

第7章 活性污泥法原理与技术

7.1 活性污泥净化过程基本原理

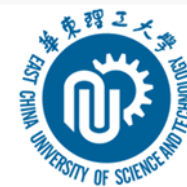
7.2 活性污泥系统动力学

7.3 活性污泥法单元技术原理与设计

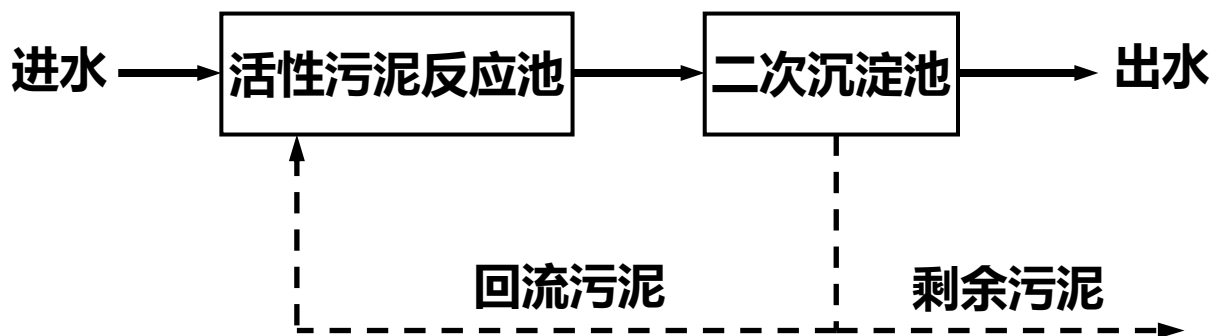
7.4 活性污泥法复合技术原理与设计

展 望

7.1 活性污泥净化过程基本原理



活性污泥处理过程基本概念



活性污泥处理基本流程图

活性污泥：在一定的条件下，有些微生物菌群可形成胞外粘液层，并将无粘液菌群粘结起来，形成菌胶团。菌胶团再相互粘结并吸附一些有机或无机物，不断增大形成悬浮状絮体结构，即活性污泥。活性污泥内“聚居”大量活性菌群，对底物降解能力强且絮体吸附、沉降性能良好。

活性污泥处理过程基本类型

按照**有无曝气充氧**，可分为**好氧、厌氧和好氧 - 厌氧复合式活性污泥工艺**。

按照**反应池内溶解氧的控制水平**又可将好氧活性污泥工艺分为**好氧、低氧或缺氧工艺**。

根据**曝气方式**的不同又可将好氧活性污泥工艺分为均匀曝气、阶段曝气、延时曝气、深层曝气、浅层曝气、纯氧曝气等。

根据**反应池内废（污）水与活性污泥混合方式、流态的不同**，可分为推流式活性污泥过程、完全混合式活性污泥过程、循环混合式活性污泥过程等。

活性污泥处理过程基本类型

复合式活性污泥组合工艺：

空间上的好氧、缺氧或厌氧交替组合：如吸附 - 生物降解组合工艺 (*AB—Adsorption Biodegradation*)、厌氧/好氧除磷组合工艺 (*AnO—Anaerobic Oxic*)、缺氧/好氧脱氮组合工艺 (*AO—Anoxic Oxic*)、厌氧/缺氧/好氧脱氮除磷组合工艺 (*AnAO—Anaerobic Anoxic Oxic*)、氧化沟工艺、巴顿甫脱氮除磷组合工艺 (*Bardenpho—Barnard Denitrogen Dephosphorus*) 等。

时间上的好氧、缺氧或厌氧交替组合：如序批式活性污泥过程 (*SBR—Sequencing Batch Reator*) 。

数量评价指标

混合液悬浮固体浓度或污泥浓度:

$$MLSS = Ma + Me + Mi + Mii$$

混合液挥发性悬浮固体浓度:

$$MLVSS = Ma + Me + Mi$$

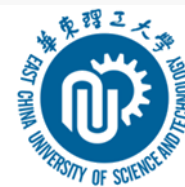
Ma: 微生物群体;

