	mg/L	≤30

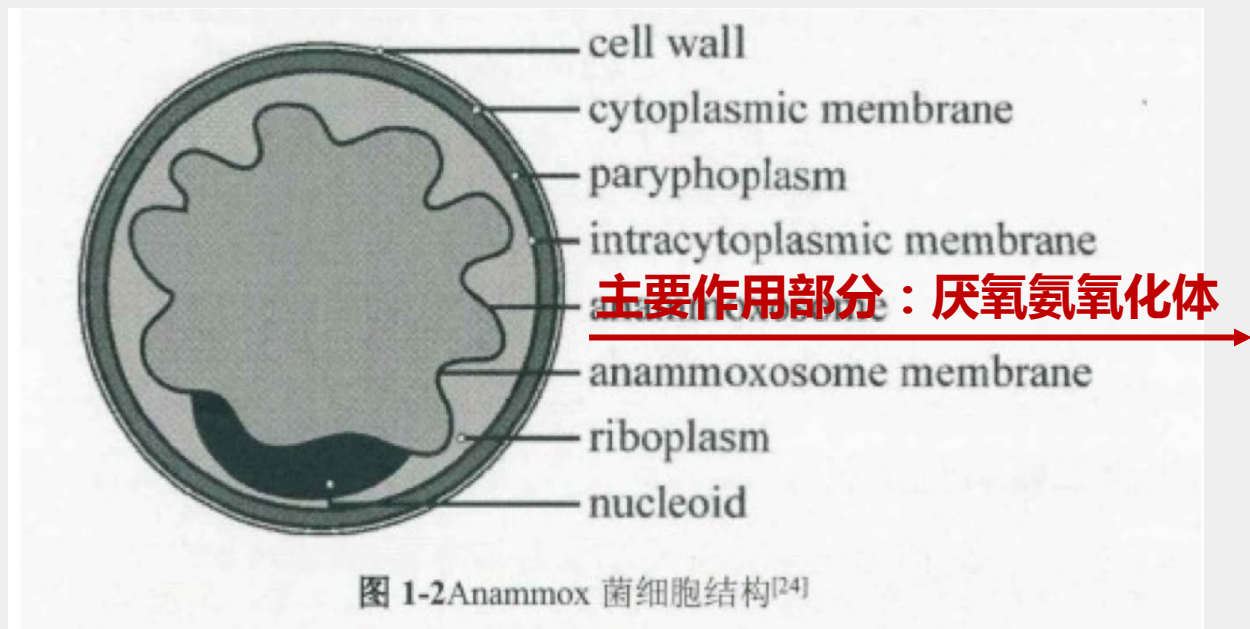
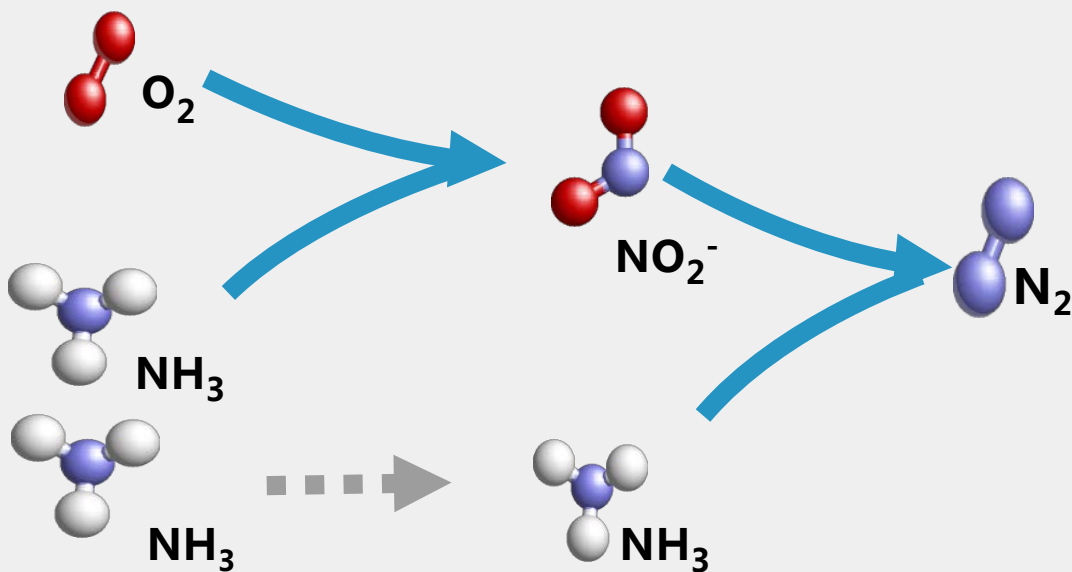
《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）中的三级排放标准

厌氧氨氧化工艺：

厌氧氨氧化是指在**厌氧或缺氧**条件下, 厌氧氨氧化细菌以 NO_2^- 为电子受体, 将 NH_4 直接氧化为 N_2 的过程, 产物 N_2 中的氮原子一个来自 NO_2^+ , 而另一个则来自 NH_4^+ 。

厌氧氨氧化菌：

厌氧氨氧化菌 (AnAOB, Anammox) 是属于浮霉菌门类的自养厌氧菌, 属于化能自养性生物, 通常以亚硝酸根为电子受体, 氧化氨根离子为氮气。



厌氧氨氧化系统制约条件：

1、种群间的影响关系

生物种群的多样性是制约厌氧氨氧化技术可行性的关键因素，即厌氧氨氧化细菌（AnAOB）、氨氧化细菌（AOB）、亚硝酸盐氧化细菌（NOB）、反硝化细菌（DNB）之间的协同竞争关系是实现厌氧氨氧化应用的关键性因素。

