

生化系统中微生物及生物脱氮技术

南京工业大学

梅凯 梅凯

2024年4月

目 录

一、生化系统微生物

二、生物脱氮

三、短程硝化 (SHARON)

四、厌氧氨氧化(ANAMMOX)

五、其他脱氮技术

一、生化系统微生物

一、微生物基本概念

(一) 活性污泥基本形态

1、生化处理原理：利用微生物新陈代谢生理功能，将有机物转化为无机物

2、生化处理分类：

(1) 与氧的关系：好氧 (oxygen)、缺氧 (anoxic)、厌氧 (anaerobic)

(2) 微生物在系统中的状态：活性污泥法 (悬浮)、生物膜法 (固着)

3、活性污泥的形态

(1) 外观形态：

活性污泥 (生物絮凝体) 为黄褐色，絮凝体颗粒：

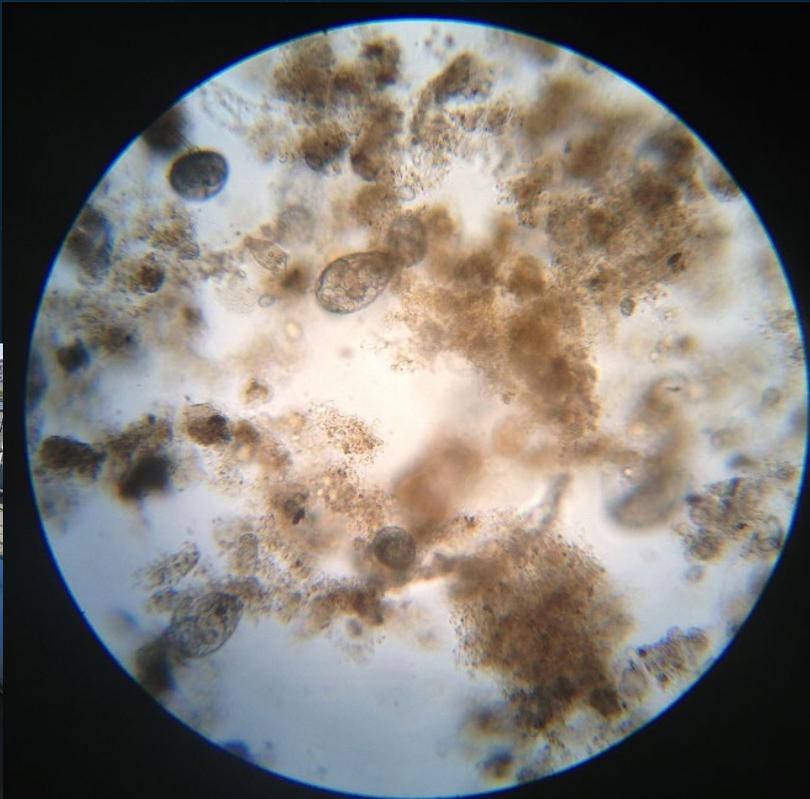
(2) 特点：

A: 颗粒大小: $d=0.02\sim 0.2\text{ mm}$

B: 表面积: $20\sim 100\text{ cm}^2/\text{mL}$

$(2000\sim 10000)\text{ m}^2/\text{m}^3\text{ 污泥}$

C: 含水率: $\geq 99\%$, 固体物质: $\leq 1\%$



(二) 活性污泥微生物的组成 (Ma)

1、细菌：A： 有很强的吸附、降解有机物和脱氮能力，**异养型**原核细菌（ $10^7 \sim 10^8$ 个/mL）

B： 絮凝体状的菌胶团主体，沉降分离时间=20~30min。

2、真菌：A： 腐生或寄生丝状菌；

B： 保持较高的净化效率、低的处理出水浓度及出水SS，为污泥膨胀的主体菌。

3、原生动物：

A： 作为指示性生物，通过原生物种类和活跃程度，判断处理水质的优劣；

B： 原生物摄食水中的游离细菌和有机物，是细菌的首次捕食者。**鞭毛虫，纤毛虫**

3、后生动物：

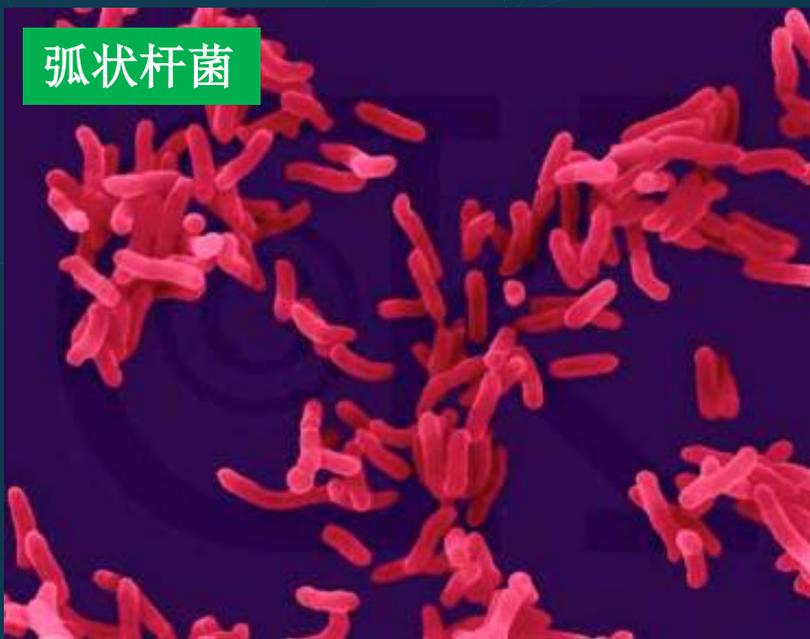
A： 作为镜检指示性生物，轮虫的出现是水质稳定的标志；

B： 后生动物是细菌的第二捕食者。主要是**轮虫**



厌氧氨硝化菌

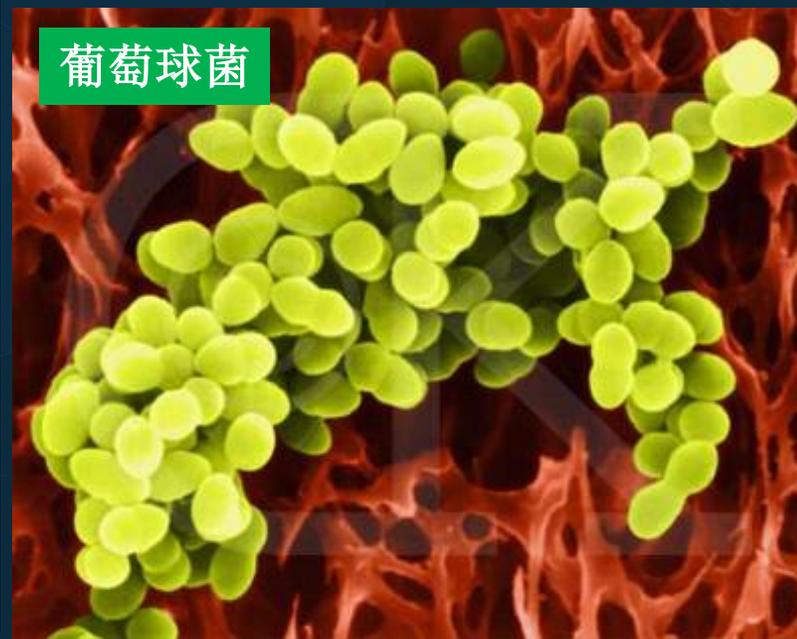
弧状杆菌



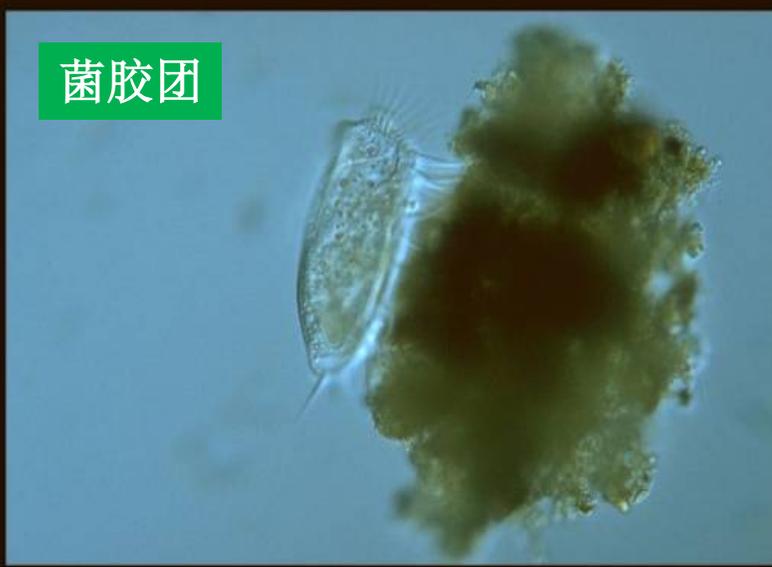
放线杆菌



葡萄球菌



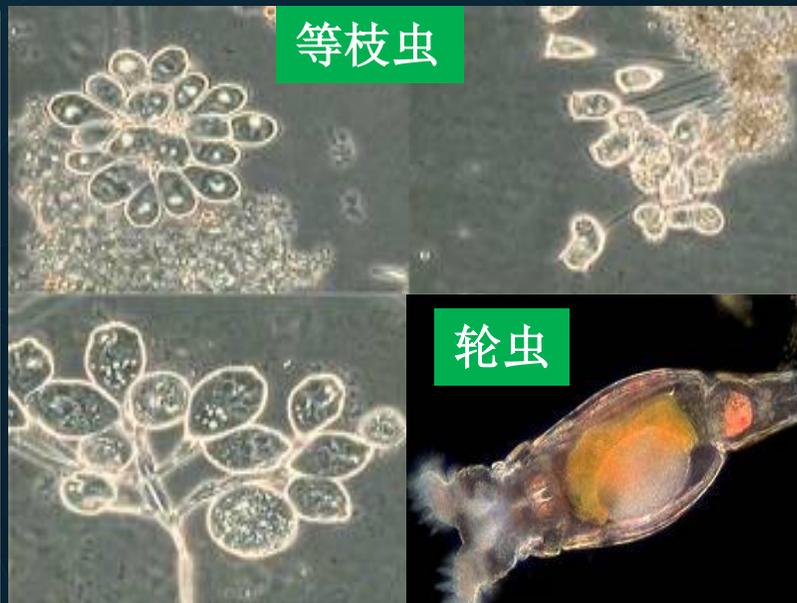
菌胶团



丝状菌



等枝虫



轮虫



(三) 微生物生长四个阶段(F/M、 N_s)