Me: 微生物自身氧化残留物;

Mi: 废水挟入未降解的惰性物质;

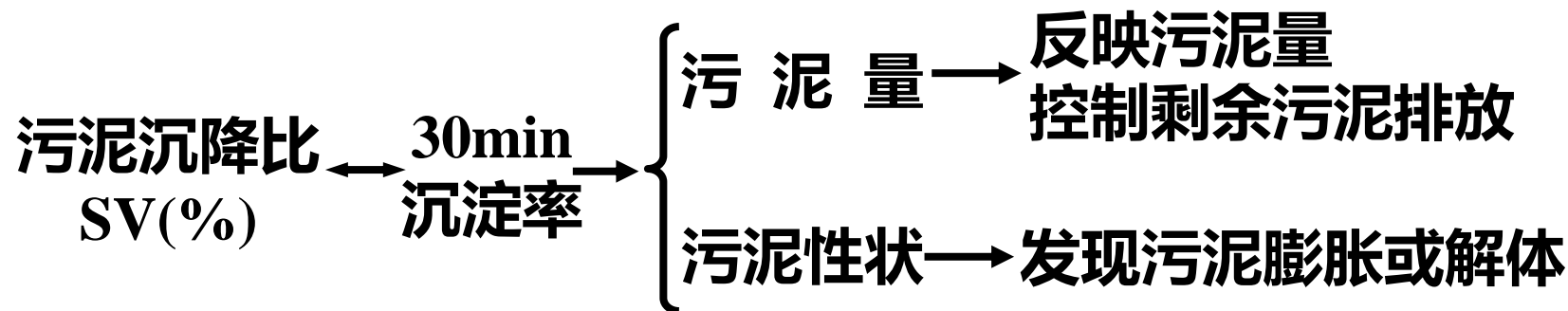
Mii: 被吸附的无机物质

7.1 活性污泥净化过程基本原理



质量评价指标——沉淀性能

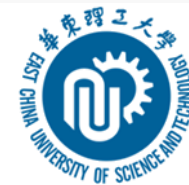
正常活性污泥完成絮凝沉降和成层沉降需时 $t \geq 30\text{min}$



污泥指数SVI (mL/g) :

$$\begin{aligned} SVI &= \frac{\text{混合液}(1L)30\text{ min 静沉形成的活性污泥容积}(mL)}{\text{混合液}(1L)\text{中悬浮固体干重}(g)} \\ &= \frac{SV(mL/L)}{MLSS(g/L)} = \frac{10 \times SV(\%)}{MLSS(g/L)} \end{aligned}$$

7.1 活性污泥净化过程基本原理



质量评价指标——污泥活性

污泥活性：指对有机物的吸附、降解性能。

污泥活性判断：

- 表观形状
- 沉降性能
- 微生物组成结构

活性污泥净化底物过程

初期吸附去除

——→ 好氧或缺氧

物理吸附与生物吸附效能强

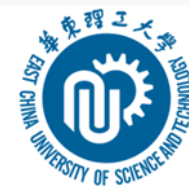
活性污泥比表面积大

活性污泥覆盖多糖类粘质层

“饥饿”的微生物(内源呼吸期)