在厌氧氨氧化过程中，需先通过曝气将 NH_4^+ 转化为 NO_2^- 状态，为AnAOB提供足够电子受体。

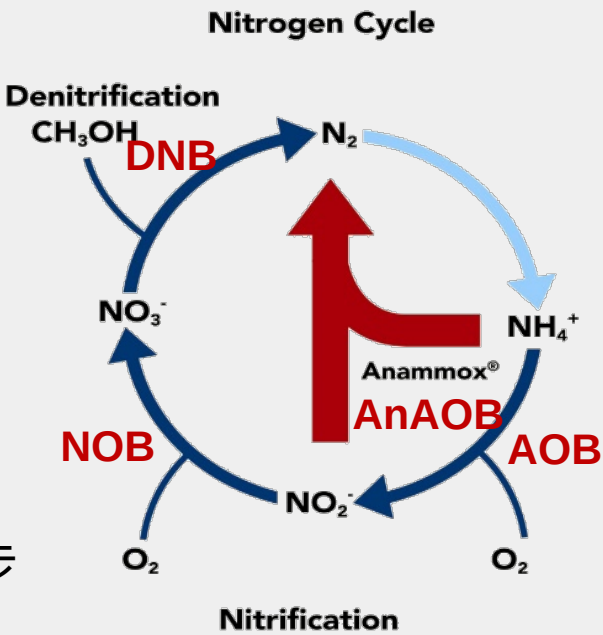
2、主要环境因素

C/N：COD过高会抑制AnAOB的生长，目前认为厌氧氨氧化体系中C/N不宜大于4。否则AnAOB活性减弱，DNB更具有竞争性。低氨氮负荷下NOB生长速度高于AOB,厌氧氨氧化更适合处理高氨氮废水。

污泥龄：在亚硝化过程中，当温度控制在 20~35℃，AOB 的生长速率高于NOB，可通过控制系统 SRT 大于 AOB 的世代时间而 小于 NOB 的世代时间，使 NOB 排出系统而 AOB 保持较高的浓度，从而**实现 NO_2^- 的稳定积累**。采用较短的**SRT 是实现污水主流 Anammox 技术的思路之一**。

温度：较高的温度不仅可以提高 AOB 的活性、促进 AOB 的生长速率，还可以进一步扩大 AOB 与 NOB 之间的活性、生长速率的差异。温度升高会抑制NOB生长，使AOB活性增强，**实现 NO_2^- 积累**。

溶解氧：DO 是亚硝化段的重要影响因子，其中 AOB 对氧的半饱和系数高于 NOB，NOB 在较低的 DO 条件下对竞争氧的能力较弱，控制 DO 的浓度以及调节曝气模式是实现短程硝化的控制手段之一。**间歇曝气以及 DO 限制策略可能是易于实现污水主流 Anammox 的调控策略之一**。



传统硝化/反硝化工艺与厌氧氨氧化工艺的对比

传统硝化/反硝化

硝化: $2\text{NH}_3 + 4\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$

反硝化: $2\text{NO}_3^- + \text{COD} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{N}_2$

综合: $2\text{NH}_3 + 4\text{O}_2 + \text{COD} \rightarrow \text{N}_2$

- 需消耗大量氧气。
- 硝态氮通过反硝化过程转化为 N_2 通常需要外加碳源。
- 异养反硝化菌产生大量剩余污泥，增加污水处理成本

ANAMMOX

部分硝化: $2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$

厌氧氨氧化: $\text{NO}_2^- + \text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

综合: $2\text{NH}_3 + 1.5\text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

- 需氧量与传统相比减少62.5%，有效降低氧电耗
- 无需有机碳源，运行费用降低
- AnAOB生长速度慢，倍增时间为7~12d，Anammox工艺剩余污泥量少

沼液处理工艺流程——高效脱氮反应装置

高效脱氮装置优势

- 相比于传统除氮方式，厌氧氨氧化工艺无需外加碳源， O_2 消耗量为传统除氮消耗量的1/2，高效节能。
- ANAMMOX反应器采用颗粒污泥接种，使得反应器的设计非常**紧凑**，最大程度地节省了占地。
- 耐高 COD、高氨氮进水，且去除效率高。进水氨氮 2500mg/L 时，氨氮去除率可达 90%以上。
- 可根据不同时间进水水量水质变化及环境温度变化灵活调整运行方式，在保证 处理效率的同时，节约了运行费用。
- 不需要内回流，曝气和搅拌在一个池体内完成，操作运行简单，运行成本低。
-