- 1、**适应期**（延迟期或调整期）：是微生物的细胞内各种酶系统对环境的**适应**过程（用于生物的**接种、培养**）；
- 2、**对数增殖期**（等速增殖期）：活性污泥能量水平很高，活性污泥处于松散状态，出水浑浊，SS值高，**水质差，耗氧量大，剩余污泥量大**；（底物浓度充裕，**不受F/M控**）
- 3、**减速增殖期**（减速增长期）：底物浓度**受F/M控**，活性污泥能量减小，污泥絮凝性增强。出水浊度下降，SS下降，**供氧强度和剩余泥量减小，水质改善**；
- 4、**内源呼吸期**（衰亡期）：营养物缺乏，为了获得能量维持生命，**分解代谢自身的能量物质**，开始衰亡。同时内酶分解细胞壁，使污泥量减少。随即有机物几乎被耗尽，能量水平极低，微生物活动能力非常低，絮凝体形成速率增大，处理水显著澄清，**水质良好，剩余污泥量极少**；**污泥中无机、难生降解成分 $\cong 30\%$** 。（受环境的影响，呈现出非常高的变异性）

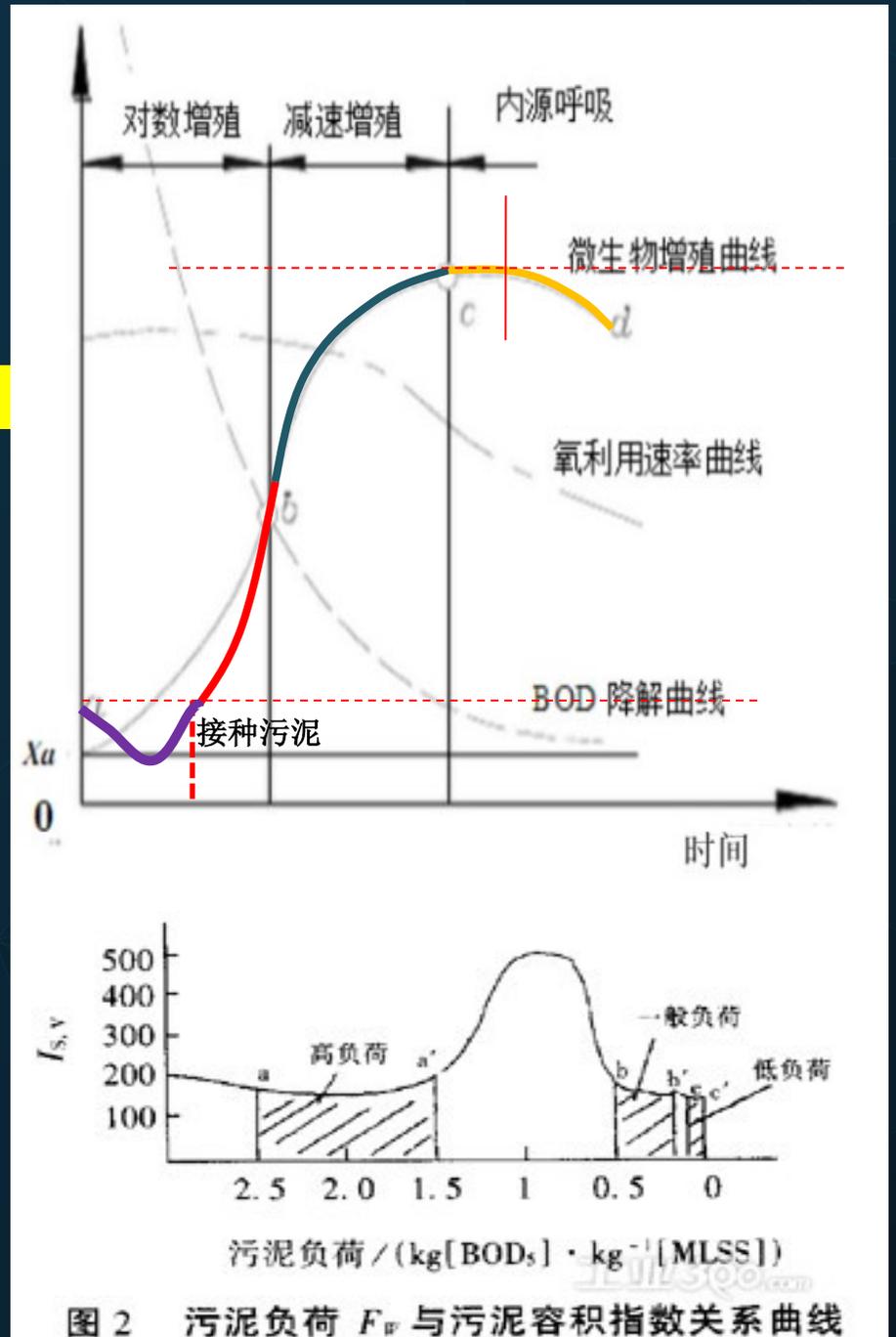


图2 污泥负荷 F_v 与污泥容积指数关系曲线

二、生化脱氮

2、1 硝化与反硝化

1、**概念**：生化脱氮是在微生物的作用下，将有机氮和氨态氮转换为 N_2 。

两个阶段：硝化反应：**在好氧条件下**，由亚硝化菌和硝化细菌将 NH_4^+ **氧化**为 NO_2^- 、 NO_3^- 。这两种菌属于**化能自养菌**

反硝化反应：**在缺氧的条件下**，由反硝化菌将 NO_2^- 、 NO_3^- 还原为 N_2 。反硝化菌属于**化能异养菌**。

生物特性：具有强烈的**疏水性（亲固性）**，易于附着固体表面（接触氧化法：颗粒污泥、MBBR、悬挂填料）

2、反应原理：

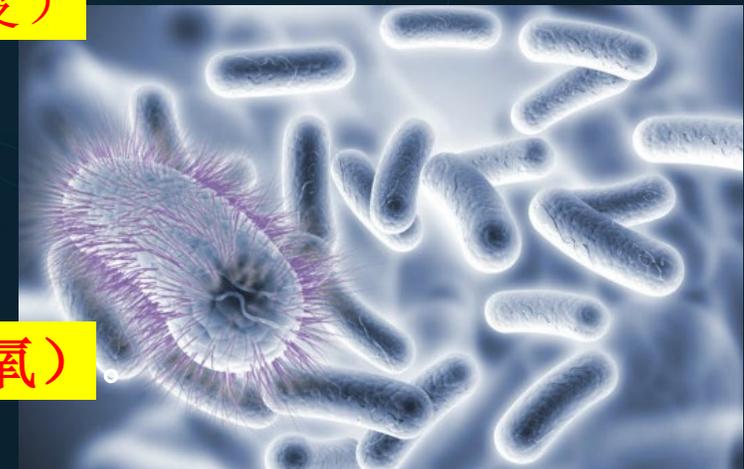
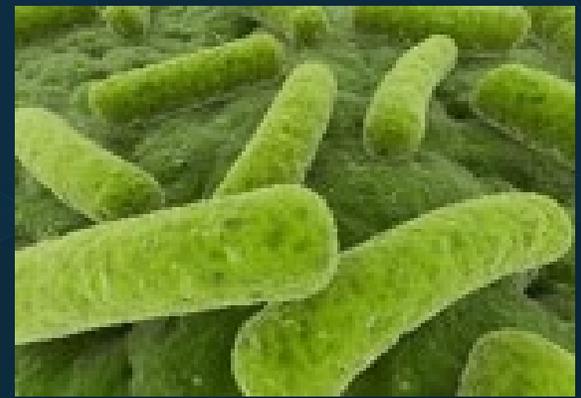
硝化反应： $2 NH_4^+ + 3 O_2 \longrightarrow 2 NO_2^- + 4 H^+ + 2 H_2O$ （维持碱度）

$2 NO_2^- + O_2 \longrightarrow 2 NO_3^-$

总反应式：

$2 NH_4^+ + 4 O_2 \longrightarrow 2 NO_3^- + 4 H^+ + 2 H_2O$

以 NH_4^-N 为电子供体， O_2 作为电子受体（提供足够氧）。





总反应式:



以有机碳为电子供体, NO_2^- 、 NO_3^- 作为电子受体 (提供足够碳源)。

2.2、影响因素

1、硝化反应: 硝化菌属于: 化能自养菌, 以氨氮为电子供体, 生长率低。

A、温度: $20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$; $< 15^\circ\text{C}$, 处理效率 $-10\%/1^\circ\text{C}$; 小于等于 5°C 休眠;

B、C/N: 高 \rightarrow 刺激异养菌, 抑制硝化菌。 C/N与硝化菌关系:

C/N	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00
硝化菌 占比例	0.35	0.21	0.12	0.083	0.064	0.054	0.043	0.037	0.033	0.029

C、泥龄：硝化细菌世代周期较长，泥龄为周期2倍以上

$$\theta_c = \frac{VX}{\Delta X} \text{ (d)}$$

ΔX —— 每日排放污泥

$$\therefore \theta_c = \frac{VX}{Q_w X_r}$$

$$(X_r)_{\max} = \frac{10^6}{SVI}$$

X_r 是活性污泥特性和二沉池沉淀效果的函数。

泥龄：活性污泥在曝气池内的平均停留时间—生物固体

平均停留时间。规范建议12~23d，如取 $\theta_c=30d$ ， $\Delta X=VX/30$ 。长泥龄，致负荷低，营养不足，细菌死亡，MBR池产生大量泡沫。

D、碳源： $BOD_5/TKN > 2.86$ ， > 8.0 碳化菌过量繁殖会抑制硝化菌。

四化顺序：硫化→氨化→碳化→硝化

E、溶解氧DO：DO $>2\text{mg/L}$ （ $4.2\text{gO}_2/\text{gNH}_3\text{-N}$ ），DO $<0.7\text{mg/L}$ ，硝化停止。

F、pH：pH = 7~8，硝化过程中产生质子（ H^+ ），需要碱中和，理论上每氧化1g的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 需要碱度7.14g（ NaCO_3 ）（碱度控制经常忽略）

