

# 污水脱氮除磷技术研究



**李 军** 教授/博导

北京工业大学

# 内容提要




1 我国的缓流水体富营养化状态十分严重



2 北京市污水处理情况



3 传统脱氮除磷工艺存在的问题和弊端



4 脱氮除磷基础理论



5 脱氮除磷新理论、新技术和新工艺的研究重点



6 多氧化还原作用脱氮除磷技术研究



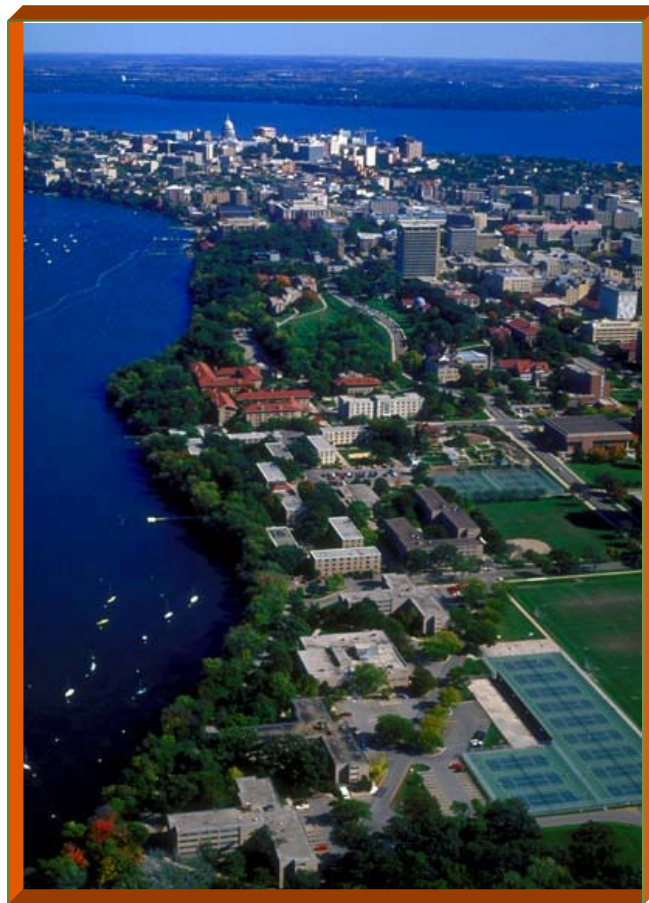
7 脱氮除磷新理论新工艺研究方向



## 1. 我国的缓流水体富营养化状态十分严重

富营养化问题是当今世界面临的最主要水污染问题之一。

近年来，虽然我国污水处理率不断提高，但是由氮磷污染引起的水体富营养问题不仅没有解决，而且有日益严重的趋势。



# 七大水系水质污染状况(1998)

| 项目            | 长江                      | 黄河         | 珠江               | 淮河         | 海河                         | 辽河                      | 松花江        |
|---------------|-------------------------|------------|------------------|------------|----------------------------|-------------------------|------------|
| 地面水环境<br>质量标准 |                         |            |                  |            |                            |                         |            |
| I类            | 4                       | 0          | 29               | 0          | 5                          | 4.5                     | 0          |
| II类           | 67                      | 24         | 36               | 11         | 19                         | 2.3                     | 0          |
| III类          | 4                       | 5          | 7                | 17         | 4                          | 4.5                     | 4          |
| IV类           | 11                      | 47         | 22               | 18         | 10                         | 22.7                    | 67         |
| V类            | 10                      | 12         | 2                | 6          | 9                          | 4.5                     | 21         |
| 劣V类           | 4                       | 12         | 4                | 48         | 53                         | 61.4                    | 8          |
| 主要污染物         | 悬浮物<br>高锰酸<br>钾指数<br>氨氮 | 悬浮物<br>挥发酚 | 石油类<br>悬浮物<br>氨氮 | 高锰酸<br>钾指数 | 石油类<br>高锰酸钾指数<br>挥发酚<br>氨氮 | 氨氮<br>高锰酸<br>钾指数<br>挥发酚 | 挥发酚<br>石油类 |

以下几副图(摄于2002年6月5日)表明了北京市内部分河道的污染情况:



亮马河香河园附近的河面上到处漂着垃圾

安定门桥一带肮脏的护城河

# 湖泊污染状况

|        |        |         |     |
|--------|--------|---------|-----|
| 湖泊名称   | 太湖     | 滇池      | 巢湖  |
| 富营养化程度 | 中等     | 严重      | 严重  |
| 湖水水质   | IV-劣 V | IV- 劣 V | 劣 V |

## 大型淡水湖泊污染状况(2003年)

| 湖泊      | 主要污染 | 富营养化  | 水体水质   |
|---------|------|-------|--------|
| 太湖、洪泽湖  | 氮、磷  | 严重    | IV~劣V类 |
| 滇池      | 氮、磷  | 非常严重  | V或劣V类  |
| 巢湖      | 氮、磷  | 非常严重  | 劣V类    |
| 鄱阳湖、洞庭湖 | 氮、磷  | 已富营养化 | IV~ V类 |