无锡餐厨沼液污水处理项目



厌氧氨氧化污泥显微照片

混凝气浮 高负荷曝气池

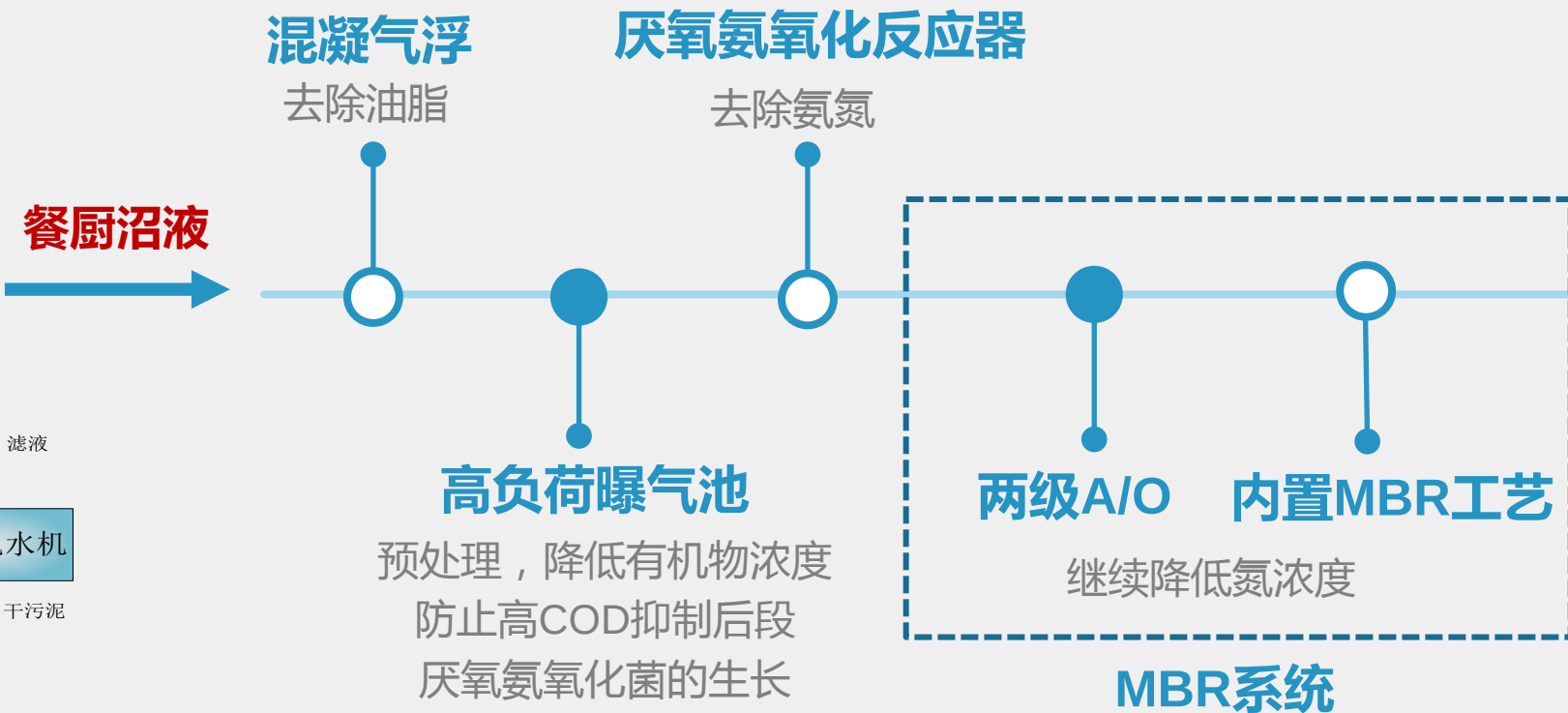
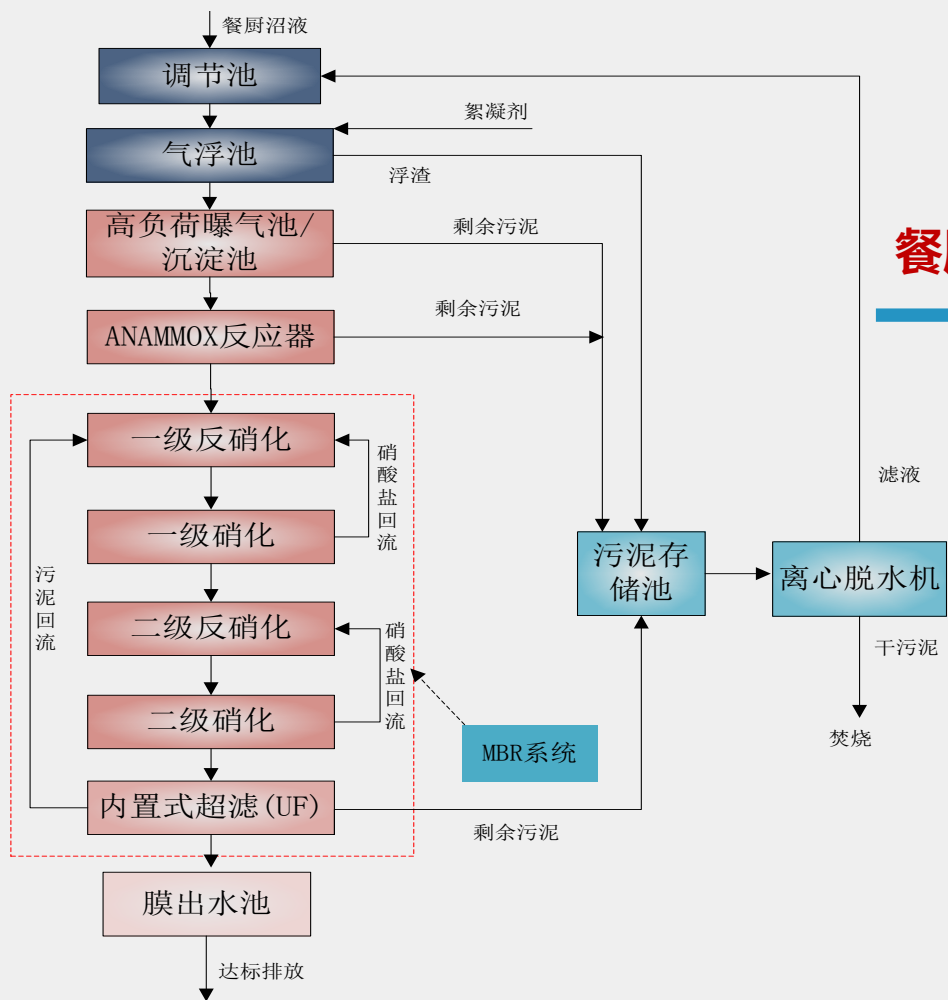
高效脱氮反应装置