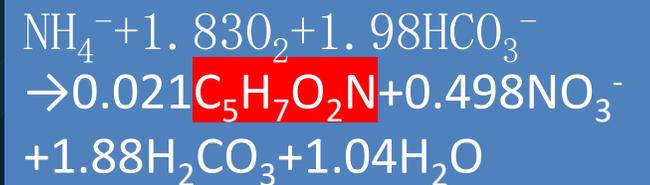
V:曝气池有效容积 m^3

X:MLVSS kg/m^3

ΔX :剩余污泥量 kg/d

Q_w : 剩余污泥量 m^3/d

X_r :剩余污泥浓度 kg/m^3
=回流污泥浓度



2、反硝化反应

A、特点：反硝化菌属于：**化能兼性异养菌**，以有机物为电子供体和碳源，生长速率大于硝化菌。

A₁、在O₂存在下，进行**好氧呼吸**，以**分子氧作为电子受体**；

B₁、**无O₂情况下，进行分子内呼吸，以NO₃⁻或NO₂⁻作为电子受体**，以O²⁻作为受氢体生成H₂O+OH⁻。

B、DO： DO = 0.2~0.5mg/L，**内回流携带大量的DO对缺氧的破坏作用，造成反硝化反应停止。**

C、碳源： C/N (BOD₅/TKN) >3~5就可满足反应的碳源需要。 **C/N<3, 需要补充外加碳源**

种类：甲醇、原水中有机物、菌体内原生质及储存有机物。 C/N越高，反硝化效果越好。

E、pH： 最佳pH=6.5~7.5。反硝化产生：3.57g碱度/gNO₃-N。

F、温度： 20~30℃， <15℃、 >40℃反应速率受到明显抑制。

2.3、硝化和反硝化负荷

总氮负荷：**0.02~0.10gTN/gMLSS.d**

硝化负荷：**0.01~0.03gTN/gMLSS.d**

反硝化负荷：**0.03~0.06gTN/gMLSS.d** (**为硝化的2~3倍**)

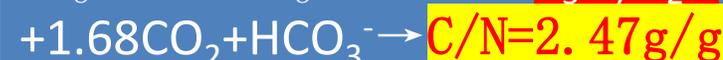


$$1\text{molCH}_3\text{OH} = 1.5\text{molO}_2 = 48\text{gO}_2/\text{g}$$



$$1\text{molNO}_3^- = 0.833\text{molCH}_3\text{OH}$$

$$\text{C/N} = 0.833 \times 48 / 14 = 40 / 14 = 2.86\text{g/g}$$



$$\text{产碱度/N} = 3.57\text{g/g}$$

三、短程硝化 (SHARON)

1、常规生物脱氮两阶段：硝化阶段（氧化）：氨氧化+亚硝酸盐氧化阶段；

反硝化（还原）：硝酸盐还原 + 亚硝酸盐还原阶段

氧化段：硝化：氨氧化菌（AOB）：(1) $2 \text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2^- + 4 \text{H}^+ + 2 \text{H}_2\text{O}$

亚硝酸盐氧化菌（NOB）：(2) $2 \text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_3^-$

还原段：反硝化：硝酸盐还原：(3) $6 \text{NO}_3^- + 2\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 6 \text{NO}_2^- + 2\text{CO}_2 \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$

亚硝酸盐还原：(4) $6 \text{NO}_2^- + 3\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 3\text{N}_2 \uparrow + 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{OH}^- + 3\text{CO}_2 \uparrow$

2、短程硝化

短程硝化就是将硝化控制在氨氧化阶段，采取技术措施

抑制NOB，促使亚硝酸盐的积累，直接进行亚硝酸盐还原为氮气。

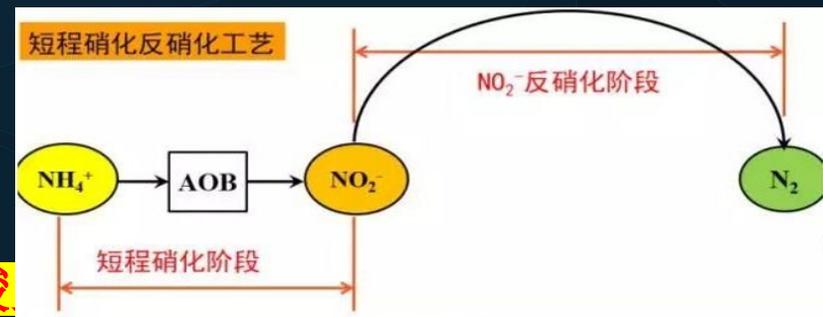


短程硝化是在同一个反应器中（SBR），先在有氧的条件下，利用氨

氧化细菌AOB将氨氧化成亚硝酸盐，阻止亚硝酸盐进一步氧化，然后

直接在缺氧的条件下，以有机物或外加碳源作为电子供体，以亚硝酸

氮气。



3、短程硝化优势

短程硝化反硝化与传统生物脱氮相比具有以下优点：

- A、降低25%曝气量的能耗：减少了亚硝酸盐氧化阶段供氧量；
- B、节省40%碳源：减少了硝酸盐还原阶段碳源；
- C、减少反应器30%容积：省掉了亚硝酸盐氧化、硝酸盐还原两个阶段，充分利用AOB反应速率大NOB特点，缩短了30%反应时间HRT，提高MLSS；
- D、降低剩余污泥量：硝化菌增值速率 $0.28\sim 1.44\text{g/g.N.d}$ ，而反硝化菌仅为硝化菌的40%~50%。
产泥减少：硝化24%~33%、反硝化50%（**缩减污泥量**）。

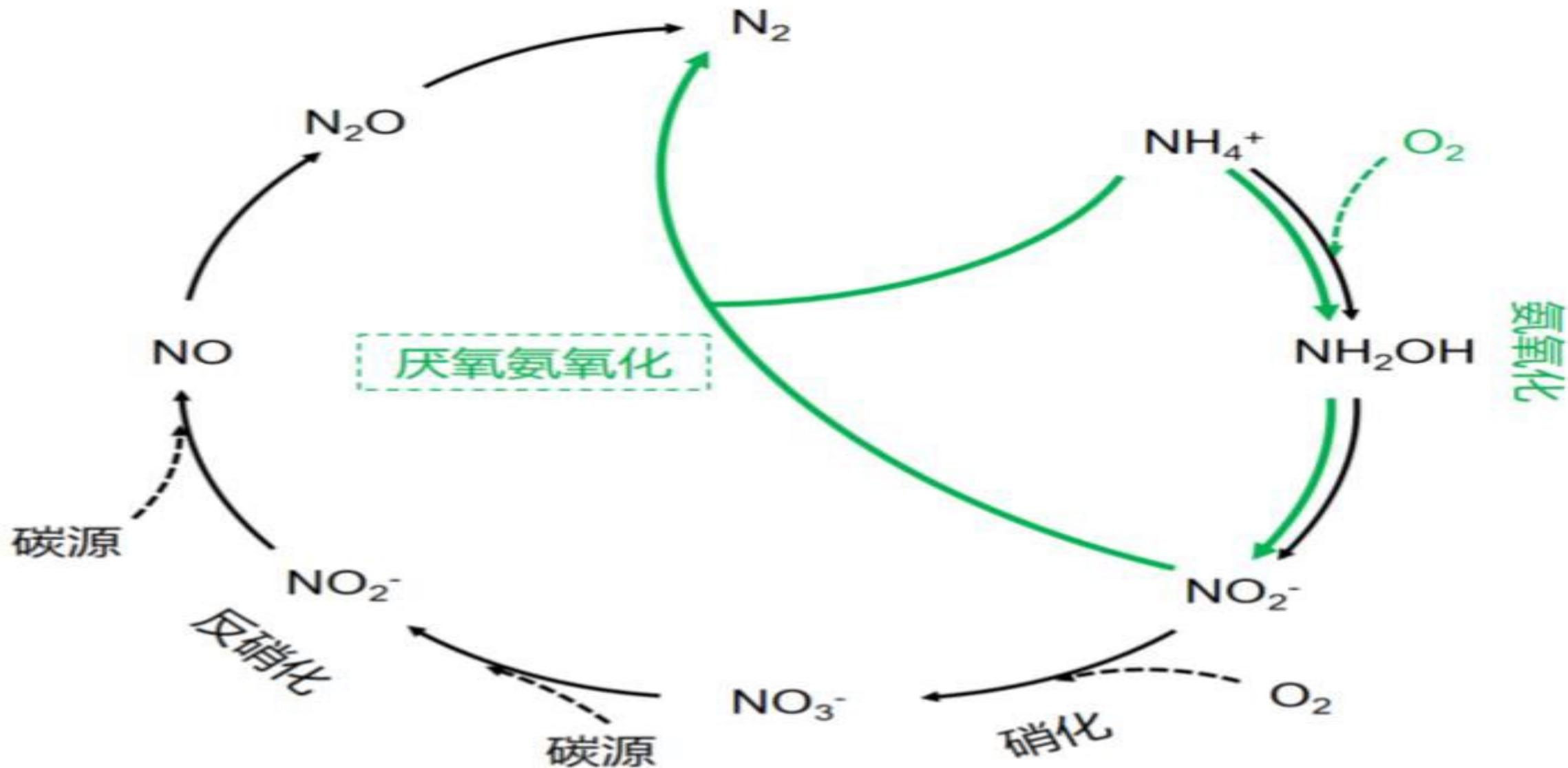
4、短程硝化关键

抑制亚硝化氧化菌（NOB），维持 NO_2^- -N浓度的稳定。

5、抑制NOB调控策略

- A、控制 $12\sim 14^\circ\text{C} < \text{温度} < 30\sim 35^\circ\text{C}$ ：利用 **$15\sim 30^\circ\text{C}$ 为NOB最佳温度**，用于好氧硝化初期调试启动。
- B、提高的游离氨（FA）浓度：FA抑制浓度：**AOB: $10\sim 15\text{mg/L}$ ；NOB: $0.1\sim 1.1\text{mg/L}$ ；**
- C、控制DO：AOB氧饱和常数为 $0.30 < 1.1\text{mg/L}$ （NOB），AOB对氧的亲合力 $>$ NOB，在低DO下，其活性和生长率均 $>$ NOB，当 **$\text{DO} < 0.5\text{mg/L}$ ， NO_2^- 占比 $> 90\%$ ；**
- D、控制曝气方式、频率：利用NOB对氧的亲合力弱，使**环境在好氧与缺氧之间迅速转换。如SBR；**
- E、短的SRT： $\text{SRT} = \text{HRT}$ ，将**NOB以剩余污泥的方式从系统中淘洗掉，AOB增长速率大于NOB的增速率。**
- F、控制 $\text{pH} = 7.5\sim 8.5$ ：**AOB $\text{pH} = 7.0\sim 8.5$ ；NOB $= 6.0\sim 7.0$ 。**

四、厌氧氨氧化(ANAMMOX)