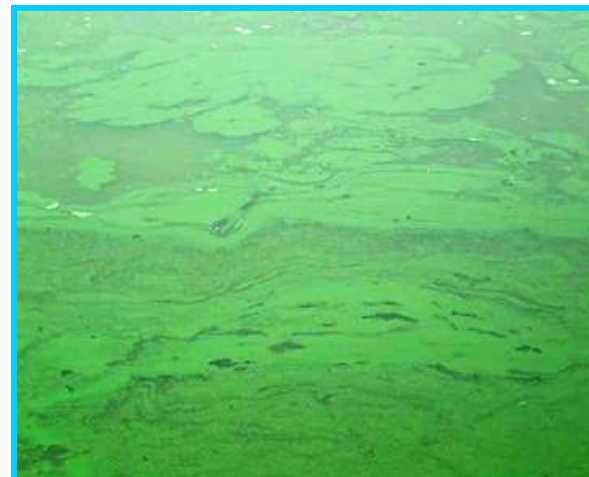
在我国131个主要湖泊中，已达富营养程度的湖泊有67个，占51.2%。



圆明园湖泊富营养化严重



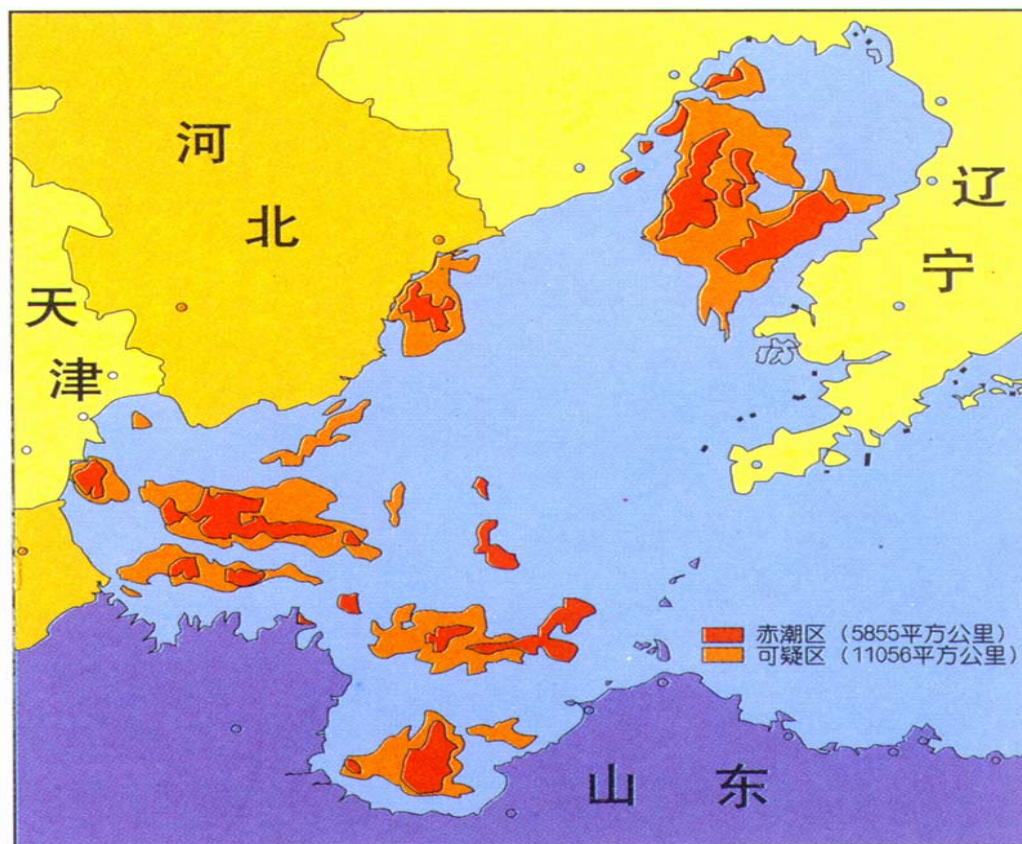
什刹海出现水华



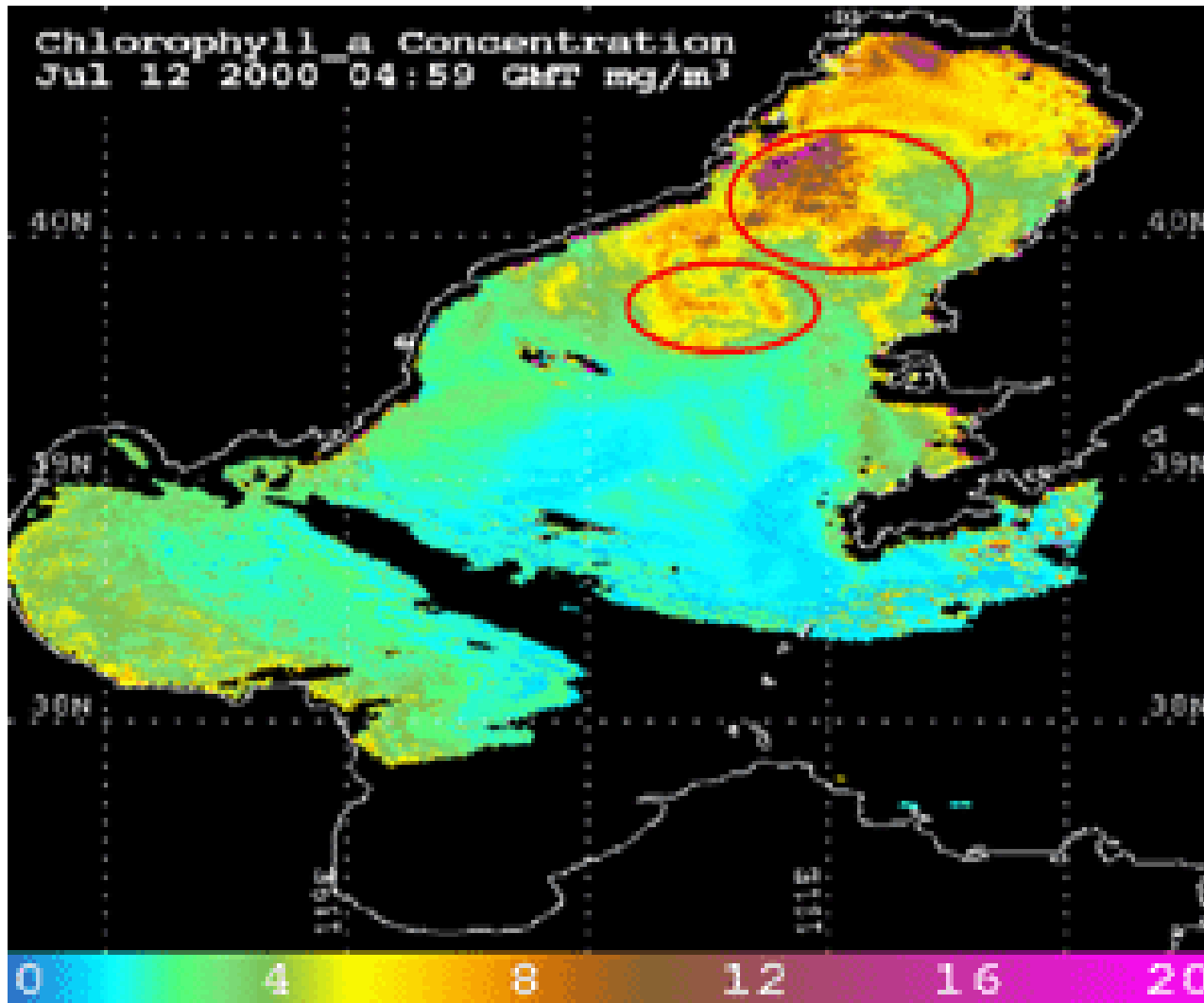
水华入侵红领巾公园

# 近海污染

1998年我国近海发生赤潮22起，其中南海10起，东海5起，渤海和黄海7起。主要发生在渤海湾，辽东湾和莱洲湾

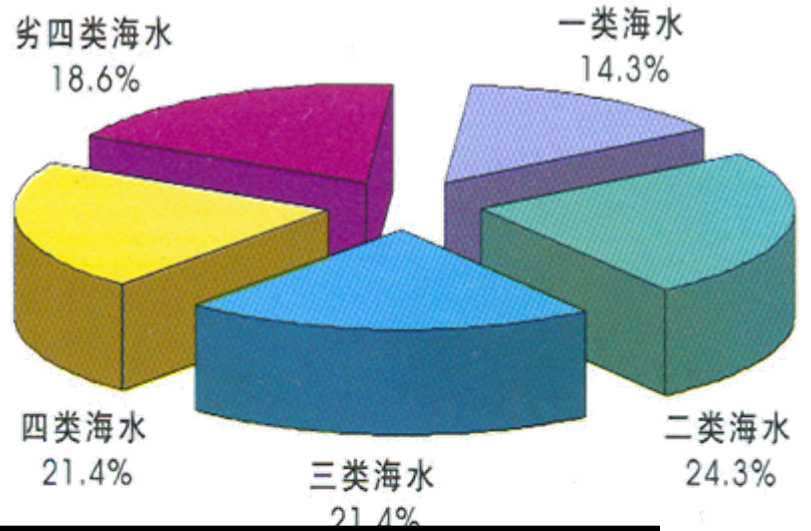
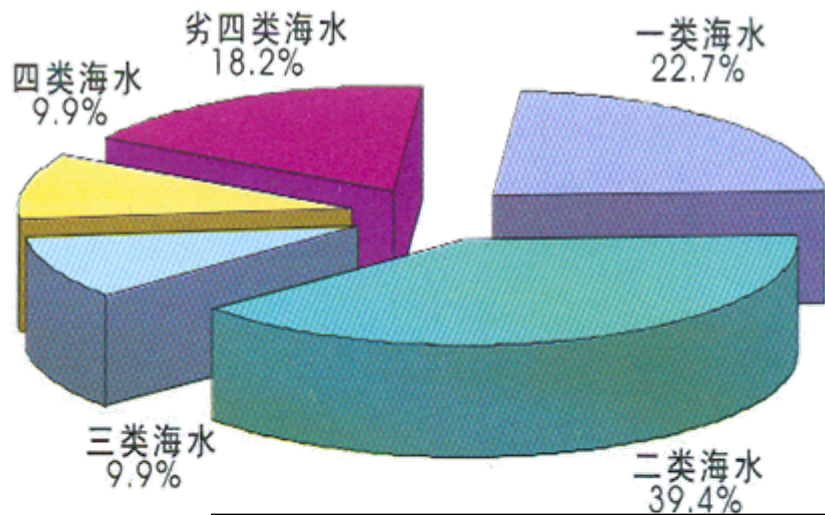




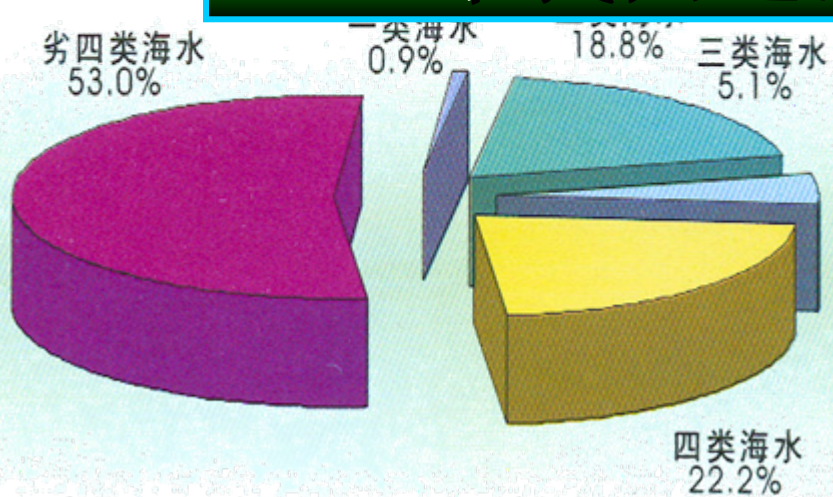


赤潮卫星图片

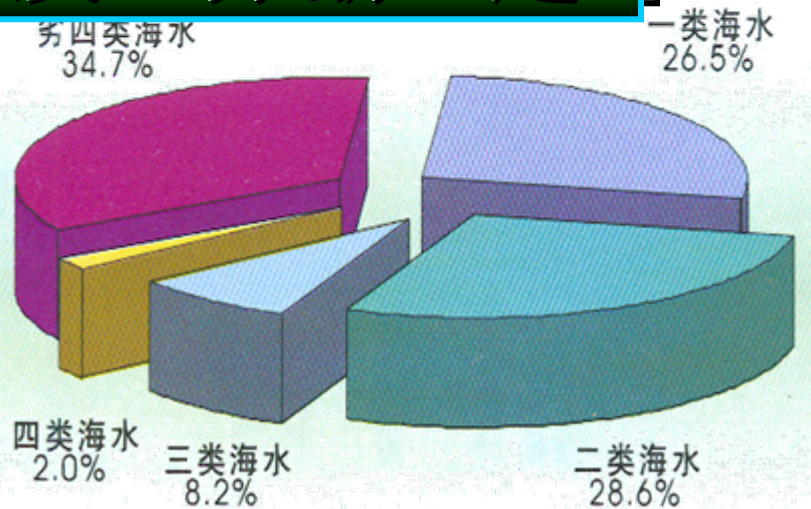
**2000年7月12日**  
渤海渤海湾南部海面约1亿个海蜇尸体浮出水面，经现场监测，海蜇死亡密集区东西长约**25公里**，南北宽约**10公里**。密集区中心点位于北纬**8° 21'**，东经**118° 1'**。



## 2001年我国近海发生赤潮77起



东海



南海



**2002年，  
我国全海域  
共发现赤潮  
79次，累计  
面积超过  
10000平方  
公里，造成  
直接经济损  
失约10亿  
元。**

- **2004年5月2日起，我国浙江中南部海域出现赤潮，到5月10日已发展为最长200公里、最宽100公里的特大赤潮灾害；其中仅浙江舟山附近海域发生面积就达约8000~10000平方公里。**
- **控制氮，磷等营养性物质进入水体是解决富营养化问题的根本途径。**

# 《城镇污水处理厂污染物排放标准》

## (GB18918—2002)

|    | 基本控制项目                   |                | 一级标准            |                 | 二级标准            | 三级标准 |
|----|--------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------|
|    |                          |                | A标准             | B标准             |                 |      |
| 1  | 化学需氧量(COD)               |                | 50              | 60              | 100             | 120  |
| 2  | 生化需氧量(BOD <sub>5</sub> ) |                | 10              | 20              | 30              | 60   |
| 3  | 悬浮物(SS)                  |                | 10              | 20              | 30              | 50   |
| 4  | 动植物油                     |                | 1               | 3               | 5               | 20   |
| 5  | 石油类                      |                | 1               | 3               | 5               | 15   |
| 6  | 阴离子表面活性剂                 |                | 0.5             | 1               | 2               | 5    |
| 7  | 总氮(以N计)                  |                | 15              | 20              | ----            | ---- |
| 8  | 氨氮(以N计)                  |                | 5(8)            | 8(15)           | 25(30)          | ---- |
| 9  | 总磷<br>(P)                | 2005.12.31前建设的 | 1               | 1.5             | 3               | 5    |
|    |                          | 2006.01.01起建设的 | 0.5             | 1               | 3               | 5    |
| 10 | 色度(稀释倍数)                 |                | 30              | 30              | 40              | 50   |
| 11 | pH                       |                | 6~9             |                 |                 |      |
| 12 | 类大肠菌群数(个/L)              |                | 10 <sup>3</sup> | 10 <sup>4</sup> | 10 <sup>4</sup> | -    |



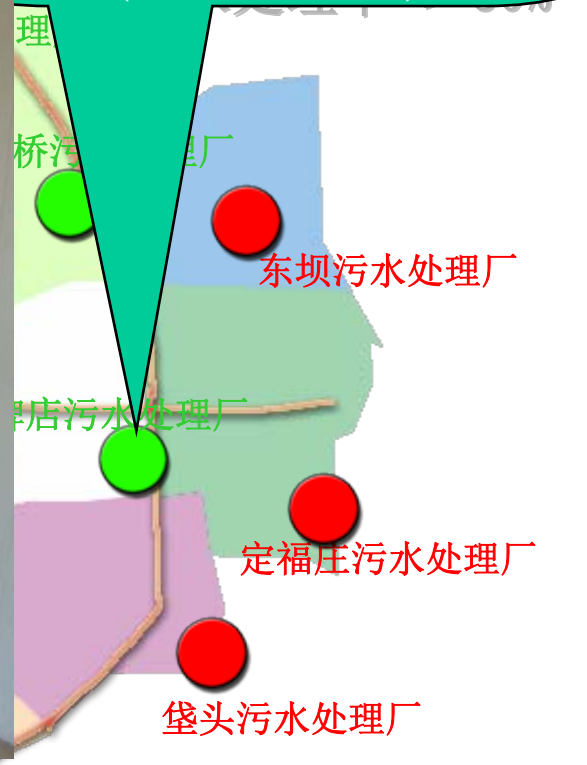
# 2 北京市污水处理情况

规划期限 2008年

污水总  
处理厂

现有厂数 8座

高碑店污水处理厂  
(70万吨/日)



- 
- 
- 待建水厂

户沟桥污水处理

小红门污水处理厂

## 北京市城区污水处理厂规划



### 3 传统脱氮除磷工艺存在的问题和弊端

近年来，全国各地已经建立了许多相当规模的城市污水处理厂，水处理的主要目标已经由对有机物的去除转向对氮、磷的去除，但是目前几乎所有的污水处理厂都存在着工艺运行管理复杂，过程控制不稳定的问题，因此污水处理厂氮磷的去处效果普遍不佳。

传统的脱氮除磷工艺总存在一些自身无法克服的缺点，因此有必要研究和开发新型的污水脱氮除磷技术及工艺，并给出获得稳定脱氮除磷效果的最优化运行工况。



- 污水处理的主要矛盾已逐渐由有机污染物的去除转变为氮、磷污染物的去除；
- 我国污水处理厂在脱氮除磷方面普遍存在着能耗高、效率低以及运行不稳定的缺点；**如何提高传统污水处理工艺脱氮除磷的效果；**
- 如何开发新工艺来提高污水脱氮除磷处理效果和效率；
- 其中存在着许多科学和技术问题，比如脱氮除磷的动力学、数学模型及微生物学等问题。
- 防止与控制富营养化问题：**应当防患于未然。**  
一般认为， $TN > 0.2\text{mg/L}$ ， $TP > 0.02\text{mg/L}$ 就可引起富营养化。



## 4 脱氮除磷基础理论

### 一、水体富营养化

- 主要营养成分 有机碳、氮、磷、钾、铁等。
- 有机碳 经一般的生物处理后可基本去除氮磷之外的其它成分相对于富营养化发生过程中的需求量极低，不成为富营养化的限制因子
- 主要因子是氮和磷，而藻类对磷的需求量约为对氮需求量的 $1/10-1/20$

## 二、磷的存在形态

- 取决于污水的类型
- 有磷酸盐 ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 、 $\text{HPO}_4^{2-}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ )，聚磷酸盐 (poly-P) 和有机磷
- 在接近中性的pH条件下，主要以 $\text{HPO}_4^{2-}$ 的形式存在。
- 传统的二级处理出水中，有90%左右的磷以磷酸盐的形式存在。

## 三、传统的生物处理工艺

### 传统的活性污泥法(或生物膜法)

- 细菌细胞内含磷约2% (以重量计)
- 传统的活性污泥法(或生物膜法)只能去除生活污水

#### ■ 土地处理

### 生物

- 土壤的物化吸附、沉积作用和生物吸收作用
- 除磷率可达80~90%
- 该法占地面积大
- 生物稳定塘受光照和温度的影响较大, 占地面积大

水生植物

处理生活

# 传统的生物处理工艺

## 传统的活性污泥法(或生物膜法)

- 细菌细胞内含氮约2% (以重量计)，所以传统的活性污泥法(或生物膜法)只能去除生活污水中的氮约40%。
- 活性污泥的化学组成( $C_{60}H_{37}O_{23}N_{12}P$ )及原水的组成(BOD:N=4~6:1)，氮去除率只不过约为20~50%。

## 生物稳定塘

- 生物稳定塘除微生物外，还可利用藻类等水生植物除氮率约为40%左右
- 塘内养殖丹凤莲，氨氮的去除率可达97%以上
- 生物稳定塘受光照和温度的影响较大，占地面积大