内置MBR工艺
两级A/O

传统硝化/反硝化工艺与厌氧氨氧化工艺的对比

	硝化/反硝化	ANAMMOX®	单位
曝气能耗消耗	2.8	1	kWh/kg N
碳源（甲醇）	3	0	kg/kg N
产泥量	0.5 – 1.0	0.1	kg VSS/kg N
CO2排放量	> 4.7	0.7	kg/kg N
综合运行成本	30 - 40	10 – 12	RMB/kg N
占地面积	1	0.2	

本工艺中，进水流量650m³/d，进水氨氮浓度约为2500mg/L,则氮的去除量约1625kg/d，
则使用Anammox运行成本每天约为2.0万元左右，传统硝化反硝化工艺运行成本每天约为6.5万元左右。



设计各单元去除率表

工艺单元	项目	CODcr (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TN (mg/L)	SS (mg/L)	动植物油 (mg/L)
混凝气浮池	进水	15000	6000	2500	3000	6000	1000
	出水	8000	2500	2500	2800	2000	100
	去除率	46.7%	58.3%	-	6.7%	66.6%	90%
高负荷曝气 池+沉淀池	进水	8000	2500	2500	2800	2000	100
	出水	2000	500	2700	2800	1500	50
	去除率	75%	80%	-	-	33.3%	50%
ANAMMOX 反应器	进水	2000	500	2700	2800	1500	50
	出水	1800	500	150	450	500	30
	去除率	10%	-	94.4%	83.9%	66.6%	40%
MBR	进水	1800	500	150	450	500	30
	出水	500	300	45	70	400	10
	去除率	72.2%	40%	70%	84.4%	20.0%	66.6%
出水要求	-	≤500	≤300	≤45	≤70	≤400	≤30

沼液处理工艺流程——混凝气浮、高负荷曝气池

混凝气浮

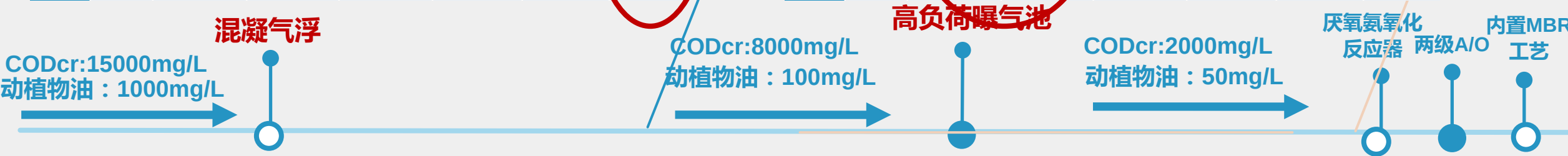
- 气浮法对污水中油脂以及浮渣（SS）的去除有良好的效果。最常见的气浮除油法是**溶气气浮除油**。
- **疏水性物质**极易与气泡黏附，宜采用气浮法去除，油脂属于疏水性物质，采用气浮法去除效果明显。
- 为了提高气浮处理效果，一般气浮前需要先进行**混凝处理**。

工艺单元	项目	CODcr (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TN (mg/L)	SS (mg/L)	动植物油 (mg/L)
混凝气浮池	进水	15000	6000	2500	3000	6000	1000
	出水	8000	2500	2500	2800	2000	100
	去除率	46.7%	58.3%	-	6.7%	66.6%	90%

高负荷曝气池

- 高负荷曝气池作为后续生物处理的预处理工艺，废水由气浮单元进入高负荷曝气反应器，主要用于去除废水中大量的有机物，**以避免对ANAMMOX菌种的活性造成影响**。

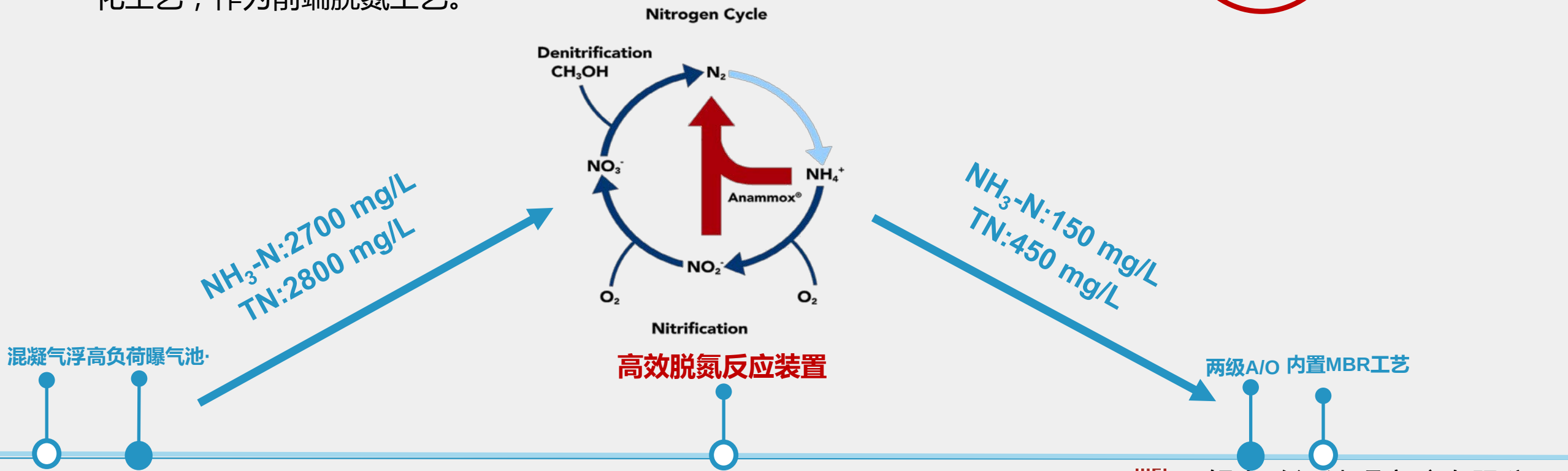
工艺单元	项目	CODcr (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TN (mg/L)	SS (mg/L)	动植物油 (mg/L)
高负荷曝气池	进水	8000	2500	2500	2800	2000	100
	出水	2000	500	2700	2800	1500	50
	去除率	75%	80%	-	-	33.3%	50%