厌氧氨氧化通路（绿色）相较于传统A/O通路（黑色）
降低了100%碳源和60%的氧气消耗（能耗）

1、概念：厌氧氨氧化是20世纪90年代由荷兰Delft 大学开发的一种新型脱氮工艺。

该工艺在厌氧条件下，微生物直接以 NH_4^+ 为电子供体，以 NO_2^- 为电子受体，以 CO_2 或 CO_3^{2-} 作为碳源，将 NH_4^+ 转换为 $\text{N}_2 \uparrow$ 的生物氧化过程。

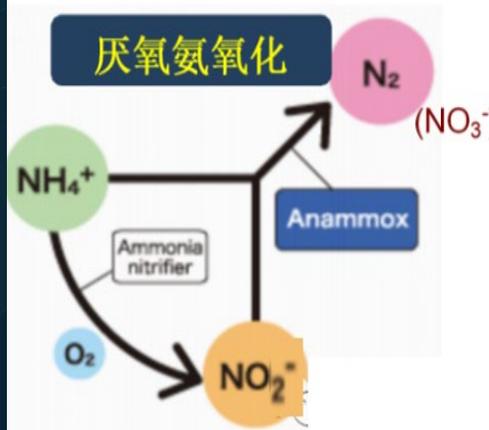
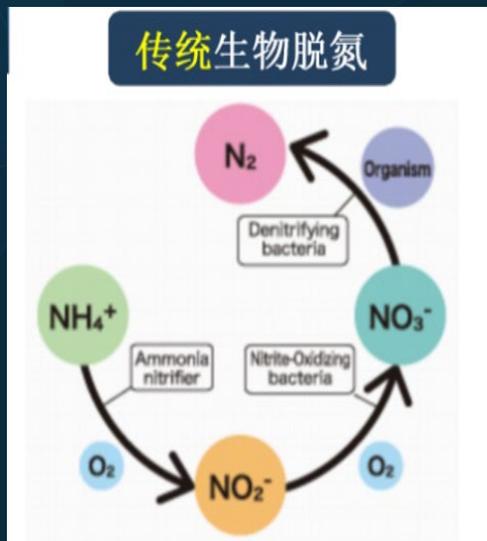
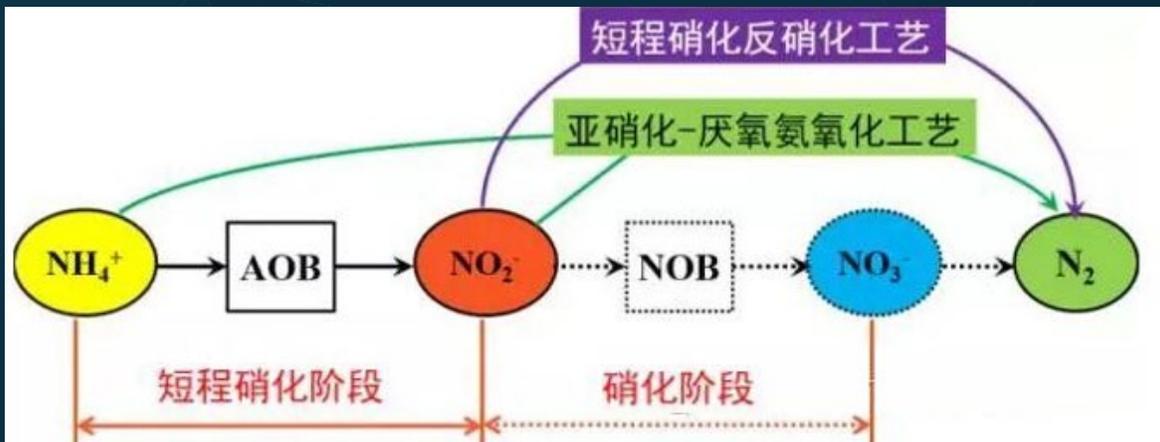
两个阶段：

氨氧化： $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{H}_2 \uparrow$ （将50.8%的氮转换 NO_2^- ）

反硝化： $\text{NH}_4^+ + 1.32 \text{NO}_2^- \rightarrow 1.02\text{N}_2 \uparrow + 0.26\text{NO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O}$

2、厌氧氨氧化菌（ANAMMOXB “红菌”）

特性：完全自养，属浮霉门自养型革兰氏阴性菌，直径 $0.8 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 呈球型、卵型。中温偏碱生存环境。



3、特点

该工艺是由**氨氮和亚硝酸盐在厌氧氨氧化菌的作用下生成氮气**和**少部分硝酸盐**而实现自养脱氮，其特点：

- ①能耗低：**氧化1kg氨氮可节约4.57kgO₂**，减小了供氧量，可节能50~60%曝气能耗；
- ②无需外碳源：**以CO₂或CO₃⁻为碳源**，无需外加碳源；
- ③产酸量少，无需中和；1mol氨氮氧化为亚硝酸盐，会产生2molH₂↑。50%氨氮→N₂↑，**减少一半H₂↑**。
- ④产泥量小，减少污泥处理费；ANAMMOXB世代周期10~20d，增长速率低，**产泥量小**。
- ⑤占地省、运行费用低：占地省50%，无动力、碳源消耗，运行费低，其**处理成本为普通生物脱氮工艺1/3**。

4、调控ANAMMOXB策略

- A、温度：最适温度：30~40℃，**最佳37℃**；电子供体和亚硝酸盐反硝化碳源，是反硝化
- B、pH：最适宜pH：6.7~8.3，在**8.0左右其反应速率最大**；菌与厌氧氨氧化菌竞争的生存空间
- C、溶解氧：氧对厌氧氨氧化菌具有毒害性，反应器中有**氧气的存在对它产生明显的抑制作用**。
- D、有机物：在厌氧条件下，**有机物会作为和底物，从而抑制厌氧氨氧化菌的活性**。
- E、光：**光对厌氧氨氧化菌会产生抑制作用**，会导致氨氮去除率降低。

5、需技术攻关问题：



5、系统运行优势

5.1、传统反硝化稳定性差：传统反硝化需碳源，产生气体（ $\text{N}_2 \uparrow$ 、 $\text{CO}_2 \uparrow$ ）导致污泥沉降性差，沉淀池跑泥严重，出水悬浮物超标，硝化菌大量流失，系统失去硝化效果，可能会导致出水TN超标，难以实现稳定运行。

5.2、厌氧氨氧化运行稳定：厌氧氨氧化为自养型脱氮工艺，无需外加碳源，产气量少，解决了常规反硝化污泥流失问题。同时，在系统内增设固定化生物填料，可实现有效截留微生物，系统中絮状、颗粒状、生物膜状活性污泥并存，可保障系统的微生物浓度，提高系统运行稳定性。

5.3、强化进水中有机物资源化 过高的C/N比会破坏厌氧氨氧化反应，故降碳是保证厌氧氨氧化正常运行必备的预处理技术措施，厌氧是作为首选降碳技术，既降碳又实现碳资源化双效功能。

5.4、减少二氧化碳的排放



碳经济背景下，厌氧氨氧化可大幅度减少 $\text{CO}_2 \uparrow$ 的排放。

厌氧氨氧化池





6、案例 餐厨垃圾压榨液废水

6.1 设计规模：240 m³/d

表3 项目进出水水质监测结果

Table 3 Monitoring results of inlet and outlet water quality of the project

项目	COD/(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)	动植物油/(mg·L ⁻¹)
进水	95 000~118 000	48 000~62 000	23 000~35 000	2 200~2 800	2 500~3 600	100~150	1 500~2 800
出水	<100	<5	<15	22~36	32~57	<5	<5
排放标准	500	350	400	45	70	8	100

表3 各处理单元设计出水水质

Table Design outlet water quality of each treatment unit

项目	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	动植物油 (mg/L)
预处理	70000	38000	1450	3200	3800	27	50
除碳除氮	3000	1600	187	300	320	12	5
生化	150	107	30	15	18	5	2
深度处理	60	25	10	10	12	2	2

6.2、工艺流程

预处理：隔油沉渣+混凝沉淀+气浮

除碳：VABR 厌氧氨氧化

生化：二级A/O+MBR

深度处理：臭氧催化氧化+混凝沉淀+活性炭过滤

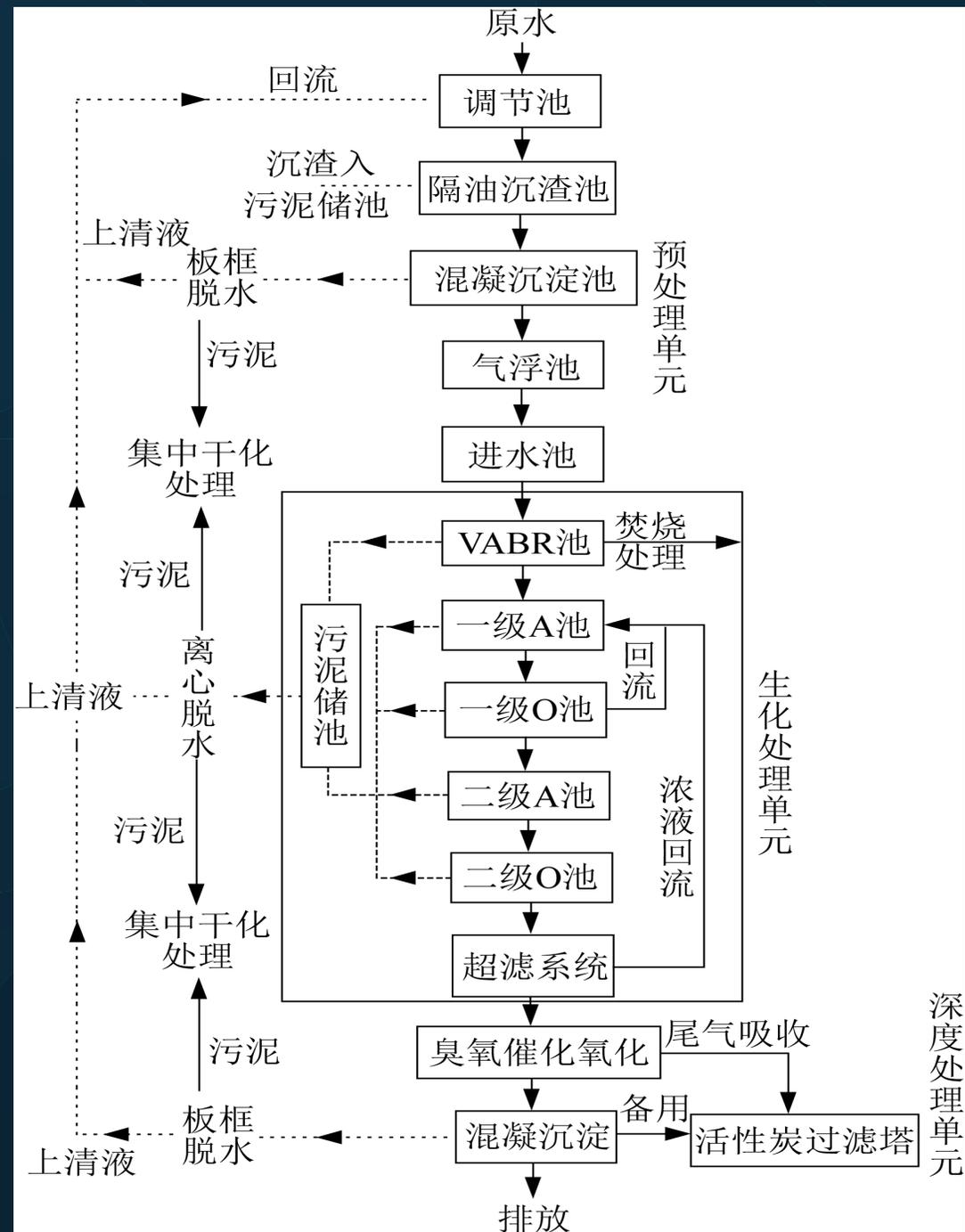
投资：土建260+安装1600 = 1860万元 (10.83万元/m³)