## 四、除磷菌

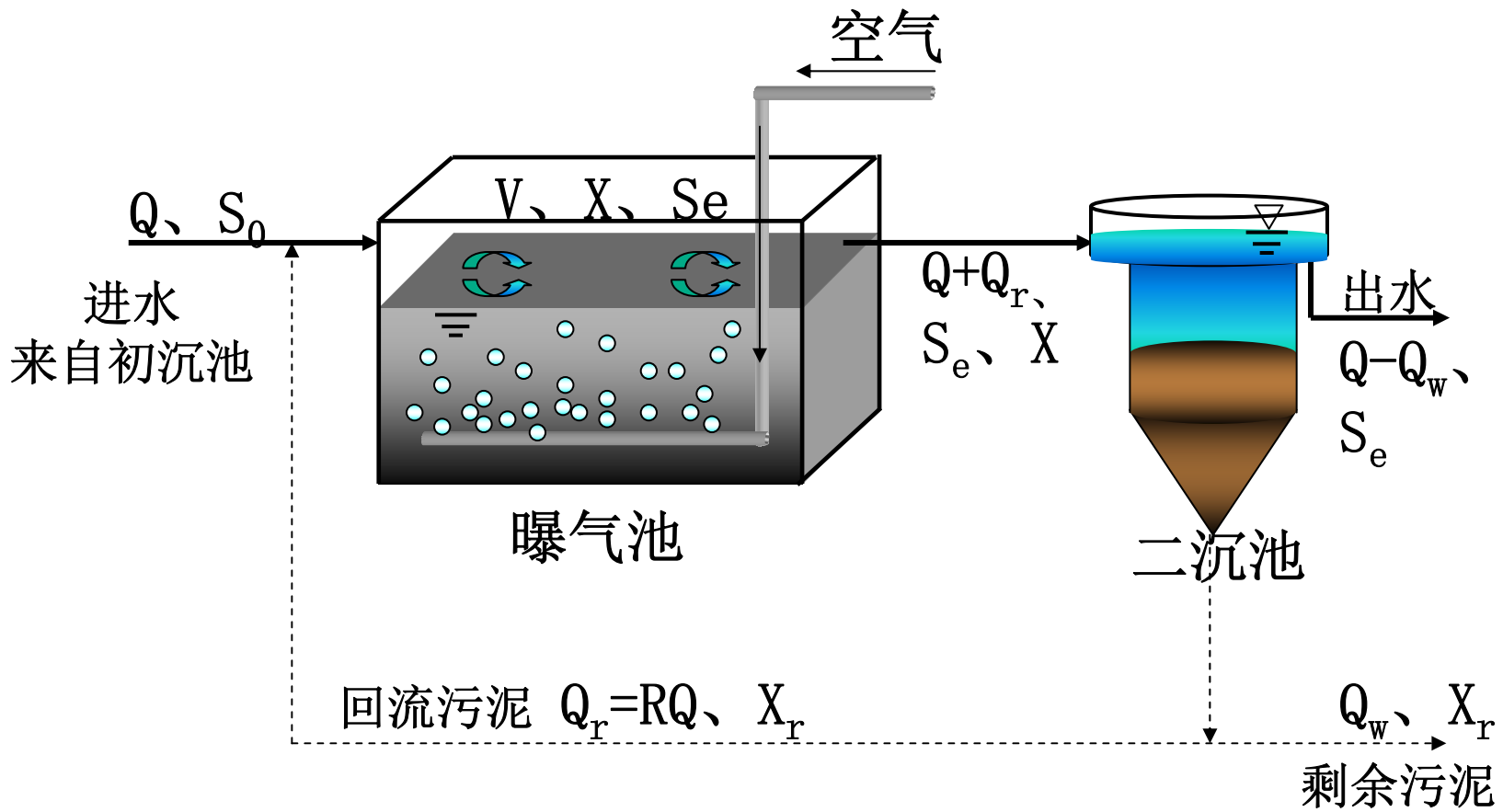
所有既能积累聚磷酸盐又能积累聚- $\beta$ -羟基丁酸盐的细菌称为(聚磷菌)除磷菌

不动杆菌属  
莫拉氏菌群

气单胞菌  
假单胞菌

活性污泥混  
合液中的主  
要细菌

# 活性污泥法



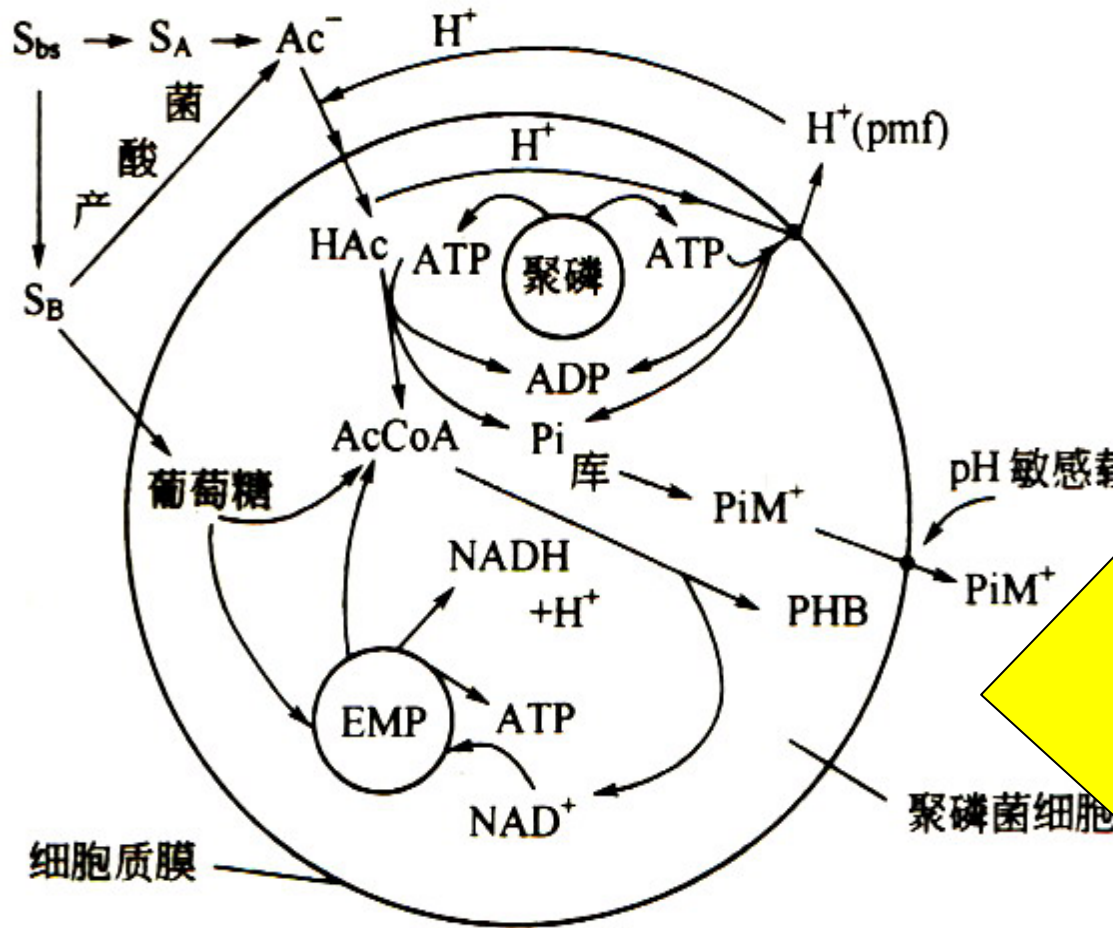
# 反硝化除磷菌

即能进行反硝化作用，又具有积累聚磷酸盐能力的细菌

- 肠杆菌属(Enterbacter)
  - 放射土壤杆菌(Agrobacterium radiobacter)
  - 枯草芽孢杆菌(Bacillus subtilis)
  - 节杆菌属(Arthrobacter)
  - 着色菌属 (Chromatium)
  - 棒杆菌属(Corynebacterium)
  - 脱氮微球菌(Micrococcus denitrificans)
  - 粘球菌属(Myxococcus)
- 

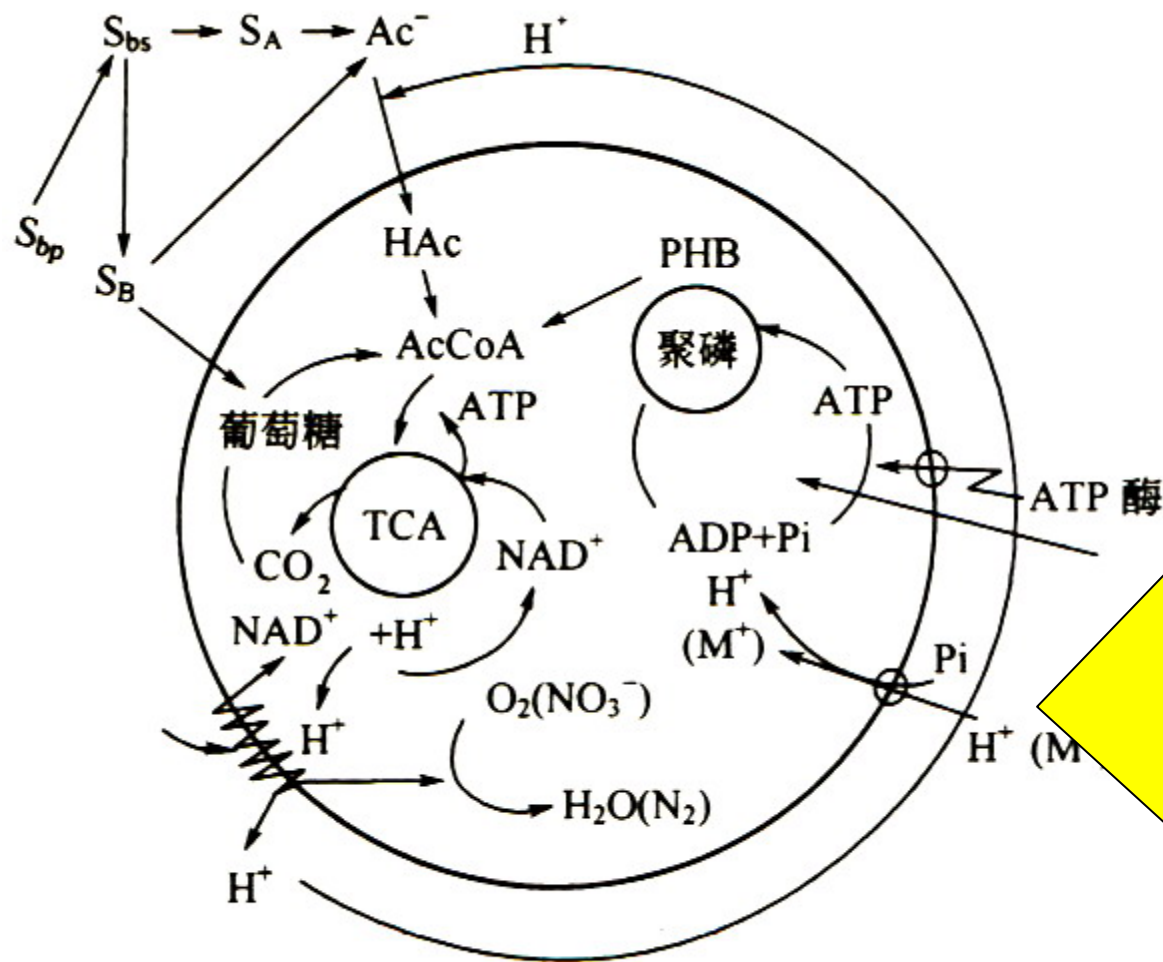


# 五、厌氧放磷生化模式



注：AcCoA—乙酰辅酶A； $H^+$ —质子； $S_{bs}$ —溶解性可快速生物降解COD； $S_A$ —低级脂肪酸如甲酸、乙酸、丙酸等； $S_B$ —葡萄糖、甲醇、乙醇等； $M^+$ —金属阳离子；NADH—辅酶I；PHB—聚- $\beta$ -羟基丁酸；EMP—酵解；Pmf—质子推动力

# 六、好氧(缺氧)吸磷生化模式



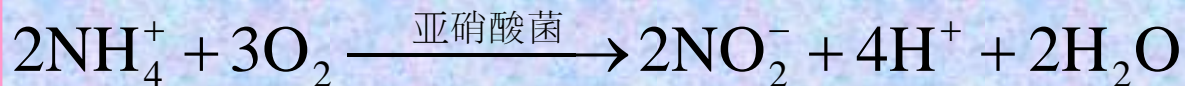
注： TCA—三羧酸循环； Pmf —质子推动力。

好氧(缺氧)时，消耗外部或储存的有机物，使磷细菌细胞产生质子推动力。质子推动力可用来运输磷和产生 ATP。当有可溶性磷酸盐和能量时，ATP用来合成聚磷酸盐。金属阳离子和磷酸盐一起被传递。