沼液处理工艺流程——高效脱氮反应装置

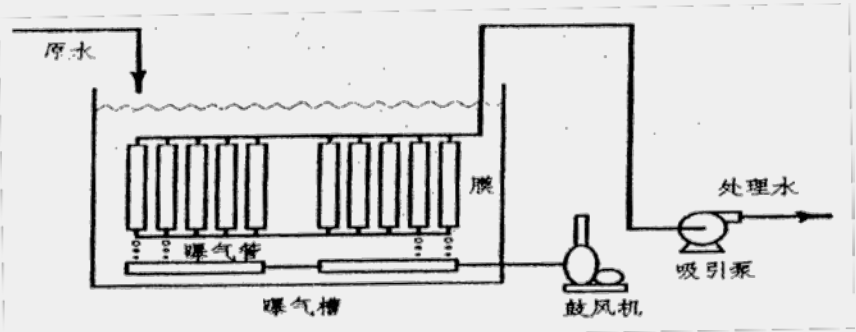
- 经厌氧处理后的餐厨垃圾沼液，绝大多数有机氮转化为NH₃-N，常规反硝化脱氮占地面积极大，本工程采用帕克环保公司厌氧氨氧化工艺，作为前端脱氮工艺。

工艺单元	项目	CODcr (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TN (mg/L)	SS (mg/L)	动植物油 (mg/L)
ANAMMOX 反应器	进水	2000	500	2700	2800	1500	50
	出水	1800	500	150	450	500	30
	去除率	10%	-	94.4%	83.9%	66.6%	40%

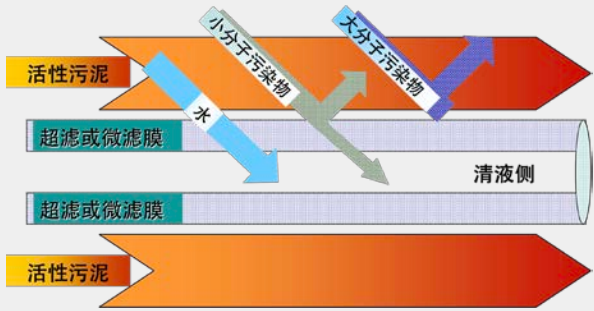


沼液处理工艺流程——MBR系统（两级A/O、内置MBR工艺）

- 本工艺主要用于去除剩余的氨氮
- 采用传统的A2/O工艺并通过内置式超滤膜，达到出水要求
- 经厌氧处理后的餐厨垃圾沼液，绝大多数有机氮转化为 $\text{NH}_3\text{-N}$ ，而且沼液中仍还有较高浓度的易降解有机物，可以作为生物反硝化过程的碳源，因此对于厌氧沼液的脱氮和去除COD的处理，采用反硝化-硝化AO工艺是合适的。

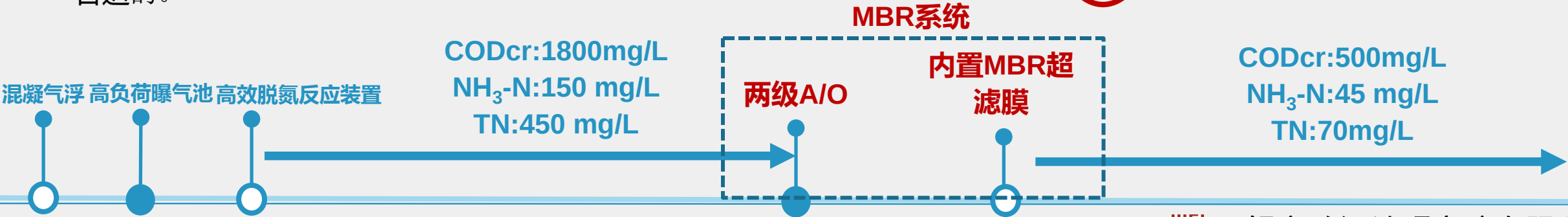


内置式膜生化反应器原理图



内置式超滤膜（PTTE）的过滤方式

工艺单元	项目	COD _{Cr} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TN (mg/L)	SS (mg/L)	动植物油 (mg/L)
MBR系统	1800	500	150	450	500	30	1800
	500	300	45	70	400	10	500
	72.2%	40%	70%	84.4%	20.0%	66.6%	72.2%