运行费：32.83元/m³

表4 项目直接处理成本

Table 4 The direct processing cost of the project

主要项目	费用/(元·m ⁻³)	费用占比/%	相关说明
水费	1.00	3.05	加药、清洗等用水折算约0.2 m ³ /m ³ ;水费单价以5元/m ³ 计
药剂费	4.20	12.79	包含PAC、PAM、消泡剂、阻垢剂、清洗剂等
电费	15.60	47.52	经测算,污水、污泥、加药搅拌等运行电耗约为24 kW·h/m ³ ;电价以0.65元/(kW·h)计
人工费	10.27	31.30	厂区配备主管、操作工(2人三班制)、机修工等合计9人,平均年薪10万元(包含社保、福利等)
维修费	1.75	5.34	按设备购置费1%计



厨余垃圾处理



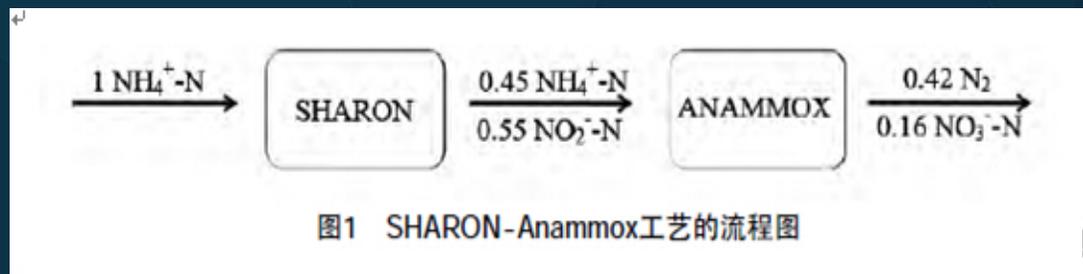
垃圾渗滤液处理



五、其他脱氮技术

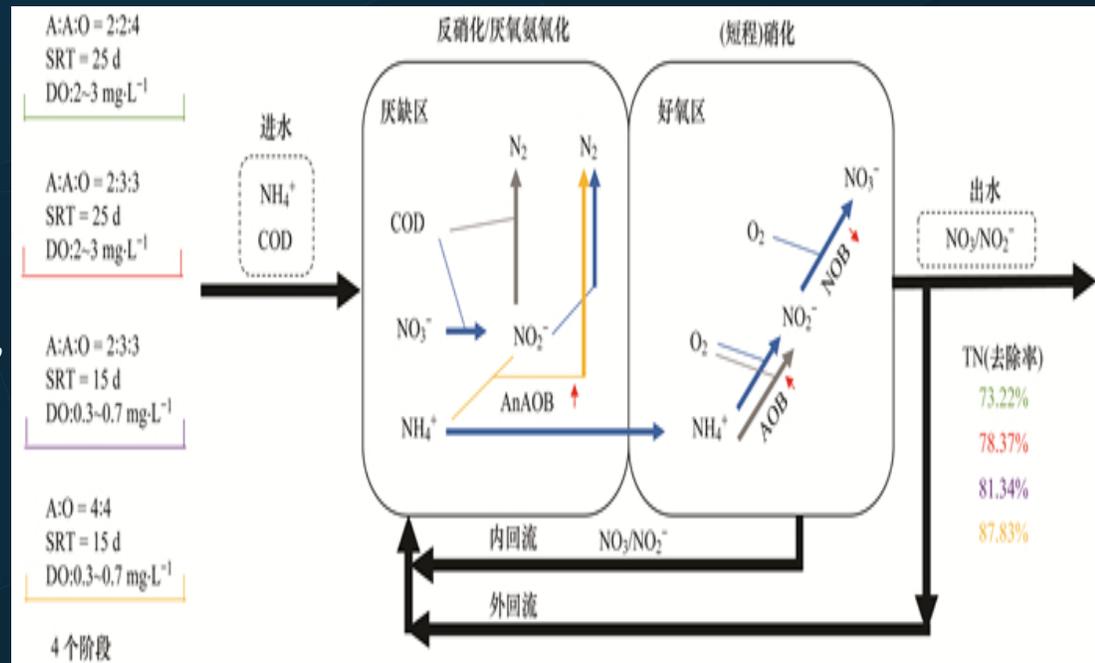
5.1、短程硝化耦合工艺（SHARON）+厌氧氨氧化（ANAMMOX）

1、概念：分别在**两个反应器**中实现SHARON和ANAMMOX，先在一个**有氧反应器内**，AOB将50~60%的氨氧化为 NO_2^- ，然后在另一个**缺氧反应器**内，AnAOB将剩余 NH_4^+ 为电子供体，将新生的 NO_2^- 反硝化。



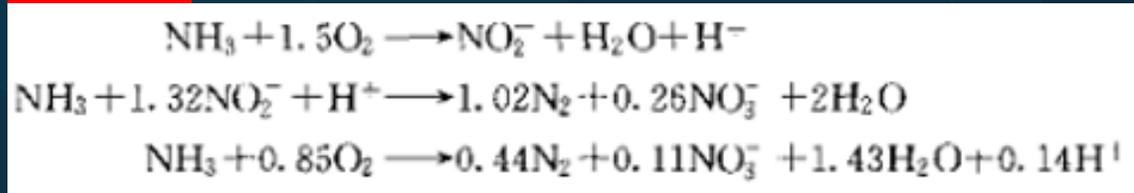
2、特点：

- A、**运行、调控方便、活灵**：脱氮过程分别在两个反应器完成，可以灵活、稳定地单独运行与调节；
- B、**抗冲击负荷能力强**：两个反应器运行条件各异，抗冲击负荷能力强，系统扰动后恢复时间短；
- C、**运行稳定**：氨氮与亚硝基氮的比例相对稳定，厌氧氨氧化反应器的进水氨氮与亚硝基氮的比例相对稳定。
- D、**具有解毒功能**：短程硝化对一些有毒有机物有解毒作用，作为厌氧反应器的预处理，更适合于处理含
有毒有机物的废水。
- E、**运行成本低**：省50%曝气量，100%碳源

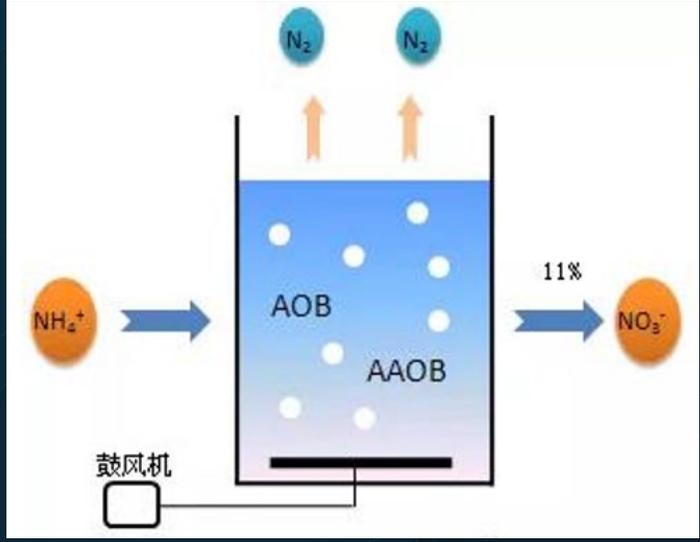


5.2、全自养脱氮工艺(CANON: Completely autotrophic nitrogen removal over nitrite)

- 1、概念: CANON是全自养脱氮处置工艺的简称。在同一个反应器内, 实现氨的氧化和亚硝酸盐的还原。
- 2、原理: 在好氧条件下, 好氧氨氧化菌AOB将氨氮氧化成亚硝酸盐, 在厌氧条件下, 厌氧氨氧化菌AnAOB将氨和亚硝酸盐转化为氮气。



- 3、关键: 控制好反应中的溶解氧, 以保证AOB和AnAOB的氧化、还原反应。
- 4、工艺优点:



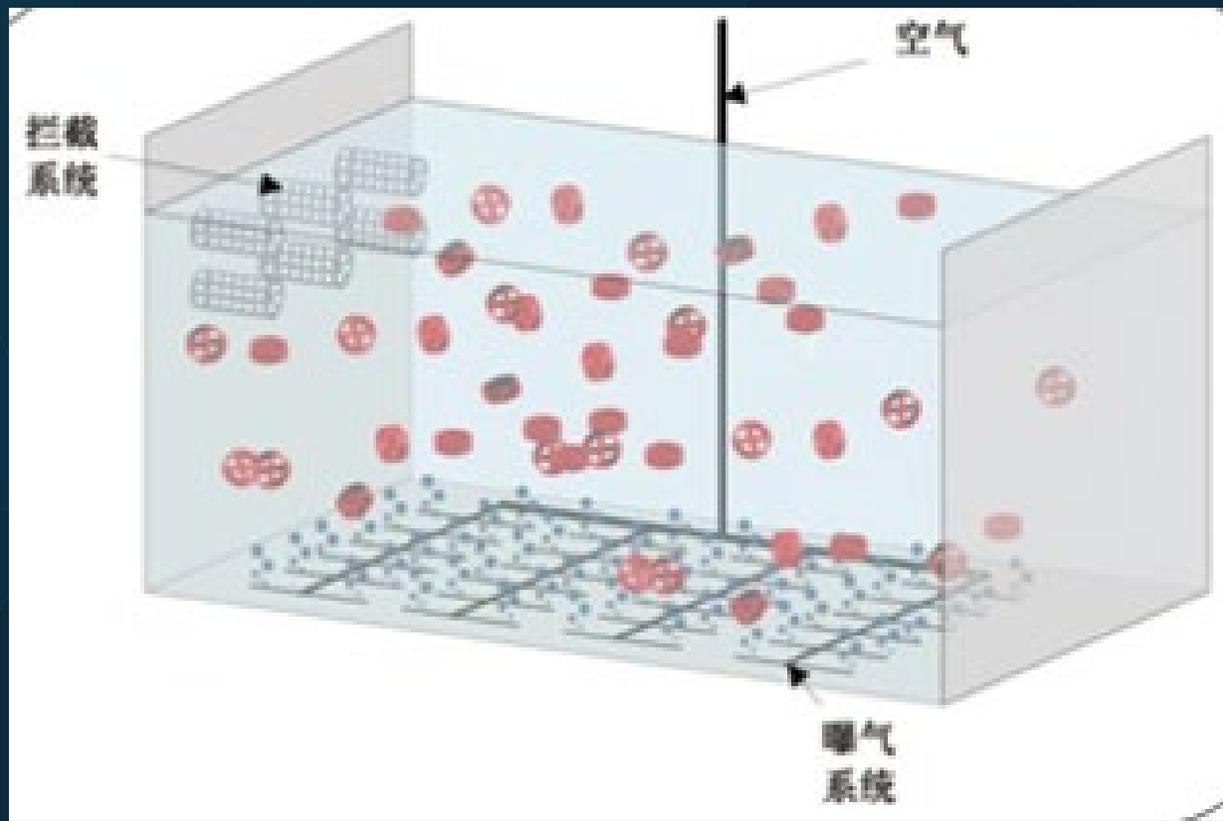
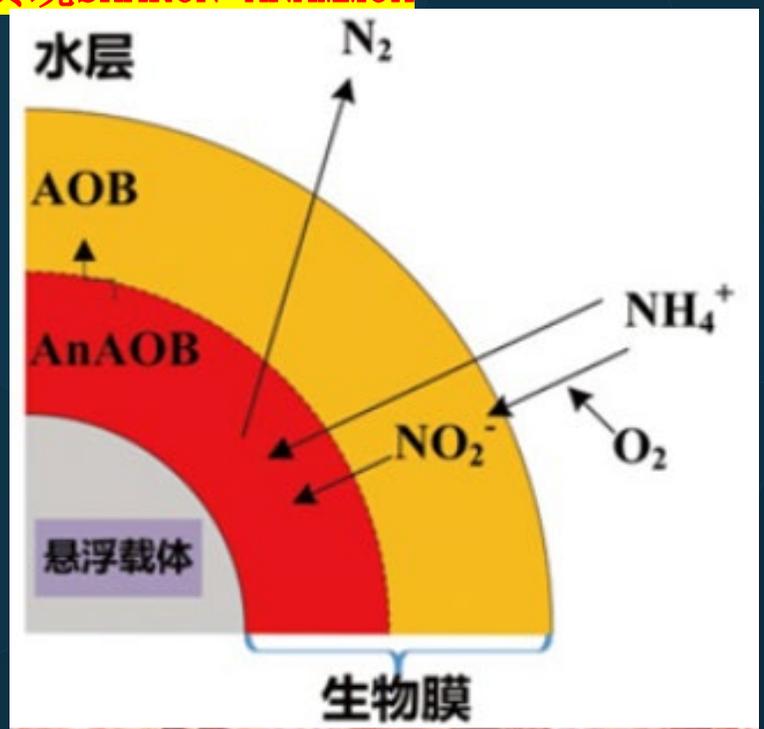
- A、降低了亚硝酸盐积累的抑制影响: 短程硝化产生的亚硝酸盐直接参与厌氧氨氧化反应, 可以有效地避免亚硝酸盐积累的抑制;
- B、运行成本低: 可以在无机条件下运行, 节省50%的碱度和碳源, 节约供氧62.5%;
- C、反应器效率高: 单位体积的高脱氮率;
- D、具有投资省: 结构紧凑、操作和控制简单。

5、存在问题

- A、厌氧氨氧化菌AnAOB世代长, 启动时间长;
- B、反应器内微生物之间的生态关系复杂; 在负荷冲击下容易出现不稳定, 并引起连锁反应, 导致系统受到干扰后出现“雪崩”效应, 恢复时间长。

工艺: SBR、MBBR、接触氧化

通过MBBR悬浮填料载体富集功能菌，实现生物膜内层富集AnAOB，外层富集AOB，实现SHARON+ANAMMOX

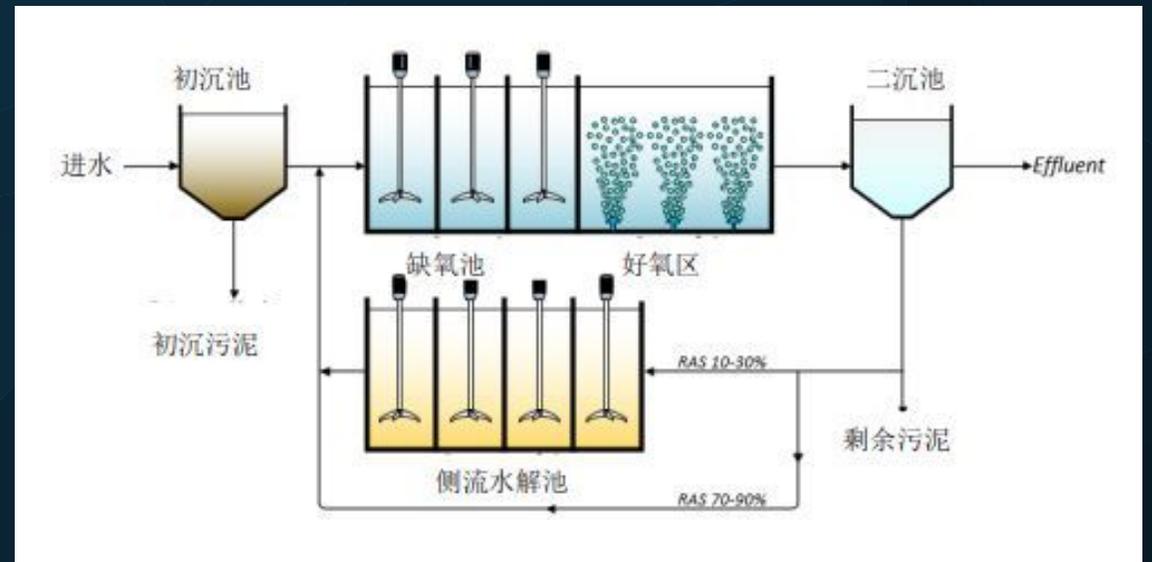
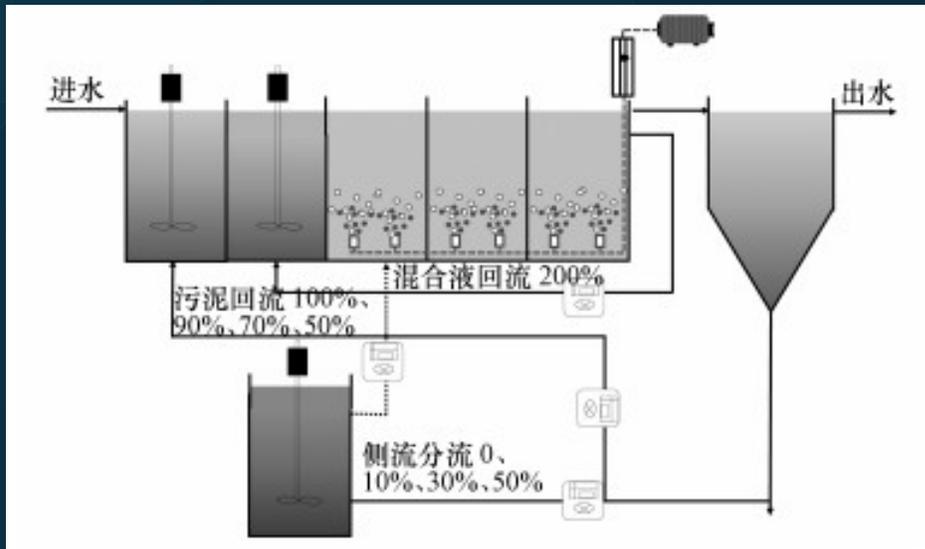
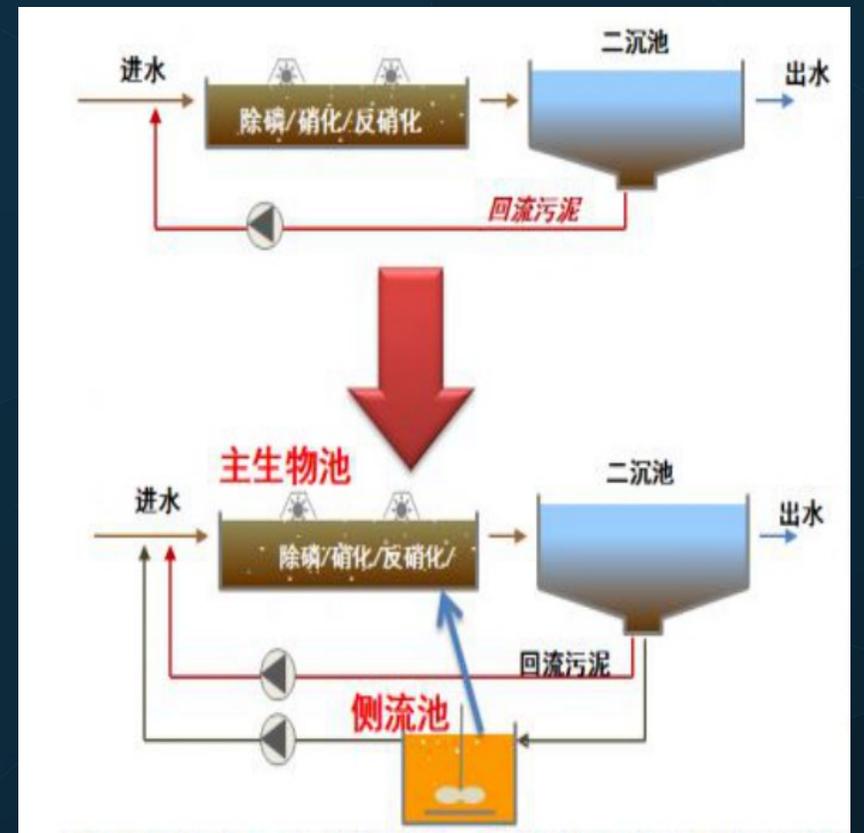