# 七、硝化与反硝化

硝化反应：

硝化反应是在好氧条件下，将 $\text{NH}_4^+$ 转化为 $\text{NO}_2^-$ 和 $\text{NO}_3^-$ 的过程。

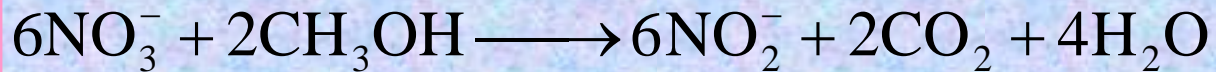


总反应式为：

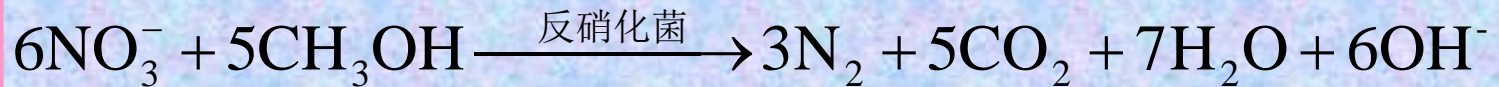


## 反硝化反应：

反硝化反应是指在无氧的条件下，反硝化菌将硝酸盐氮( $\text{NO}_3^-$ )和亚硝酸盐氮( $\text{NO}_2^-$ )还原为氮气的过程。

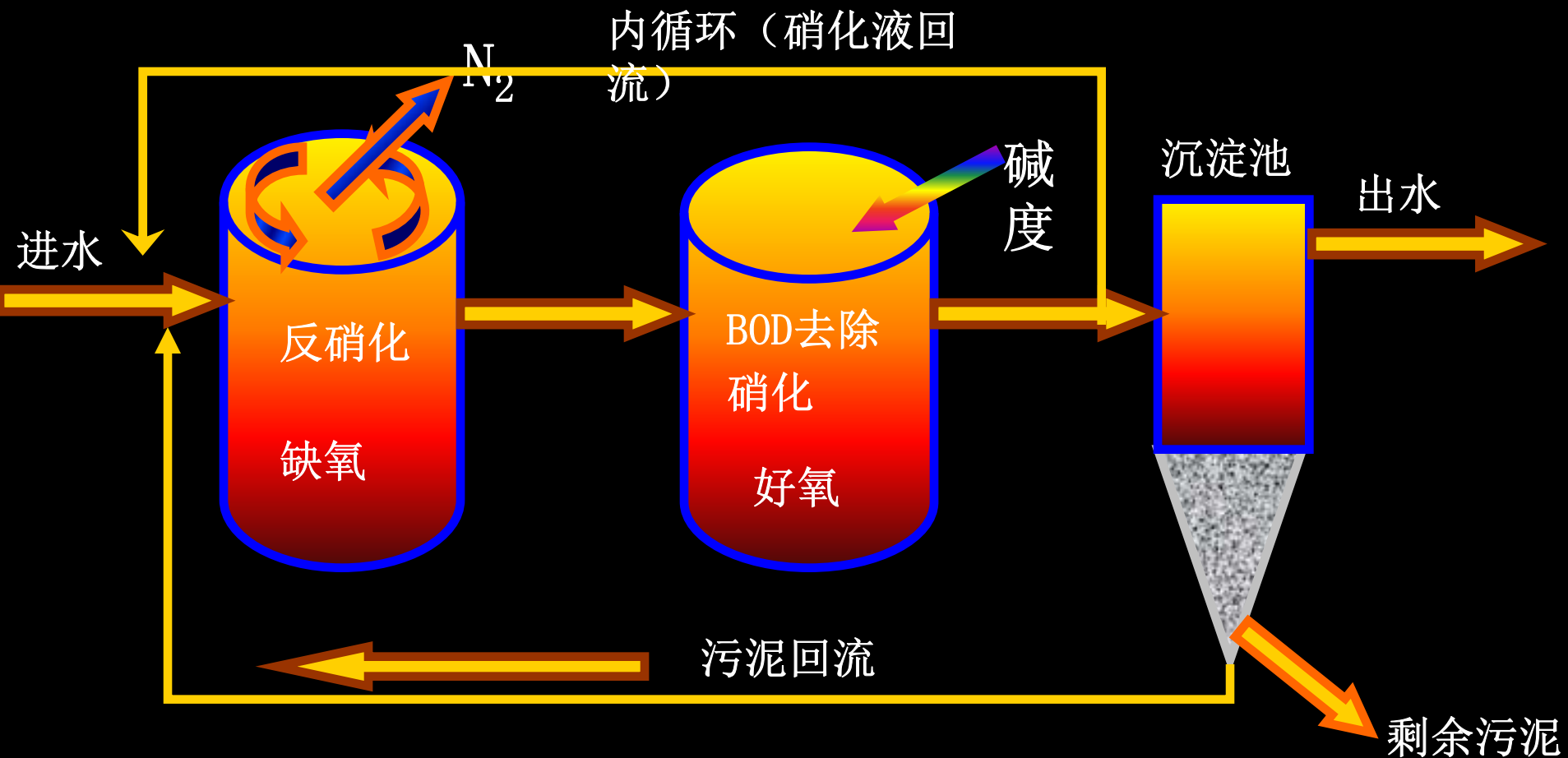


## 总反应式为：

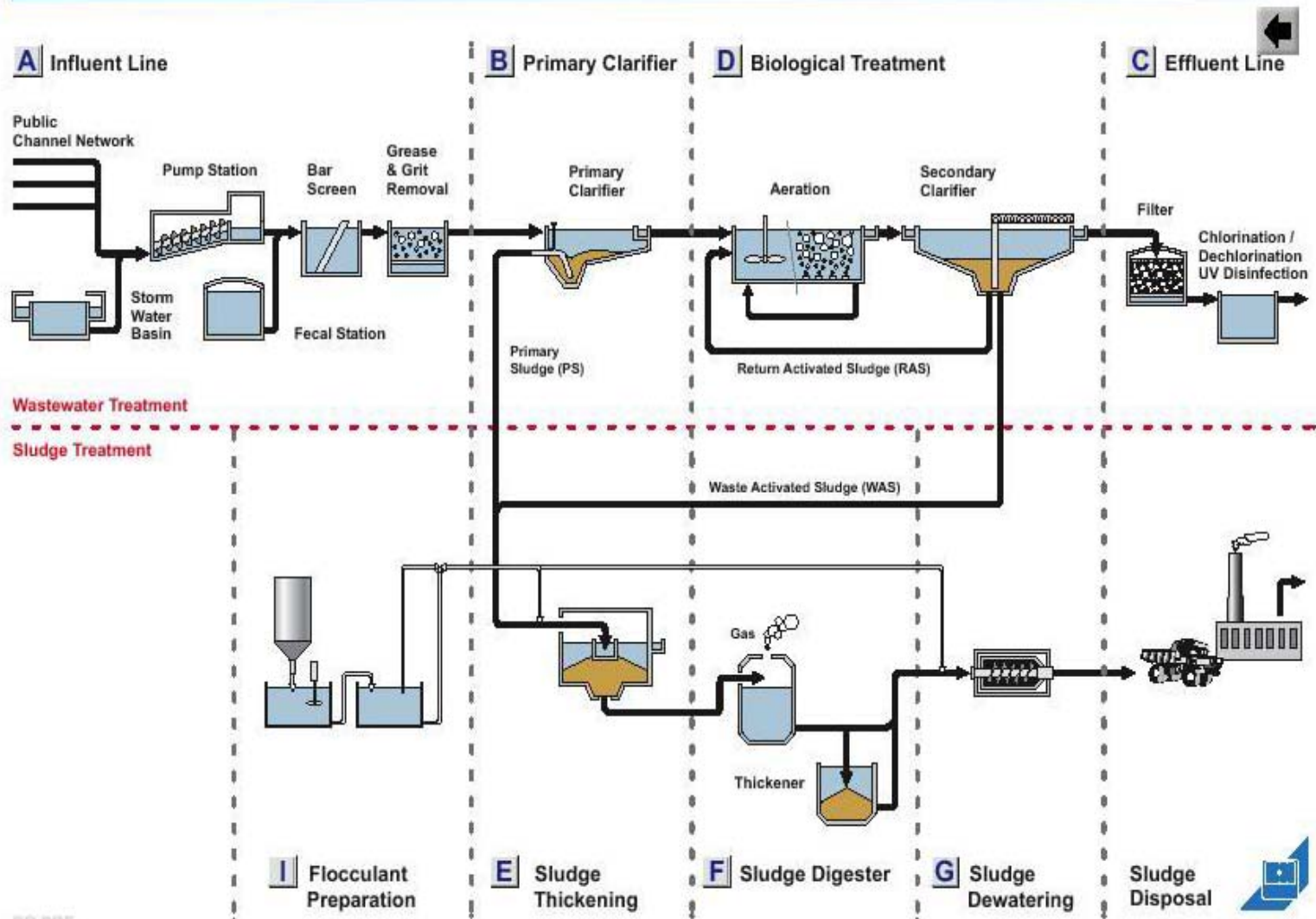


# 八、典型工艺

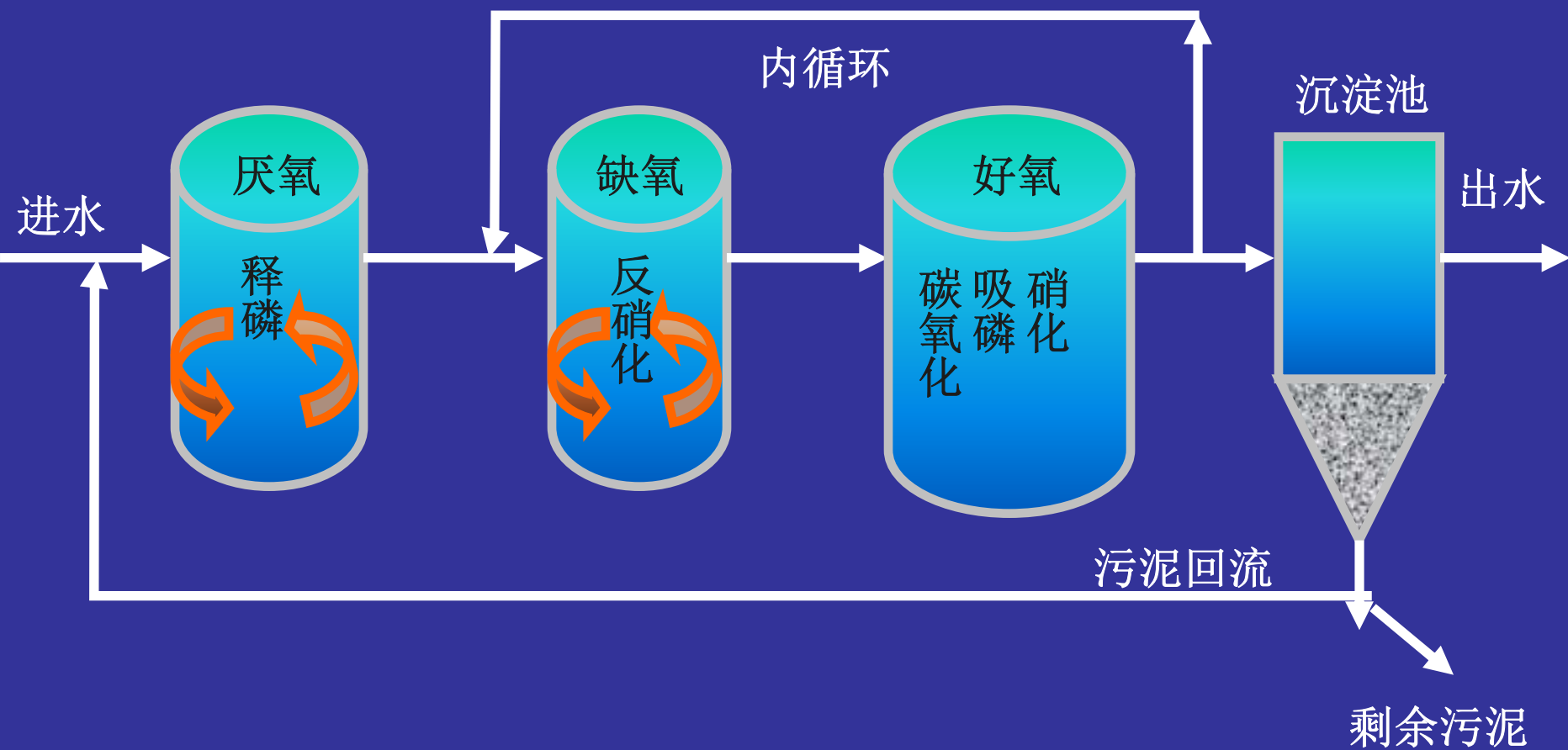
## A/O脱氮工艺



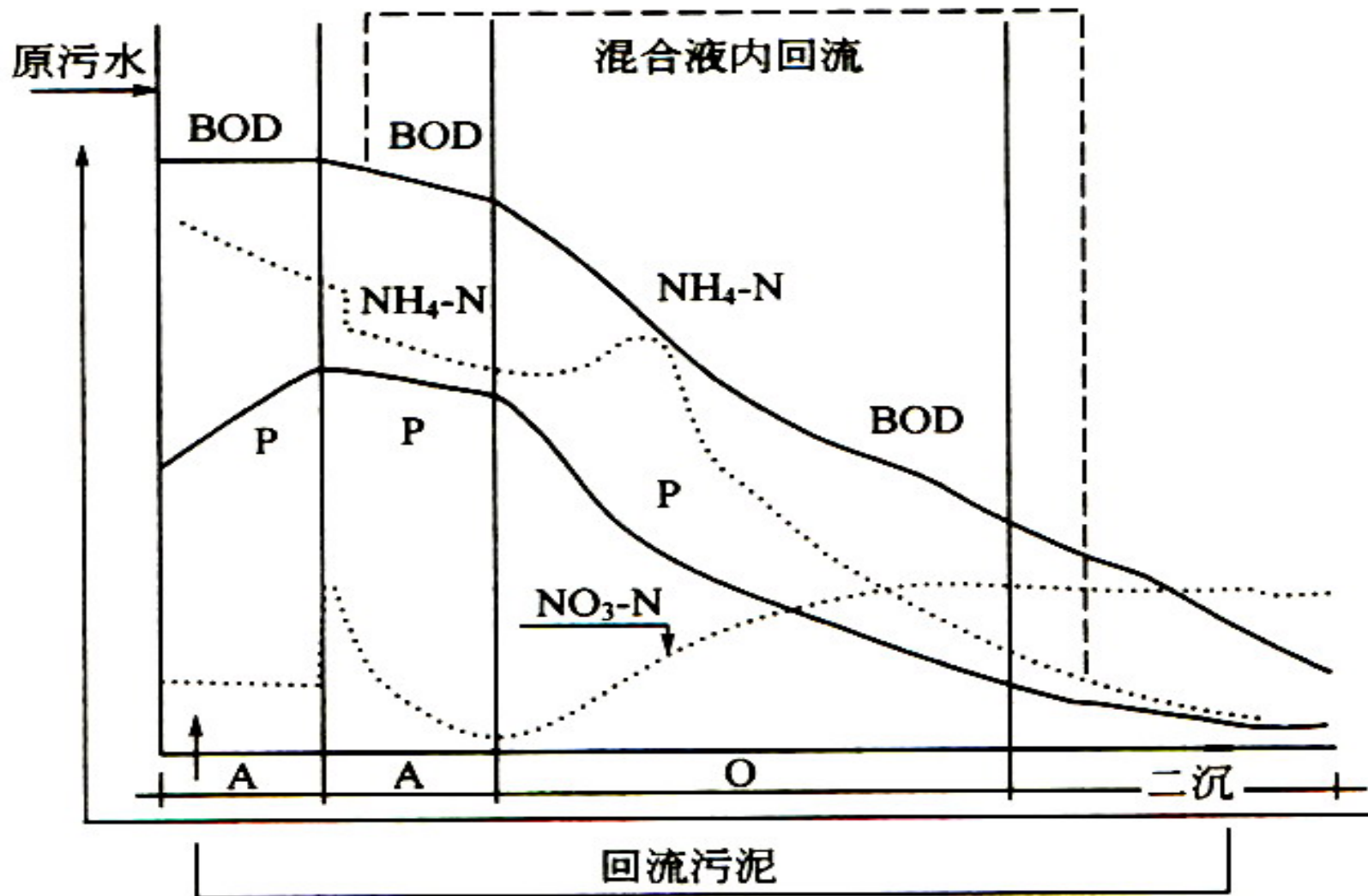
# A/O 活性污泥法



# A<sup>2</sup>/O脱氮除磷工艺



# 城市污水中主要污染物质在A<sup>2</sup>/O工艺中变化特性





# 设计参数

COD / TKN > 8

(BOD / TKN > 3, BOD / TN > 3-5, BOD / TP > 17)

污泥龄 SRT = 15d 左右

$N_s = 0.15 \sim 0.2 \text{ kg BOD} / (\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$

DO 好 = 2 mg/L

$N_{\text{STN TN}} = 0.05 \sim 0.08 \text{ kg TN} / (\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$

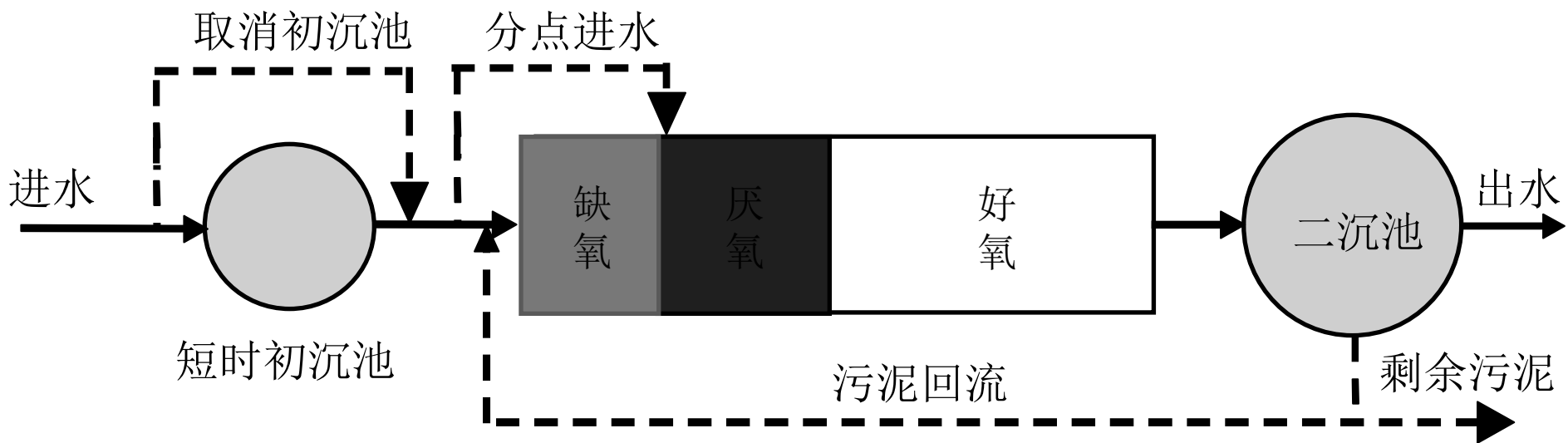
$N_{\text{STP TP}} = 0.003 \sim 0.006 \text{ kg TP} / (\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$

R = 25 ~ 100%

MLSS = 2000 ~ 4000 mg/L,

HRT = 6 ~ 8h (HRT 厌 : HRT 缺 : HRT 好 = 1 : 1 : (3 ~ 4)), 15 ~ 20d

# 九、倒置A<sup>2</sup>/O工艺





青岛李村河污水处理厂

# 青岛李村河污水处理厂

李村河污水处理厂位于青岛市李村河南岸，服务面积为29km<sup>2</sup>，服务人口为25万，一期工程设计规模为8万m<sup>3</sup>/d，目前实际进水量仅为4万~6万m<sup>3</sup>/d。

李村河污水处理厂进水来自李村河排水系统，河北岸区域的污水经管道收集，穿越李村河，重力排入污水厂；河南岸区域的部分污水经唐河路泵站提升进入污水厂；另一部分污水经环海快速路铺设的污水管重力排入污水厂。李村河污水处理厂所接纳的污水约70%为工业废水，其主要以化工、造纸、棉纺印染、食品加工废水为主。设计进水、与实际进水水质见下表。

|      | COD      | BOD <sub>5</sub> | SS      | NH <sub>3</sub> -N | TKN    | TP   |
|------|----------|------------------|---------|--------------------|--------|------|
| 设计进水 | 900      | 400              | 700     | 60                 | 90     | 5    |