/04

调试运行

ANAMMOX® 特点

- 厌氧
- 自养性
- 红色
- 颗粒污泥



the online anammox resource

anammox.com

pioneering microbiology for a sustainable future



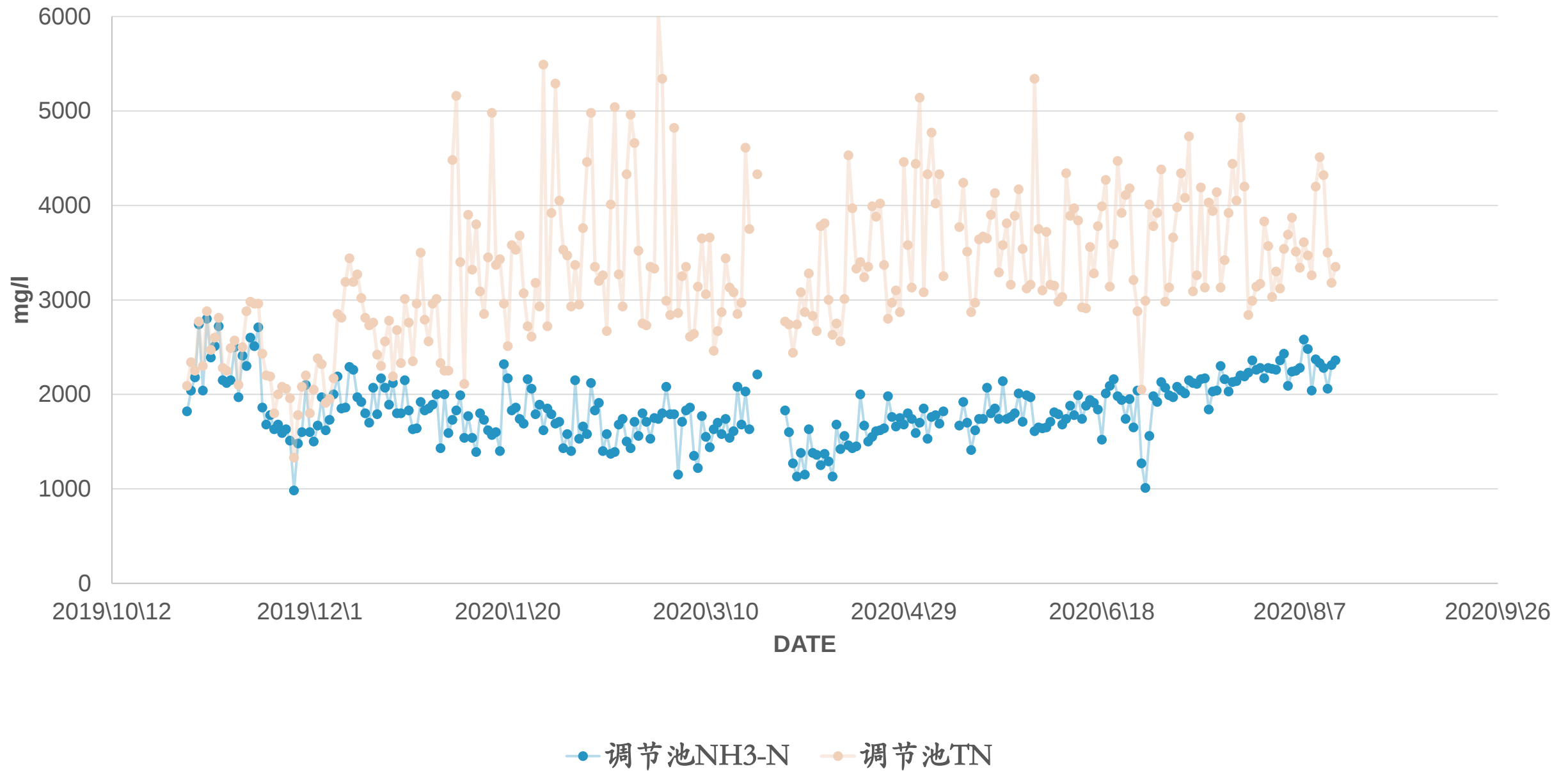
- 接种颗粒污泥



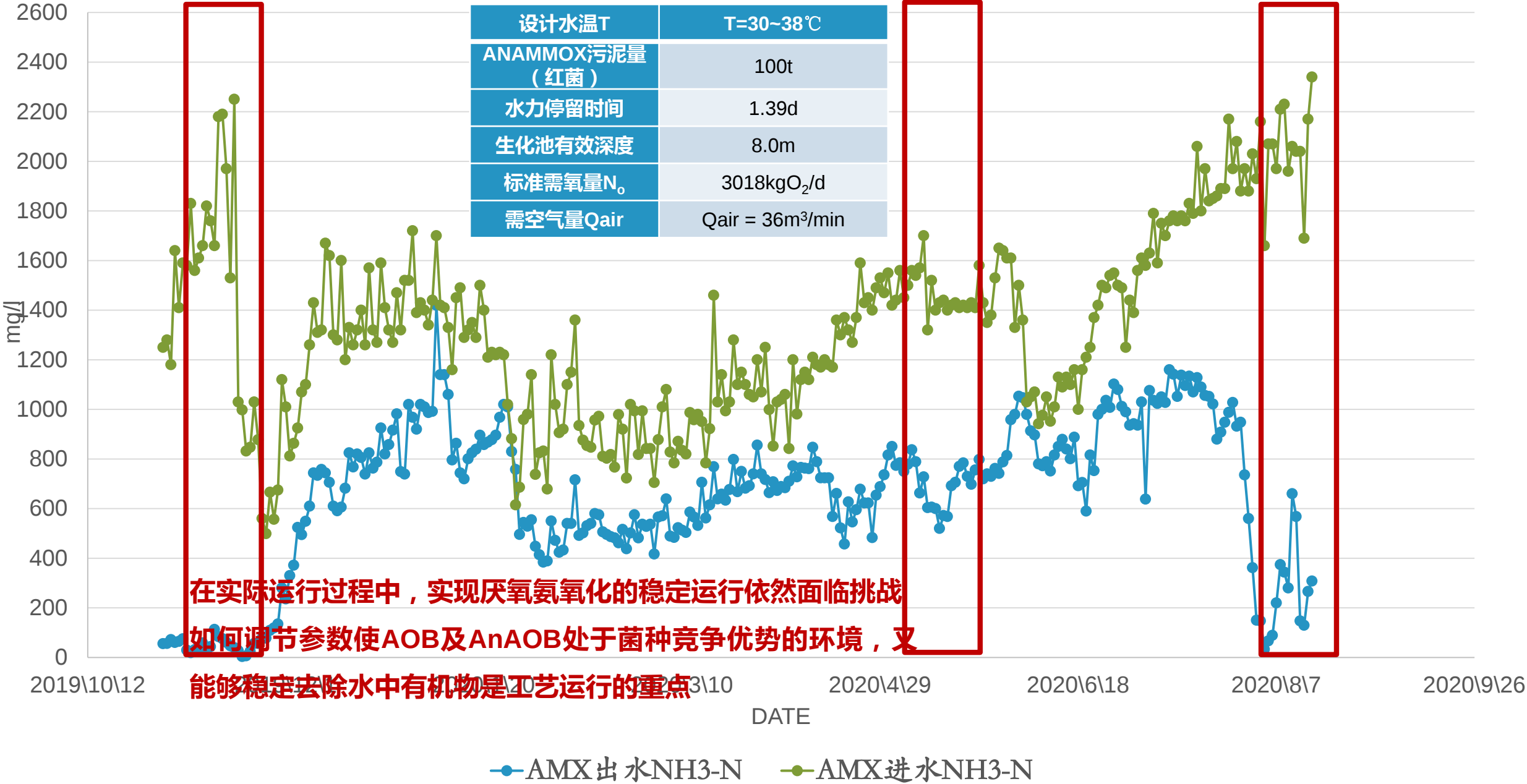