5.3、侧流厌氧氨氧化技术

在**主流旁侧增加一个侧流生物池**，通过对外回流污泥或硝化液的水解、硝化，实现了以下的功能：

- A、与主工艺在结构、功能、工艺控制条件、参数上独立；
 - B、高FA，抑制NOB；污泥水解为VFAs，在上清液中高浓度碳源；
 - C、驯化、富集AOB和AnAOB，为主流接种，淘洗、抑制NOB；
 - D、利用侧流水解、硝化产生的VFAs为主流提供（内）碳源；
- 最优侧流分流比为30%，实现污泥减量、反硝化。



5.4、多级多段A/O工艺

1、多段A/O结构：

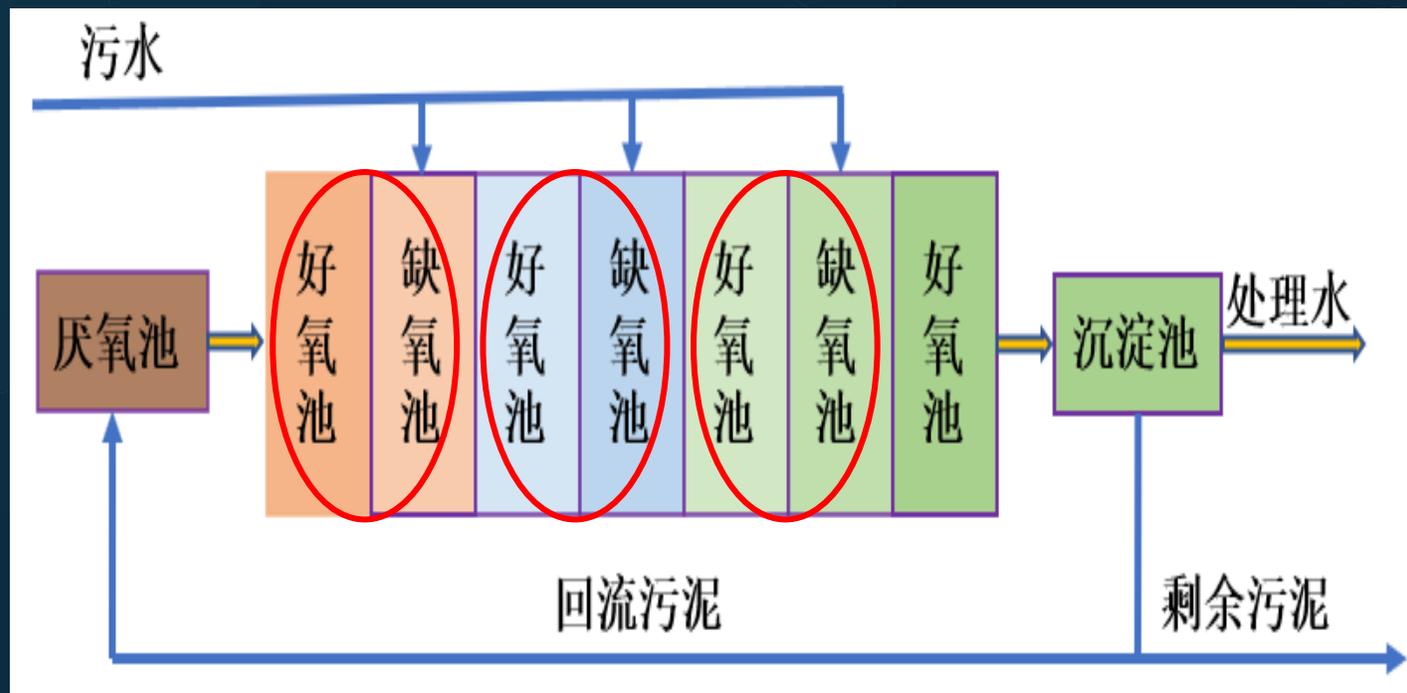
A、将A/O进行2~3串联，形成多级。各级为微生物提供不同生境，**生长着不同的优势菌种**；

B、将进水分流分别进入缺氧段，形成多段。

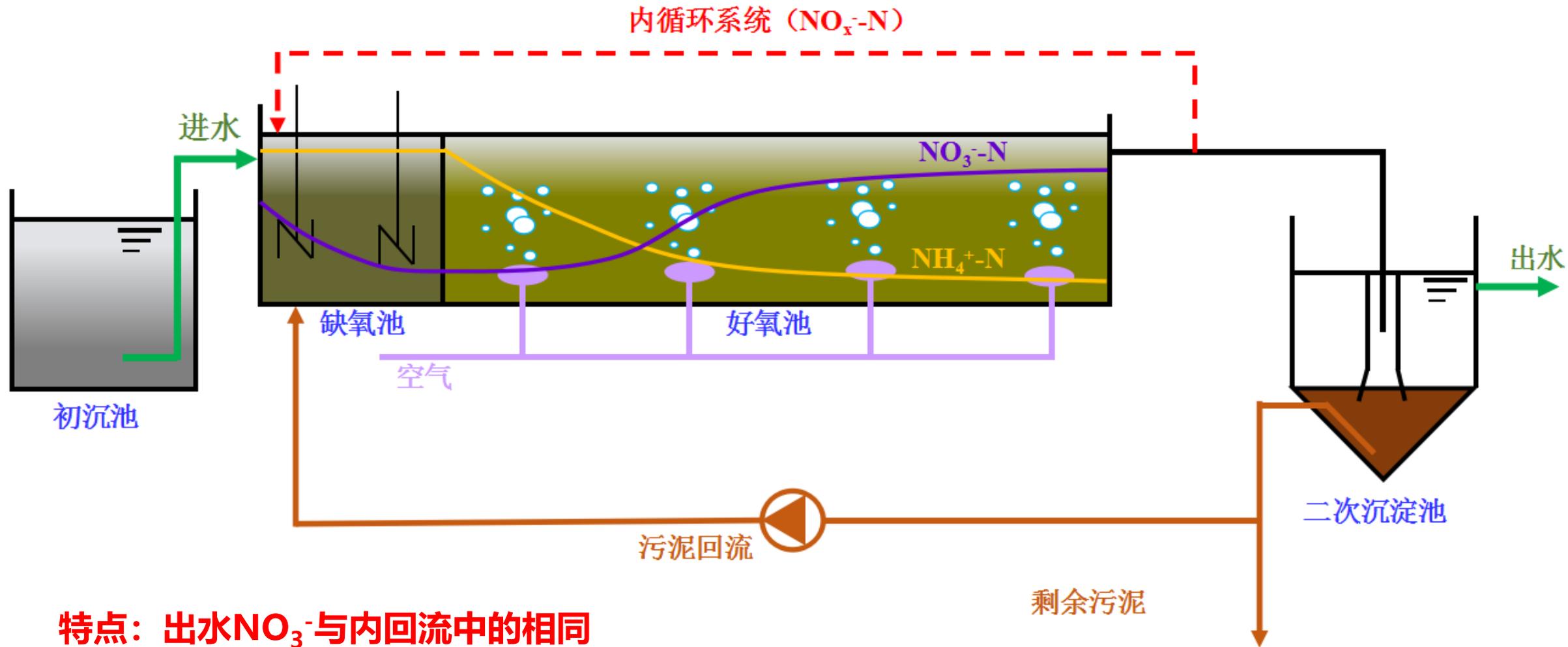
可有效、灵活分配碳源。出水TN<5mg/L。

2、工艺特点：缺氧/好氧交替布置

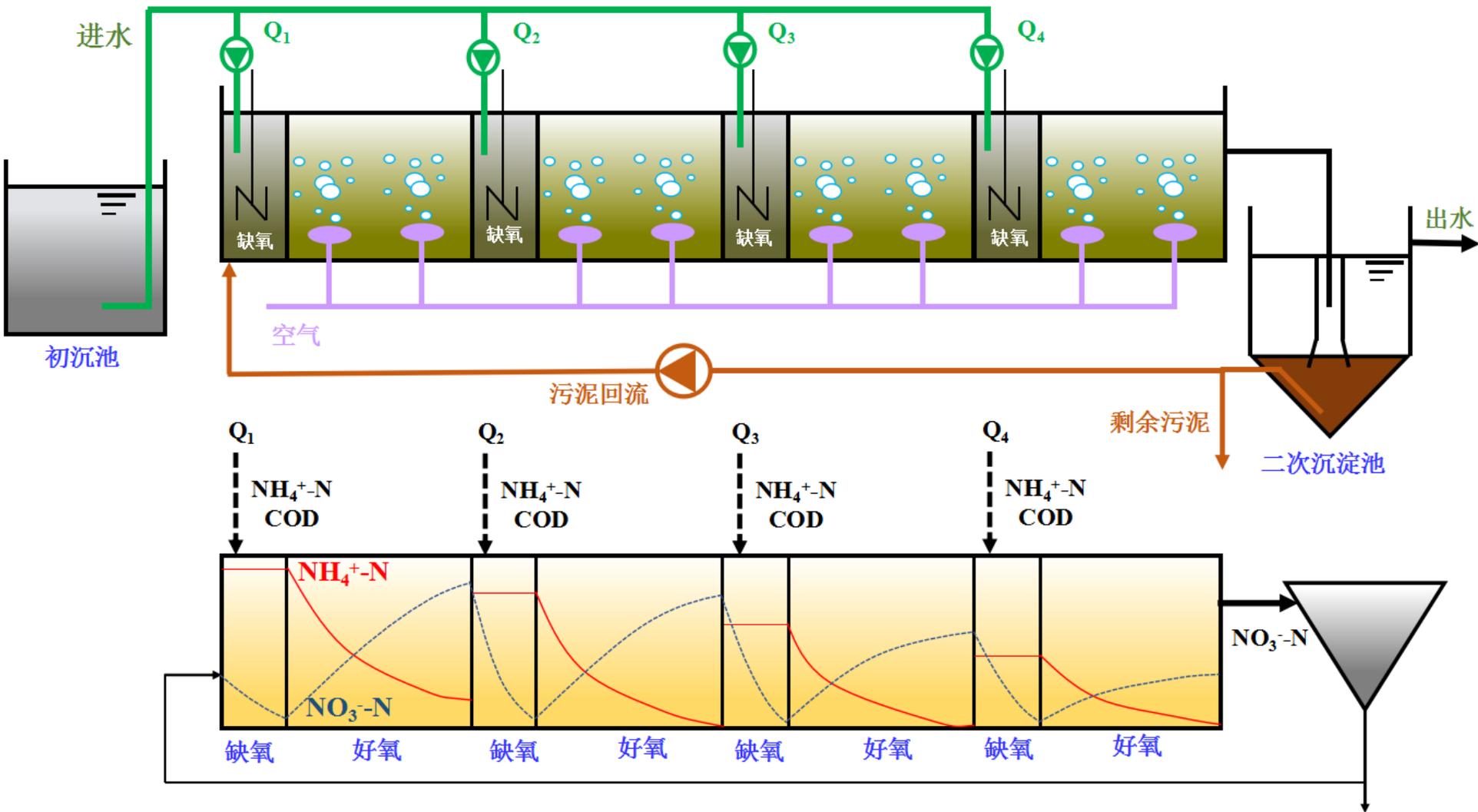
- (1) **低投资和电耗**：硝化液直接进入缺氧池，无回流；
- (2) **各段MLSS平均浓度高**：污水分散进入各段，水量梯度增加，各段MLSS平均浓度高于传统A/O工艺**35%~70%**，**负荷偏低**；
- (3) **外加碳源投加量小**：分段进水，水中碳源充分利用；
- (4) **好氧区碱度消耗小**：缺氧反硝化的碱度直接补充；
- (5) **有效抑制污泥膨胀**：缺氧区相当于菌种选择器，将造成污泥膨胀的丝状菌淘汰；
- (6) **较强抗冲击负荷能力**：进水分散配水，各段具备了调蓄间；