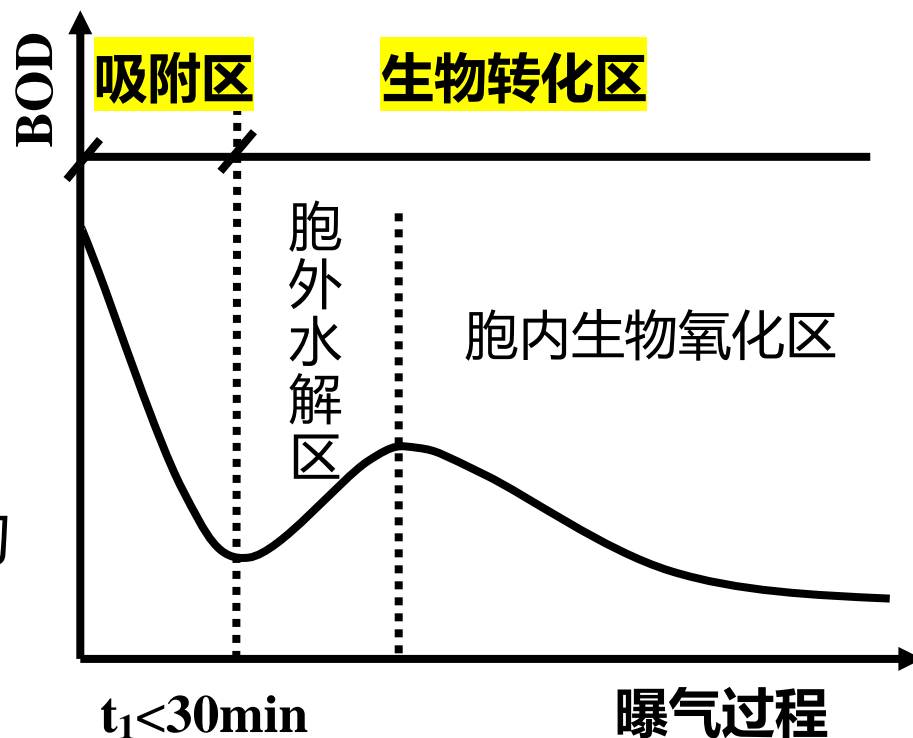
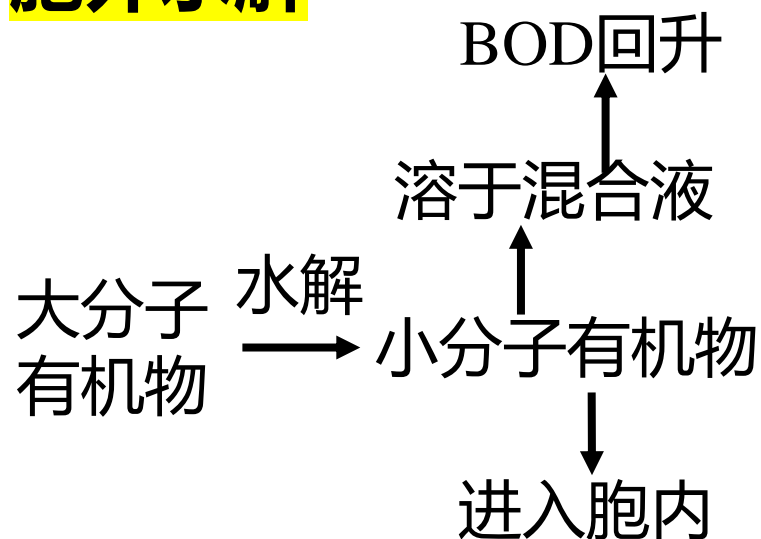
SS、胶体在30min内迅速去除, η BOD₅≈70%。