- 本项目颗粒污泥



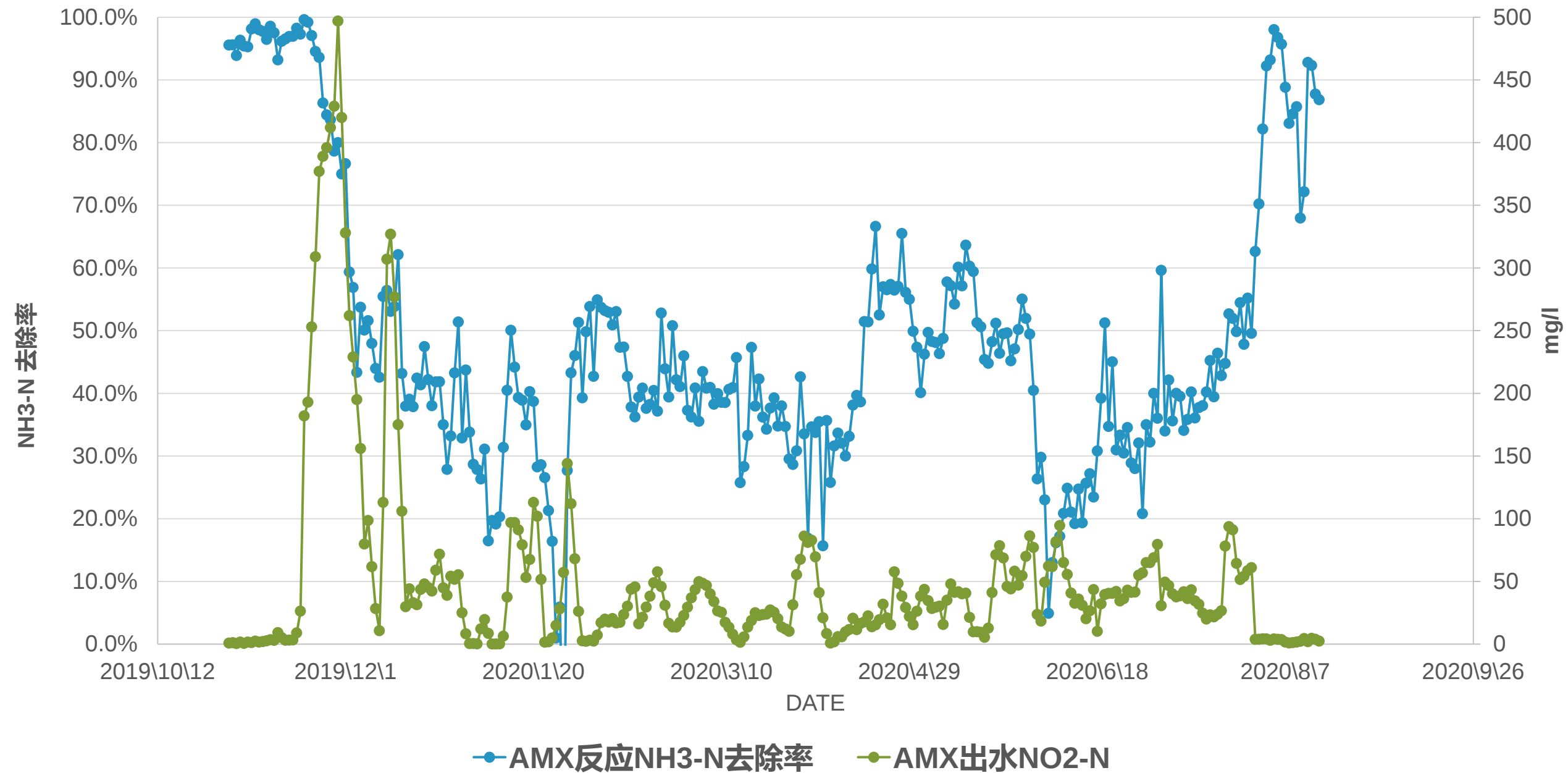
调节池NH3-N及TN浓度



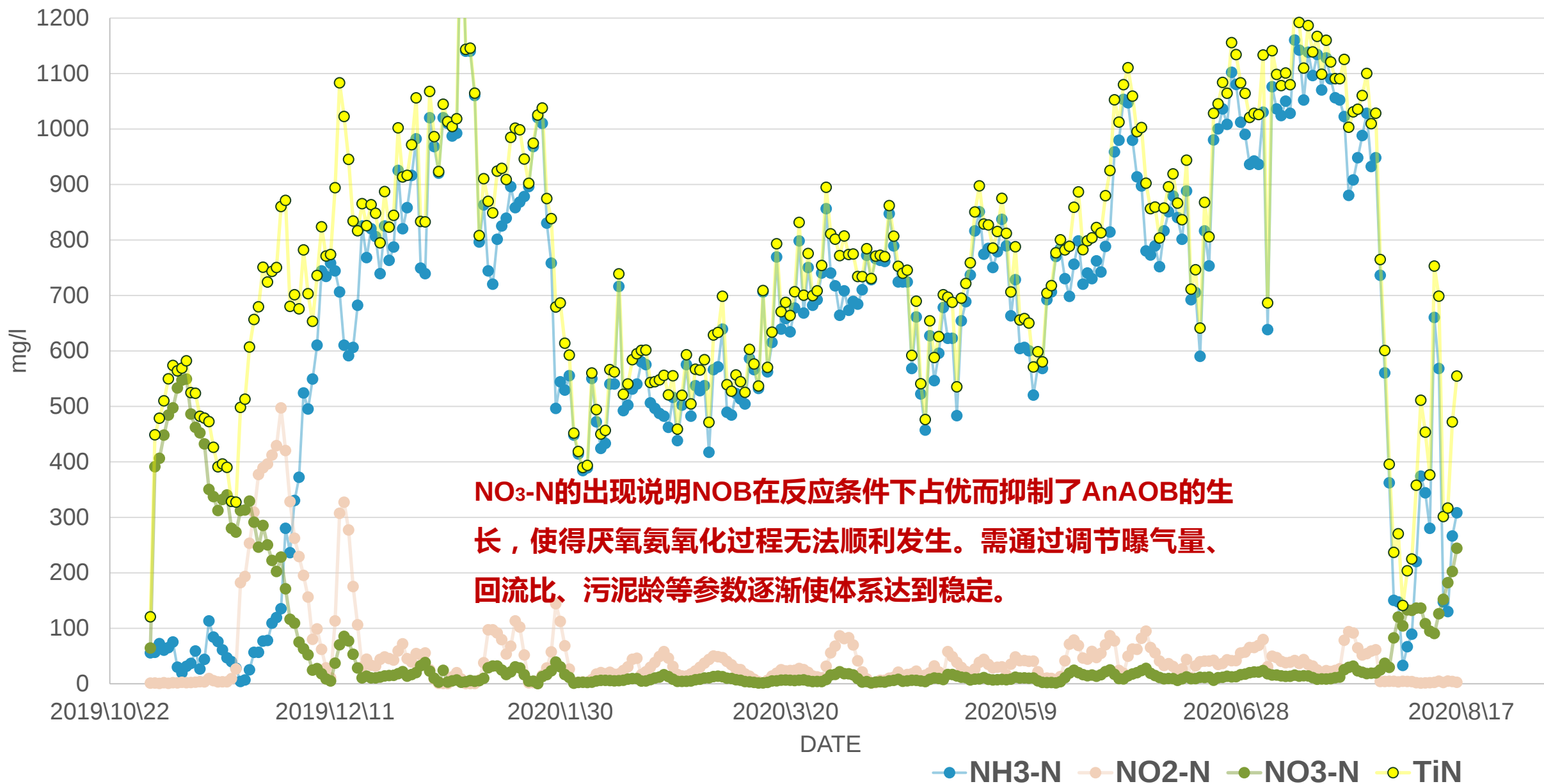
AMX进出水NH3-N对照



AMX出水NH3-N去除率及NO2-N



AMX出水水质



调试体会：

- 厌氧氨氧化菌对于餐厨沼液有着较好的适应性，沼液中未发现针对红菌的一致物质；
- 调试周期较长，需根据各项反应产物浓度（ $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ ， $\text{NO}_3\text{-N}$ ）的变化调整工艺参数；
- 稳定运行状态下，可达到80%以上的氨氮去除率；
- 运行成本低，不需要补充碱度及投加碳源；
- 厌氧氨氧化的运行对于降低沼液处理系统的脱氮成本有着决定性的影响；



Thanks



无锡市市政设计研究院有限公司