| 实际进水 | 600~1300 | 300~700          | 250~750 | 40~75              | 80~125 | 5~15 |



青岛团岛污水处理厂

# 青岛团岛污水处理厂

团岛污水处理厂是中德技术合作建设的一座大型城市污水处理厂，1996年12月开始筹建，1998年12月建成投入运行。

团岛污水处理厂占地13公顷，工程设计规模10万 $m^3/d$ 天，目前实际进水量仅为4万~5万 $m^3/d$ 。团岛污水处理厂进水来自青岛市西南部地区市政管网系统，由乐陵路泵站和广州路泵站逐级提升进入污水厂。团岛污水处理厂所接纳的污水80%以上为生活污水；工业废水主要为印染、食品加工废水。其设计进水、实际进水水质见下表。

|      | COD      | BOD <sub>5</sub> | SS      | NH <sub>3</sub> -N | TKN    | TP    |
|------|----------|------------------|---------|--------------------|--------|-------|
| 设计进水 | 900      | 450              | 650     | 80                 | 124    | 10    |
| 实际进水 | 750~1250 | 300~550          | 400~700 | 60~95              | 95~160 | 10~15 |

# 倒置A<sup>2</sup>/O工艺主要运行控制参数

|   |             |
|---|-------------|
| 厌氧/缺氧/好氧容积比                                 | 1:1:3*      |
| 污泥回流比(R)                                    | 2.0~3.0     |
| 泥龄(SRT)                                     | 8~16天       |
| 生化反应系统污泥浓度(mg/L)                            | 3500~4500   |
| 好氧区溶解氧(DO)                                  | 1.5~2.0mg/l |
| 容积负荷(kgBOD <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> ·d) | 0.5~0.7     |
| 污泥负荷(kgBOD <sub>5</sub> /kgMLVSS·d)         | ≤0.15       |
| 缺氧区、厌氧区进水分配比例                               | 3:1**       |

注： \* 在厌氧区与好氧区之间设置可调节区，该区段内既设置曝气系统又安装搅拌设备  
\* \* 根据具体进水水质考虑是否需要采用分点进水方式及分配比例  
\* \* \* 生化反应池各区段宜采用分格的池型构造形式

# 活性污泥法工艺的改建建议

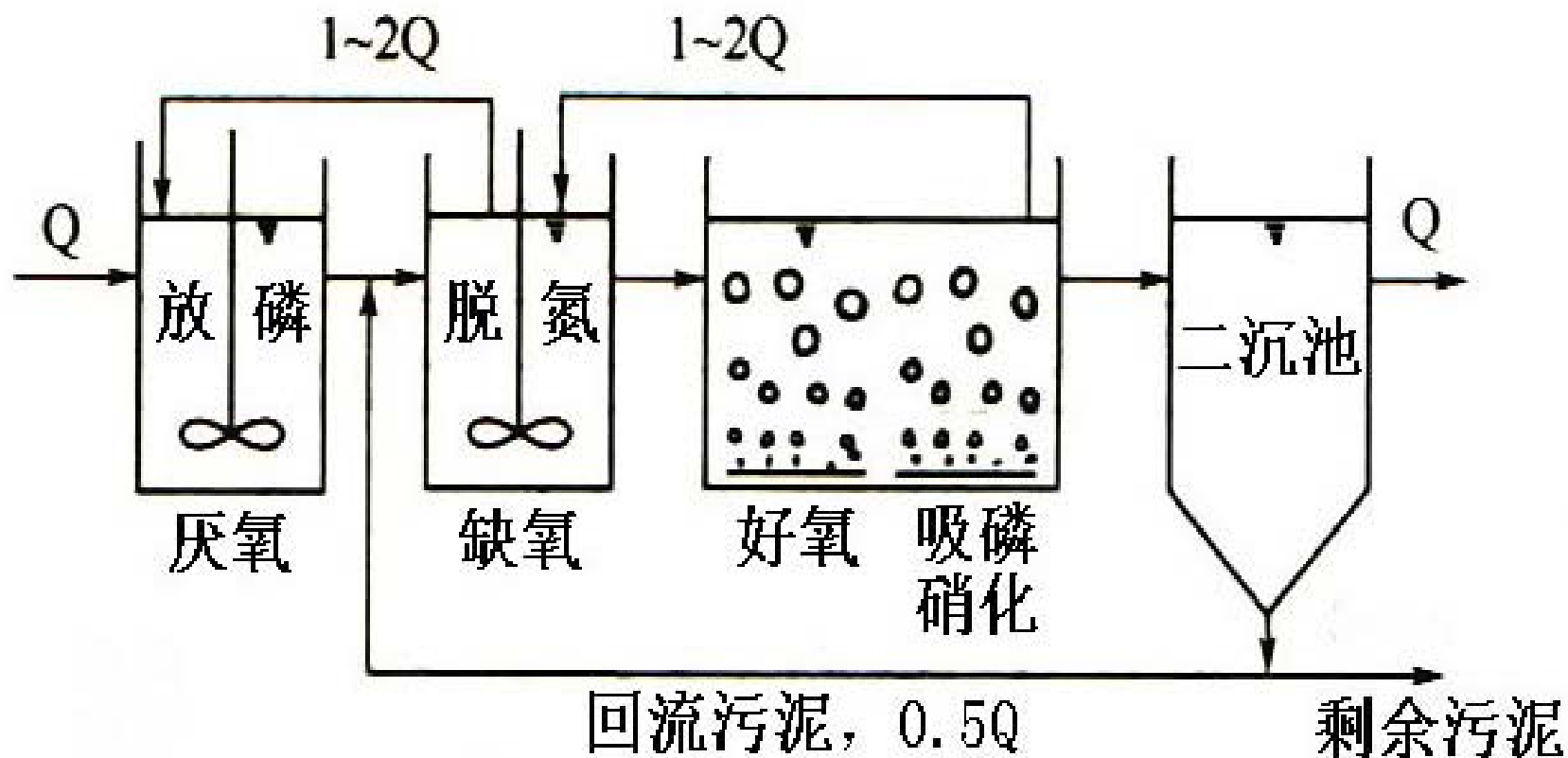
由于倒置A<sup>2</sup>/O工艺的流程形式、规模要求及设备条件均与传统活性污泥法十分接近，因此，对传统活性污泥法污水厂通过简单的改造，即可使其具备脱氮除磷功能。

- 取消初沉池或缩短初沉停留时间，对于是取消初沉池还是缩短初沉停留时间应视具体的污水实际水质而定，缩短初沉停留时间一般控制在0.5~1.0小时。
- 适当增加污泥回流量，将污泥回流比控制在200%~300%。
- 提供充足的供氧能力，保证达到硝化的要求。
- 在原有生化反应池内开辟缺氧、厌氧空间，可以采用在一定比例处设置隔墙的方式进行改造，适当改装曝气系统，安装缺氧、厌氧混合搅拌设备，使形成较好的缺氧区、厌氧区和好氧区环境。
- 可以在好氧区投加悬浮填料，提高系统的硝化功能。
- 根据具体进水水质考虑是否需要采用分点进水方式。