7.1 活性污泥净化过程基本原理



微生物代谢过程

胞外水解



胞内生物稳定

细胞内的底物，在胞内酶（如脱氢酶和氧化酶）作用下，微生物对其进行分解与合成代谢，终产物是细胞物、 CO_2 、 H_2O 等。

活性污泥净化过程影响因素

废水水质特性

- (1) 污染物质可生物降解性
- (2) 碱度 如：生物脱氮过程
- (3) C:N:P

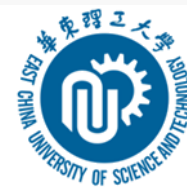
好氧微生物 C:N:P=100:5:1

厌氧微生物 C:N:P=100:3:1

聚磷菌厌氧释磷时要求：进水S-TP:SBOD₅<0.06

缺氧反硝化要求：进水COD:TKN>8。

7.1 活性污泥净化过程基本原理



活性污泥净化过程影响因素

活性污泥过程控制模式

- (1) 活性污泥反应池池型
- (2) 活性污泥反应池进水方式
- (3) 活性污泥反应池曝气方式

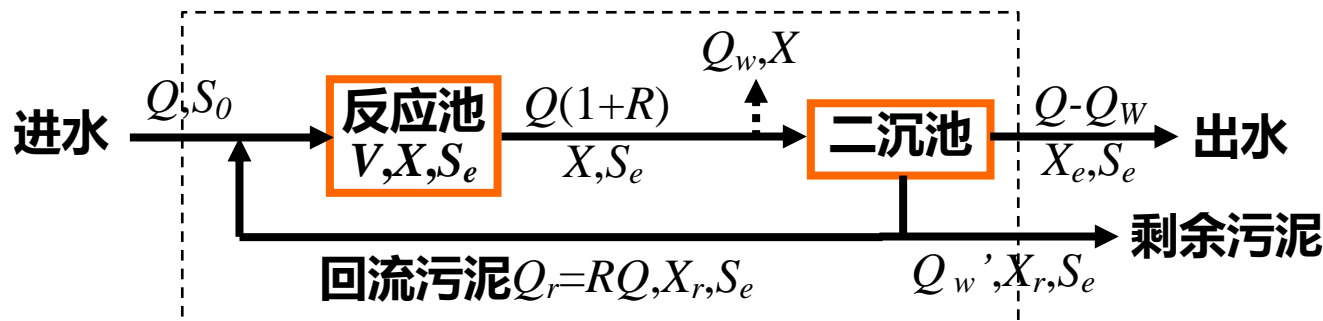
活性污泥净化过程影响因素

活性污泥过程控制参数

- (1) 水温, T
- (2) 水力停留时间, HRT
- (3) 污泥龄, θ_c
- (4) $F:M$
- (5) 污泥浓度, X
- (6) 溶解氧, DO
- (7) 污泥回流比, R
- (8) 混合液回流比, R_N
- (9) 剩余污泥排放量 ΔX

7.2 活性污泥系统动力学

完全混合式系统



污泥浓度 $X \longleftrightarrow$ 污泥龄 θ_c

$$\theta_c = \frac{XV}{\Delta X} = \frac{XV}{Q_w X + (Q - Q_w) X_e}$$

$$\left(\frac{dX}{dt} \right)_g = Y \left(\frac{dS}{dt} \right)_u - K_d X$$

$$\left(\frac{dX}{dt} \right) V = \left(\frac{dX}{dt} \right)_g V - [Q_w X + (Q - Q_w) X_e]$$

整个系统物料平衡：微生物净变化率=增殖率-排除率

7.2 活性污泥系统动力学

系统物料平衡: 微生物净变化率=增殖率-排除率

$$\theta_c = \frac{XV}{\Delta X} = \frac{XV}{Q_w X + (Q - Q_w) X_e}$$

$$\left(\frac{dX}{dt} \right)_g = Y \left(\frac{dS}{dt} \right)_u - K_d X$$

$$\left(\frac{dX}{dt} \right) V = \left(\frac{dX}{dt} \right)_g V - [Q_w X + (Q - Q_w) X_e]$$

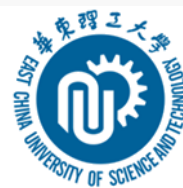
$$\left(\frac{dX}{dt} \right) V = \left[Y \left(\frac{dS}{dt} \right)_u - K_d X \right] V - \frac{XV}{\theta_c}$$