3、常规A/O系统氨氮与硝酸盐变化规律



4、多段多级A/O系统氨氮与硝酸盐变化规律



- 1、均匀分配进水，碳源充足；
- 2、氨氮在0池完全硝化；
- 3、 NO_3^- 在缺氧池全部反硝化；
- 4、末端0池 NO_3^- ，一般随回流污泥回流，一半随出水排除
- 5、TN去除率：
 A: 4段4级: $3 \left(\frac{1}{4} \right) + 0.5 \left(\frac{1}{4} \right) = \frac{7}{8}$
 B: 3段3级: $2 \left(\frac{1}{3} \right) + 0.5 \left(\frac{1}{3} \right) = \frac{5}{6}$
 如进水TN=60mg/L, 4级出水TN=7.5mg/L; 3级出水TN=10mg/L

5、多级多段A/O工艺特点



多级多段A/O工艺特点

(1) 满足了硝化/反硝化对碳源的要求

多段进水较为均匀、合理地分配了有机物的负荷，使得污泥COD负荷大大降低，废水中的有机物的角色发生了转换，COD由污染指标转换为碳源，满足了硝化/反硝化对碳源的要求；

(2) 抗冲击负荷能力强

分段进水可以根据进水的水量、水质和出水水质情况，灵活控制调节分配各段的水量与负荷，具有较强抗冲击负荷的能力；

(3) 污泥负荷小，污泥沉降性能好

由于分段进水，减小了各段的稀释水量，污泥浓度稀释程度减小，直到末端浓度才被稀释到常规浓度，故同等条件下污泥负荷小，污泥沉降性能好；

(4) 微生物的活性高

由于A/O段反复交替，微生物在不利的环境条件下，会产生更多的相关的酶，以提高摄取营养的效率。多段A/O具备了为微生物创造了有利、不利交替的环境条件，微生物从不利环境进入有利环境，其活性更强，效率更高。

(5) A/O交替，无须内回流

由于A/O段反复交替，上级O段为下级A段提供了消化液，替代了常规A/O工艺中内循环，使能耗大大降低。

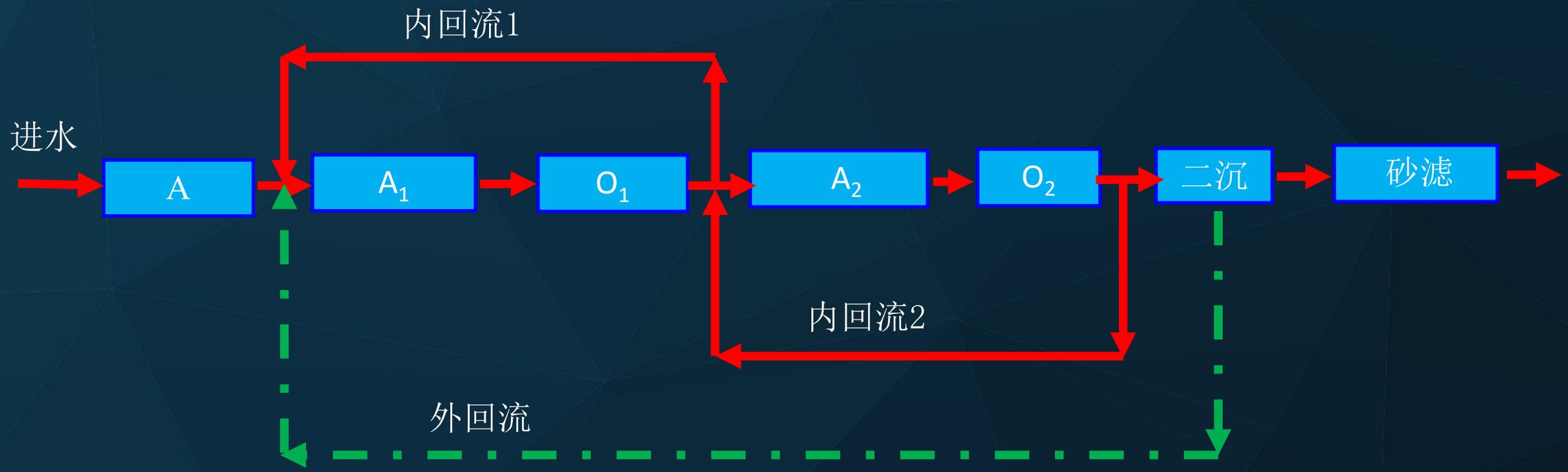
(6) 不易发生污泥膨胀

A/O交替，缺氧条件下不利于丝状菌，多级缺氧淘汰和抑制了丝状菌的生长，不易发生污泥膨胀；

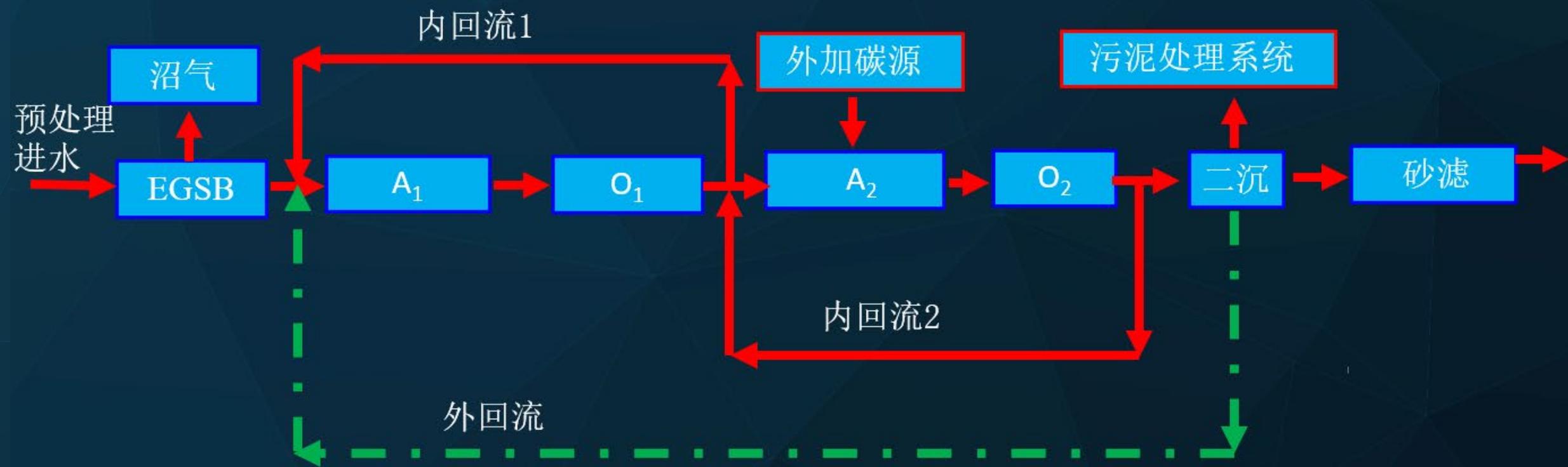
(7) 碱度(HO⁻)平衡： $2\text{NO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{O}_2 + 4\text{HO}^-$ 反硝化可以回收2.86kgO₂/kgNO₃⁻、3.75kgHO⁻/kgNO₃⁻

(8) 可同步硝化、反硝化和短程硝化

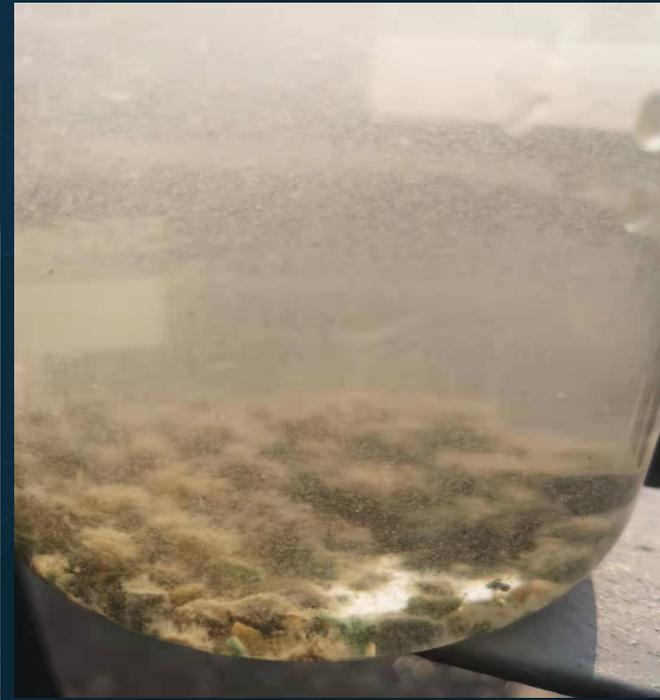
5.5、改良多级多段



5.5、 改良多级多段



5.6、除TN生物流动床





谢谢!