## UCT工艺(带双循环回路的除氮磷工艺)

- 如果回流污泥中硝酸盐的含量可以控制在低浓度，那么就可以得到较好的除磷效果。
- 如果出水 $\text{NO}_3^-$ 浓度变低，使回流污泥中 $\text{NO}_3^-$ 浓度低或回流比低，那么可期望得到较好的除磷效果。
- “University of Cape Town” 工艺(简称UCT工艺)。
- 磷工艺)

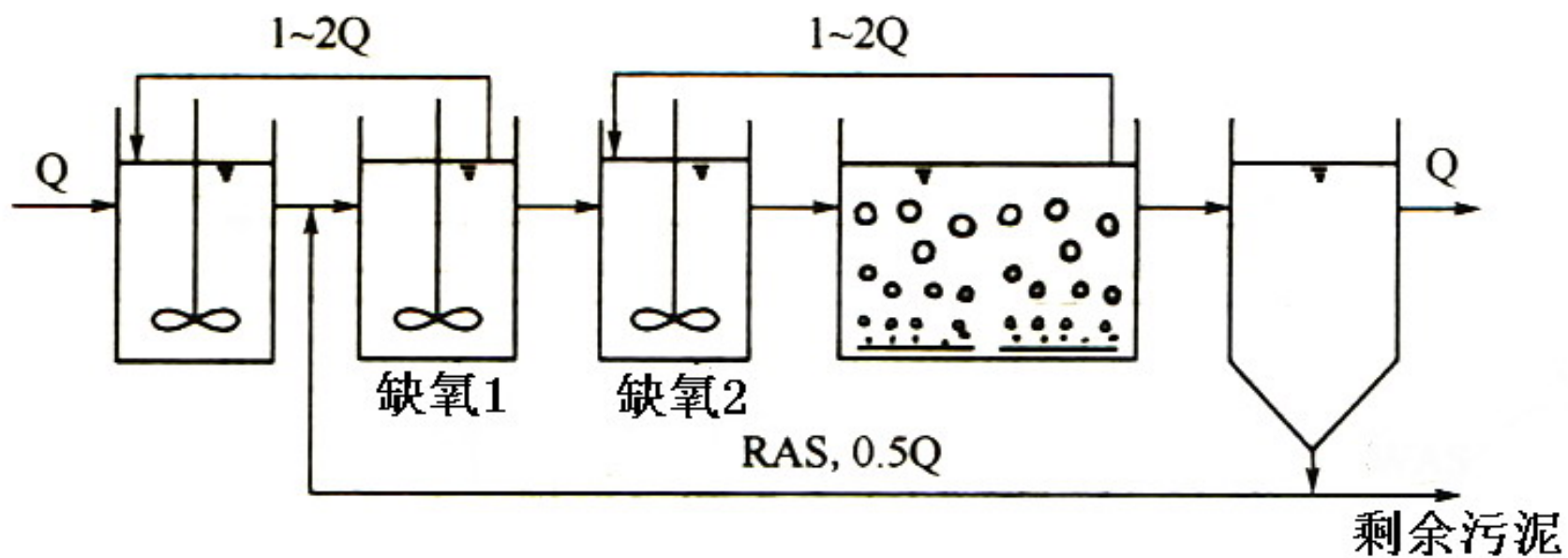


## UCT工艺流程

- 沉淀池的回流污泥和好氧区的污泥混合液分别回流至厌氧区缺氧区， $\text{NO}_3^-$ 在缺氧区中经反硝化而去除。
- 为了补充厌氧区中污泥的流失，增设了缺氧区至厌氧区的混合液回流。
- 在废水TKN / COD适当的情况下，缺氧区中反硝化作用完全，可以使缺氧区出水中的 $\text{NO}_3^-$ 浓度保持近于零，从而使接受缺氧区混合液回流的厌氧区 $\text{NO}_3^-$ 亦接近于零，保持较为严格的厌氧环境。
- 同Phoredox工艺相比，UCT工艺可最大限度地排除了回流液中的硝酸盐对厌氧区放磷的不利影响。由于增加了缺氧区至厌氧区的混合液回流，运行费用略有增加。

# 改良型UCT工艺

- 在UCT工艺中，从好氧区至缺氧区的回流中所携带的 $\text{NO}_3^-$ ，总是有一部分被缺氧区至厌氧区的回流液带入厌氧区。
- 在改良型UCT工艺中，缺氧区被分成二个，缺氧1只接受二沉池的回流污泥，并有混合液回流至厌氧区。因此，对缺氧1，只要求减少经回流污泥携带而来的 $\text{NO}_3^-$ 数量。缺氧2接受来自好氧区的混合液回流，其内进行反硝化。
- 将缺氧1与缺氧2完全分隔的改良型 UCT工艺可避免将过剩的 $\text{NO}_3^-$ 带进厌氧区，从而提高了系统的去磷效果。



## 改良型UCT工艺



## 5 脱氮除磷新理论、新技术和新工艺的研究重点

短程硝化反硝化

反硝化除磷

厌氧氨氧化

分段进水深度脱氮

多氧化还原作用脱氮除磷

## 短程硝化反硝化

- 短程硝化—反硝化生物脱氮(Shortcut nitrification—denitrification)，或简捷硝化—反硝化生物脱氮
- $\text{NH}_3\text{-N} \rightarrow \text{NO}_2\text{-N} \rightarrow \text{N}_2$
- 有机碳源的需要量较硝酸型脱氮减少50%左右
- SHARON工艺
- OLAND (氧限制自养硝化反硝化) 原理与工艺

# 反硝化除磷

- 好氧聚磷菌 (APB)
- 兼性厌氧反硝化除磷细菌—DPB(Denitrifying

Phosphorus Removing Bacteria)

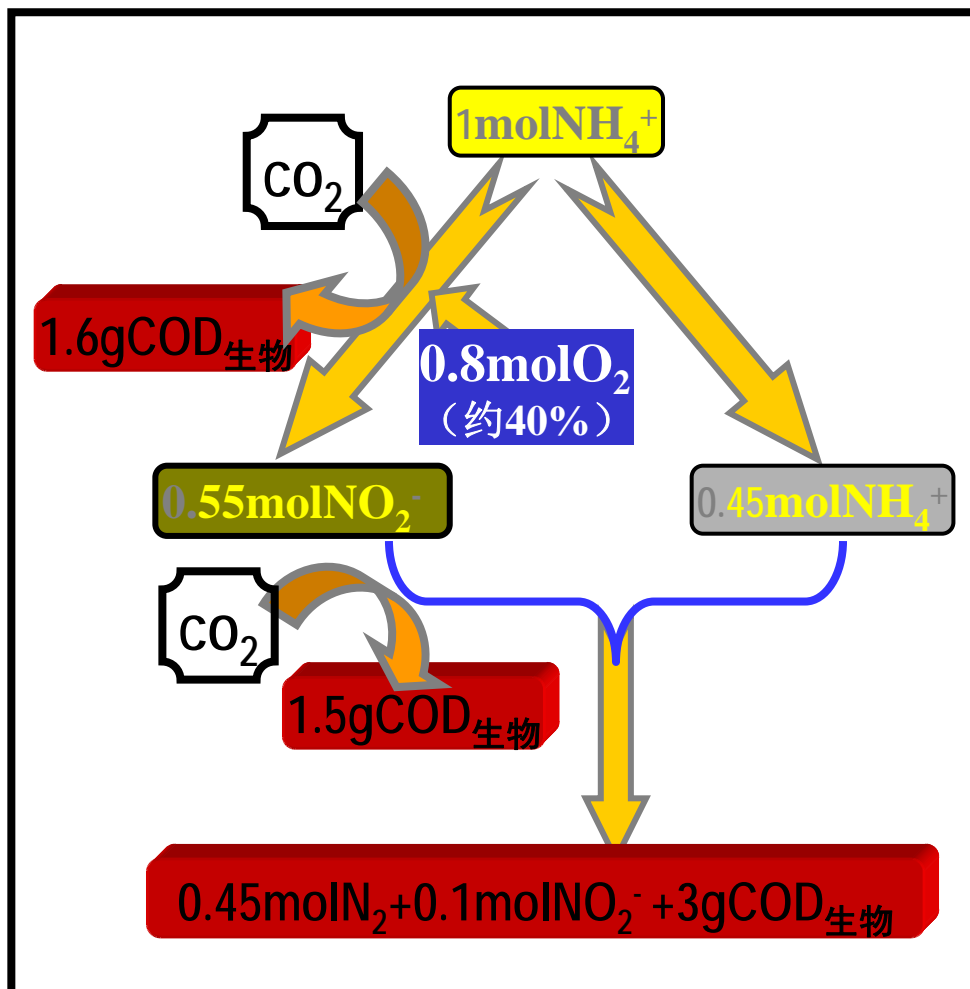
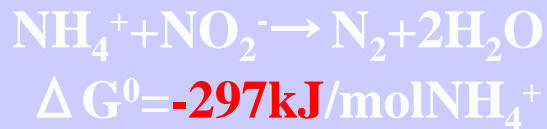
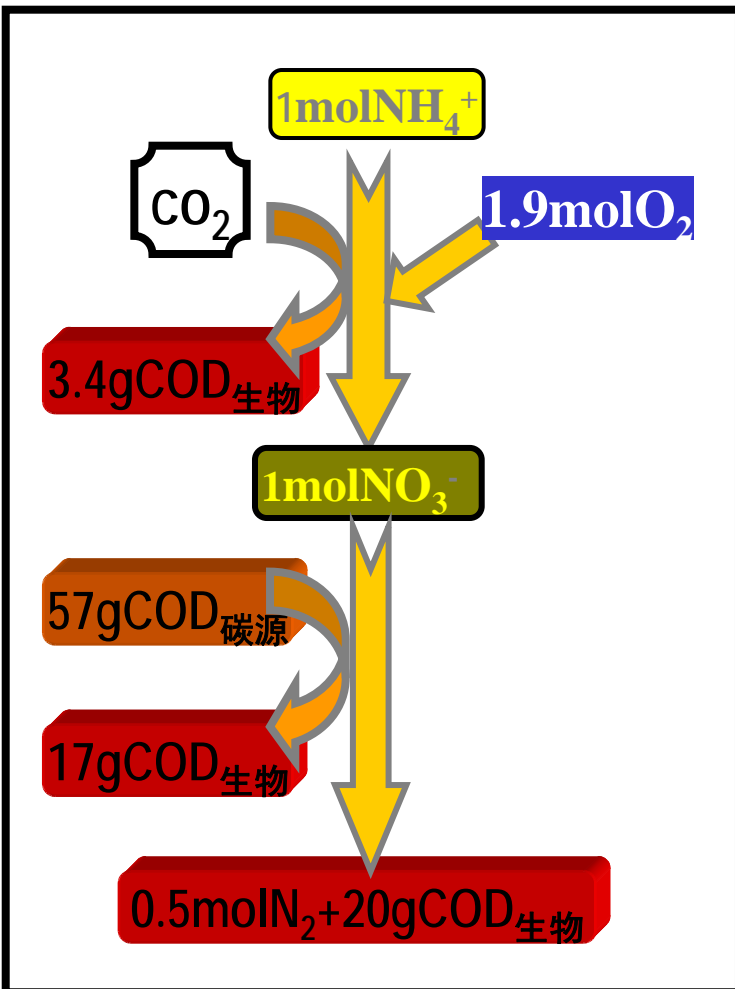
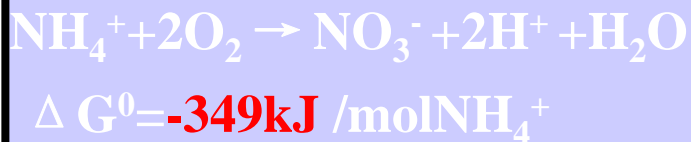
- 氧化细胞内储存的PHA时电子受体是 $\text{NO}_x^-$
- Wanner工艺交替的厌氧和缺氧条件并结合单独的固定生物膜硝化
- Dephanox工艺，具有硝化和反硝化除磷双污泥

回流系统

- 荷兰 DELFT大学的Mark教授在氧化沟和UCT工艺基础上开发的BCFS工艺

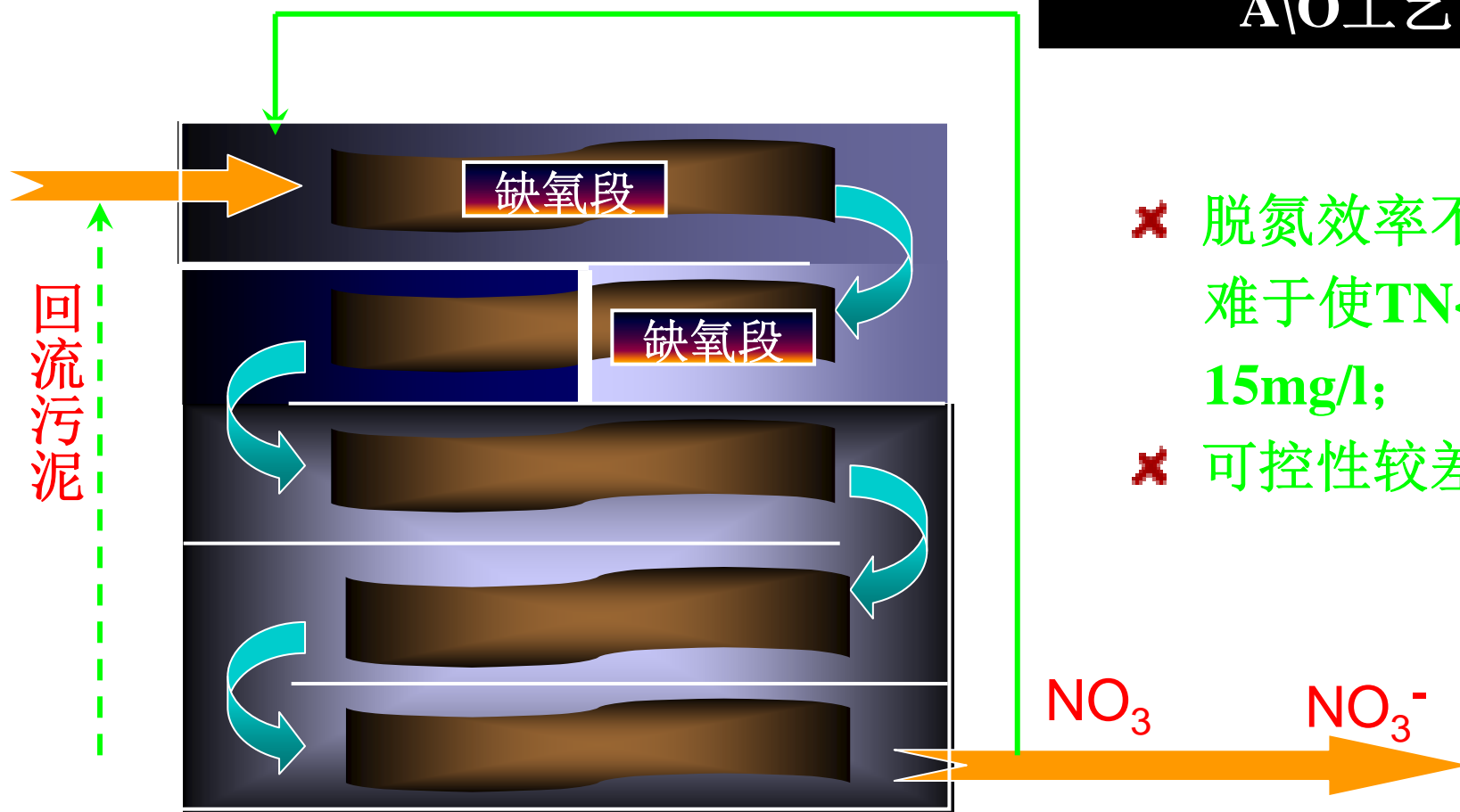


# 厌氧氨氧化

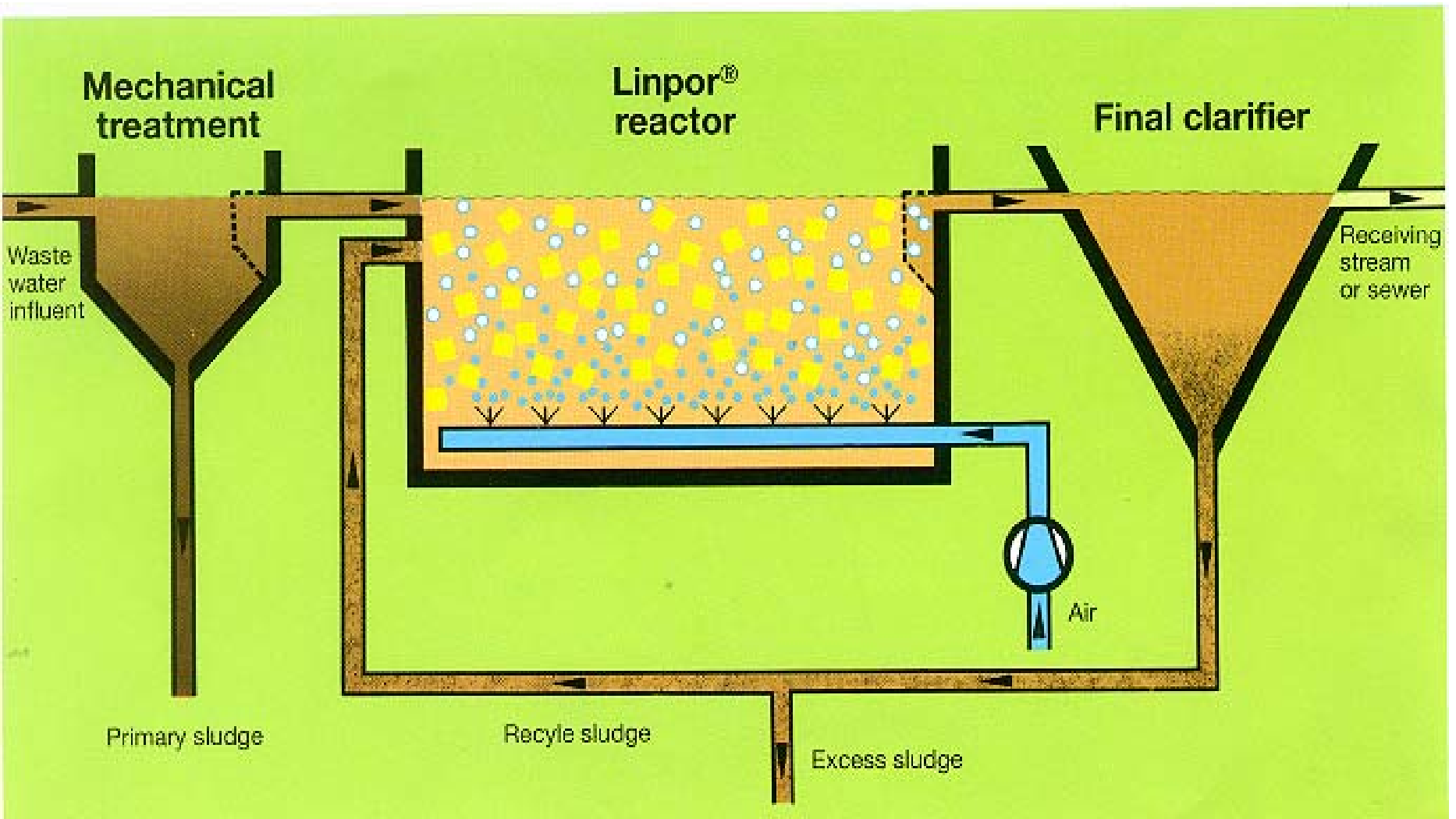


全程硝化-反硝化与短程硝化-厌氧氨氧化过程的比较

# 分段进水深度脱氮



# Linpor 工艺





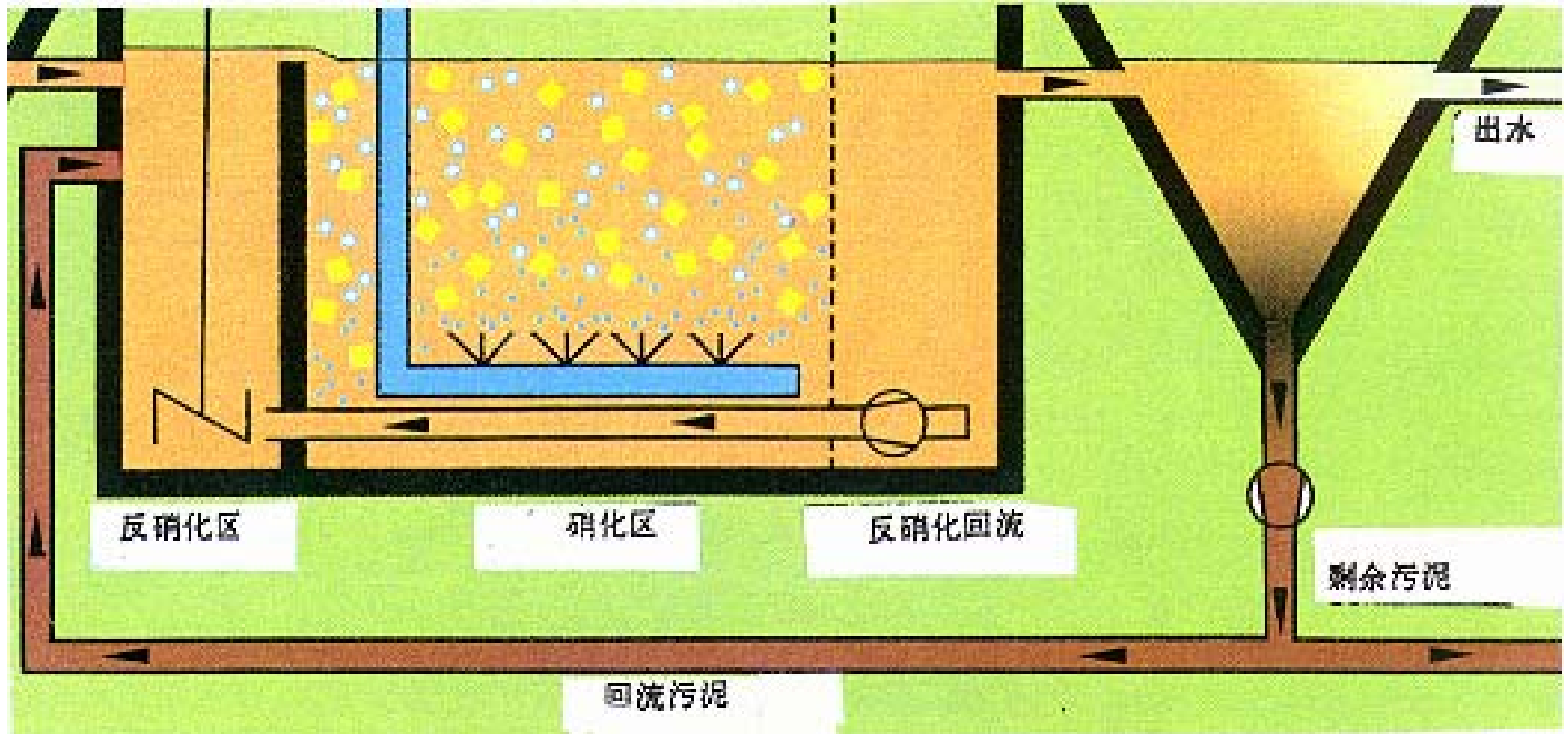
**Linpor** 工艺中应用的泡沫塑料方块生物膜载体

- **Linde** 公司开发的一种悬浮载体淹没式生物膜反应器
- 生物膜载体为：**10X10mm** 的泡沫塑料方块，其比重 $\approx 1$ ，故在曝气状态下悬浮于水中。
- 其比表面积大，**1m<sup>3</sup>**方块载体的比表面积达**1000m<sup>2</sup>**，其上附着吸附大量的生物膜，总**MLSS $\geq 10,000$ mg/L**。
- 其有机物体积负荷比普通活性污泥法大数倍。
- 用**Linpor**法取代常规活性污泥法，不扩大池体积，污水处理量可增加**1**倍，出水水质也有提高。

## 不同Linpor 工艺

- Linpor-C工艺**：用以去除BOD<sub>5</sub>物质，用它取代常规活性污泥法，不增加池容积，可使处理污水量增加1倍，出水水质也有改善； MLSS≥10, 000mg/L。
- Linpor-N 工艺**：在去除BOD之后，进行硝化用以去除污水中的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N，该工艺无剩余污泥产生，无须设置后沉池；硝化菌附着生长在载体方块上，污泥龄长，硝化效果好；  
方块内层还生长一些兼性菌和厌氧菌，能进行部分反硝化和降解一些难降解的有机化合物；
- Linpor-CN工艺**：与Linpor-C不同，其有机负荷低，以进行硝化；为此需要比Linpor-C更大的容积的反应池，但因其 MLSS大，其容积增加比常规活性污泥法小得多；  
Linpor -CN系统能同时进行硝化和部分反硝化，这是因为在载体方块中存在DO浓度梯度现象，从外向内存在好氧-缺氧-厌氧区，亦即每个载体方块中是个小的硝化-反硝化反应器；  
当进水TN>40mg/L时，加设缺氧区，提高反硝化率。

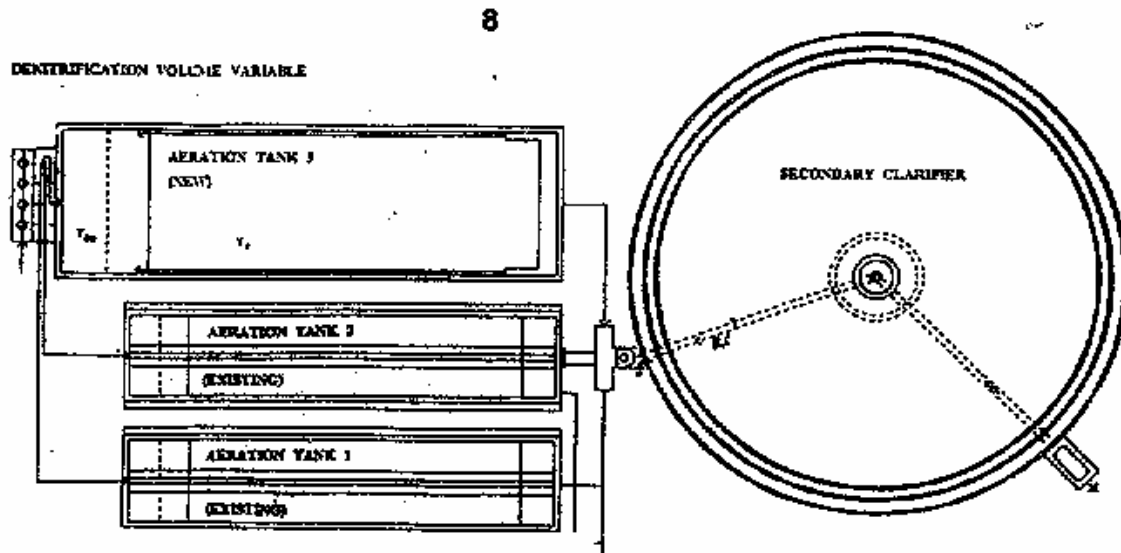
## 带有前端反硝化区的Linpor-CN 流程示意图





Linpor 实例-德国  
Freising 污水处理厂  
采用Linpor-CN工艺

采用Linpor-CN工艺改建和新建曝气池平面图



曝气池1（改建）：

$V_{\text{总}}=1640\text{m}^3$ ，其中  
 $V_{\text{DN}}=190-390\text{m}^3$ ；  
 $V_{\text{N}}=1250-1430\text{m}^3$

曝气池2（改建与曝气池1完全相同）

## 采用Linpor -CN 工艺污水处理厂运行效果一览表

| 污水处理厂      | 水质项目  | 进水(mg/L) | 出水(mg/L) | 去除率(%) |
|------------|---|----------|----------|--------|
| Freising   | TKN   | 37       | 9        | 76     |
|            | NH <sub>4</sub> -N  | 20       | 6        | 70     |
|            | NO <sub>2</sub> /NO <sub>3</sub>  | 7        | 5        | 28.6   |
|            | TN  | 44       | 14       | 68     |
|            | BOD <sub>5</sub>  | 113      | 3        | 98.2   |
|            | COD   | 254      | 37       | 85.5   |
|            | 水力停留时间 4h<br>体积负荷 0.96kgBOD <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> .d<br>F/M=0.19kgBOD <sub>5</sub> /kgMLSS.d |          |          |        |
| Tacharting | TKN   | 42       | 5        | 89     |
|            | NH <sub>4</sub> -N  | 39       | 0.5      | 99     |
|            | NO <sub>2</sub> /NO <sub>3</sub>  | 0        | 6        | -      |
|            | TN  | 42       | 11       | 75     |
|            | BOD <sub>5</sub>  | 206      | 5        | 98     |
|            | COD   | 500      | 45       | 91     |
|            | 水力停留时间 7.5h<br>体积负荷 0.66kgBOD <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> .d<br>F/M=0.07kgBOD <sub>5</sub> /kg.d   |          |          |        |



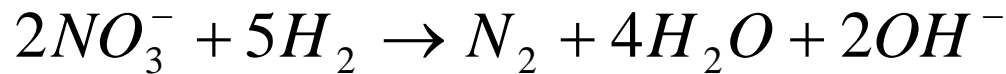
# 生物电极脱氮原理与工艺

- (1) 生物电极脱氮原理

硝化：



反硝化： $2NO_2^- + 3H_2 \rightarrow N_2 + 2H_2O + 2OH^-$

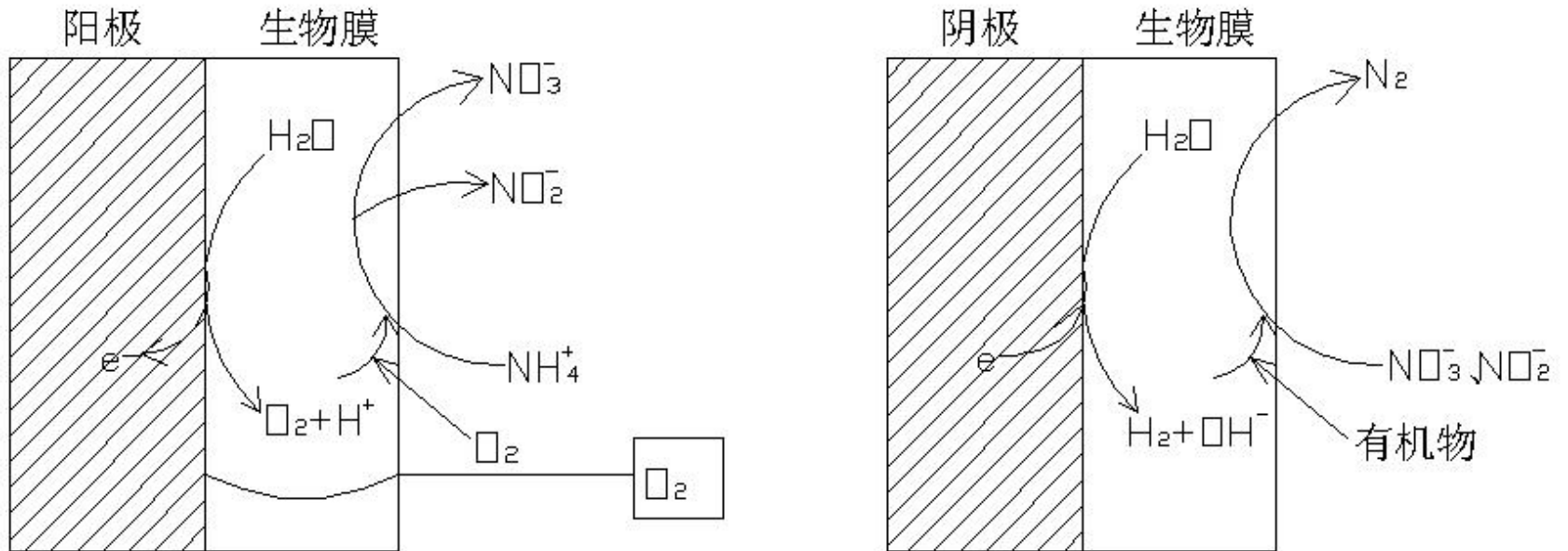


另一方面水电解：

阳极  $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e$

阴极  $2H_2O + 2e \rightarrow H_2 + 2OH^-$

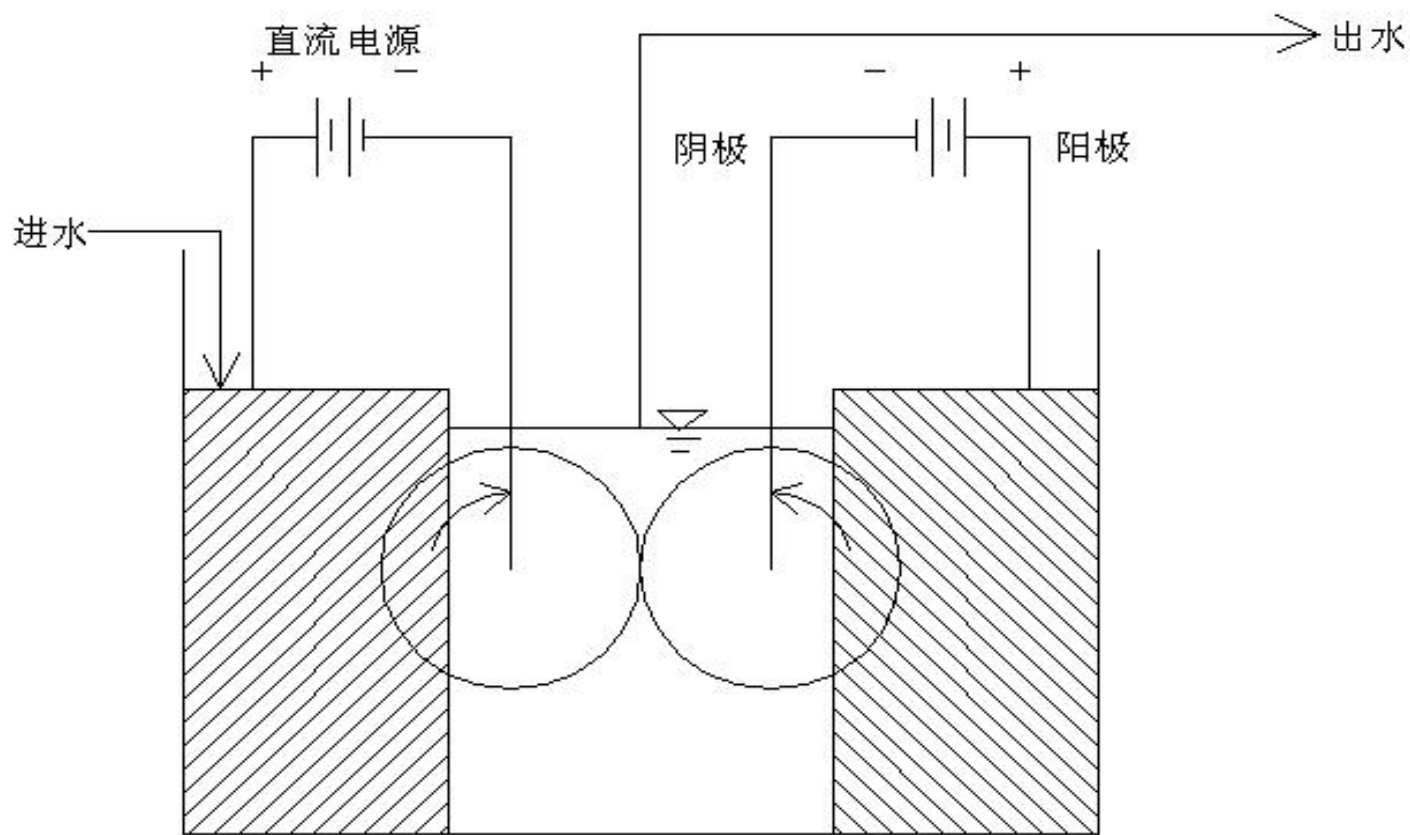
以硝化菌固定化电极为阳极，利用电解在阳极生成的 $O_2$ 进行生物膜硝化；以脱氮菌固定化电极为阴极，利用阴极生成的 $H_2$ 作为生物膜脱氮的氢供体



生物电极脱氮原理示意图

可采用碳电极

控制电极电流  $0\sim 300\text{mA}$ , ORP  $152\text{mV}\text{-}138\text{mV}$ 。



生物电极脱氮工艺示意图



## 6 多氧化还原作用脱氮除磷技术研究

# 脱氮和除磷的矛盾

- 首先，同一工艺中脱氮除磷时的碳源争夺
- 在厌氧区，如果存在较多的硝酸盐，反硝化菌会与聚磷菌争夺水中的有机碳源来完成反硝化，影响磷的释放和聚磷菌体内PHB的合成，从而影响后续除磷效果。在进水C/N比低时，整个系统营养物质去除的稳定性会受到影响。
- 为解决厌氧区硝酸盐和聚磷菌对有机碳源的争夺，也有采用外界投加碳源以弥补C/N不足的实例，或在好氧区投加填料，使硝化菌固定，使其不受污泥回流的影响。这些措施都使同时脱氮除磷的效率有所提高

- 其次，同一工艺中脱氮除磷时的泥龄矛盾
- 硝化菌增殖速度慢、世代时间长，实现硝化需泥龄为10-15天。
- 而除磷是通过剩余污泥的排除实现的，除磷的最佳泥龄为3-5天。
- 因此不协调的排泥计划可能影响整体处理效果。工艺

• **第三，对环境的要求不同。**

• 一般其脱氮效果好时除磷效果差，除磷效果好时脱氮效果差。

• 因为生物脱氮除磷工艺需包含硝化、反硝化、释磷和摄磷过程，而每一过程有固定的或专性微生物类群完成，其对环境的要求也不同，所以不可避免地产生了矛盾。

## •第四，溶解氧(DO)的影响

- 好氧池过高的DO会随污泥回流和混合液回流分别带到厌氧段和缺氧段，影响厌氧段聚磷菌的释放和缺氧段的硝态氮的反硝化，对除磷脱氮均不利。
- 相反，好氧池的DO浓度太低也限制了硝化菌的生成率，导致硝化菌从污泥系统中淘汰，严重影响硝化

## •第五，回流比的影响影响

- 污泥回流比低则各段的生化反应速率低，污泥回流比高则导致回流污泥将大量硝态氮带入厌氧池，引起反硝化菌和聚磷菌产生竞争，虽有利于脱氮，但不利于除磷
- 混合液回流比低则脱氮率低，混合液回流比高则动力消耗大、运行费用高；



## •第五，回流比的影响

- 污泥回流比低则各段的生化反应速率低，污泥回流比高则导致回流污泥将大量硝态氮带入厌氧池，引起反硝化菌和聚磷菌产生竞争，虽有利于脱氮，但不利于除磷
- 混合液回流比低则脱氮率低，混合液回流比高则动力消耗大、运行费用高；

为了克服上述矛盾，在传统的单泥系统中同时获得氮磷的高效去除，将除磷和脱氮在空间或时间上分开，关键是构筑完善的缺氧、厌氧和好氧活性污泥环境，可在不同反应器或同一反应器的不同时间段分别设置厌氧、缺氧、好氧环境来满足脱氮与除磷要求

# 多氧化还原作用脱氮除磷技术 主要研究内容



## 6 脱氮除磷理论与工艺研究方向

4.1 脱氮除磷新工艺

4.2 脱氮除磷新机理

4.3 脱氮除磷工艺的数学模型和动力学

4.3 分子生物学及微生物生理生态学在脱氮除磷中的应用

# 谢 谢