$$\left(\frac{dX}{dt} \right) V = 0$$

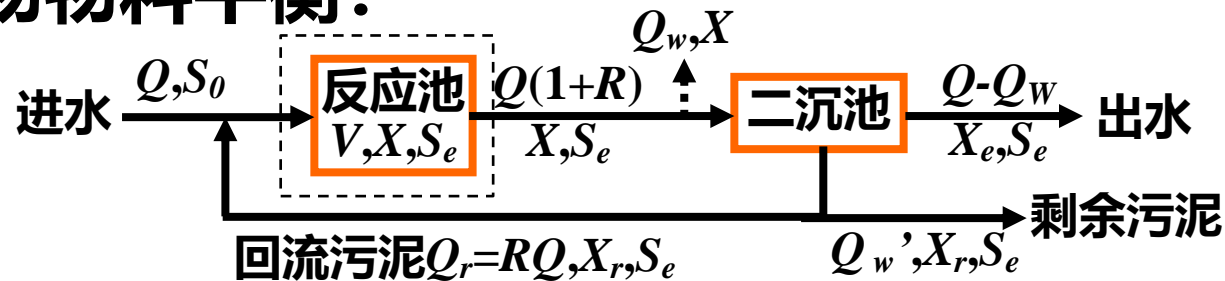
微生物稳态时
增殖率=排除率

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \frac{(dS/dt)_u}{X} - K_d$$

7.2 活性污泥系统动力学



反应池的底物物料平衡:



底物净变化率=底物进反应池速率-底物在反应池降解速率
-底物出反应池速率

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)V = QS_0 + RQS_e - \left(\frac{dS}{dt}\right)_u V - (1+R)QS_e \quad \left(\frac{dS}{dt}\right)V = 0 \quad \text{稳态}$$

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_u = \frac{Q(S_0 - S_e)}{V}$$

同乘两侧 $1/X$

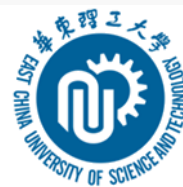
$$\frac{(dS/dt)_u}{X} = \frac{Q(S_0 - S_e)}{XV}$$

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \frac{(dS/dt)_u}{X} - K_d$$

$$X = \frac{\theta_c Y Q (S_0 - S_e)}{V(1 + K_d \theta_c)}$$

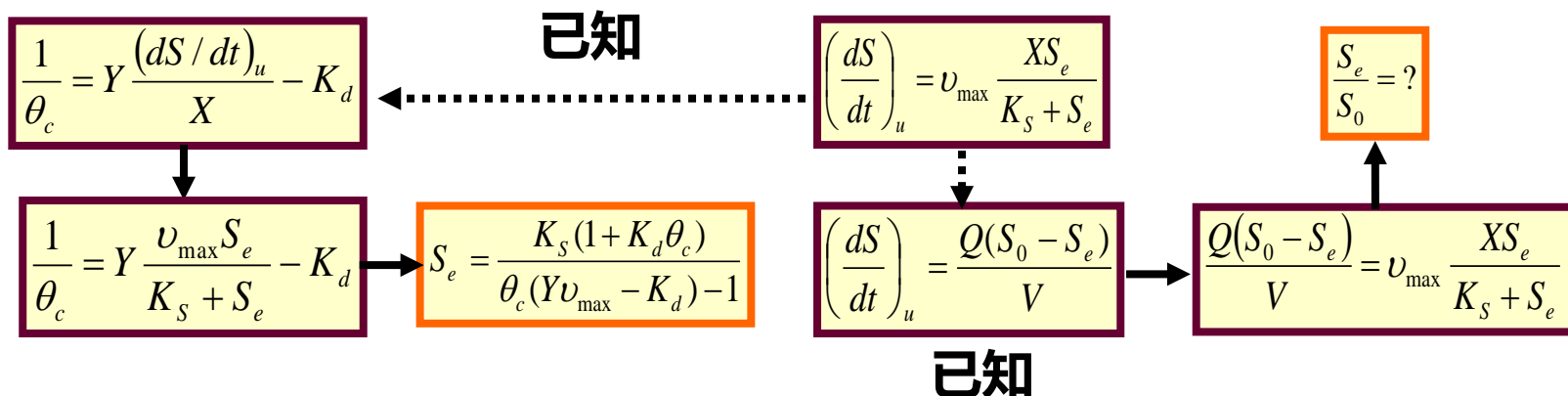
$$X = \frac{Y Q (S_0 - S_e)}{V(1/\theta_c + K_d)}$$

7.2 活性污泥系统动力学

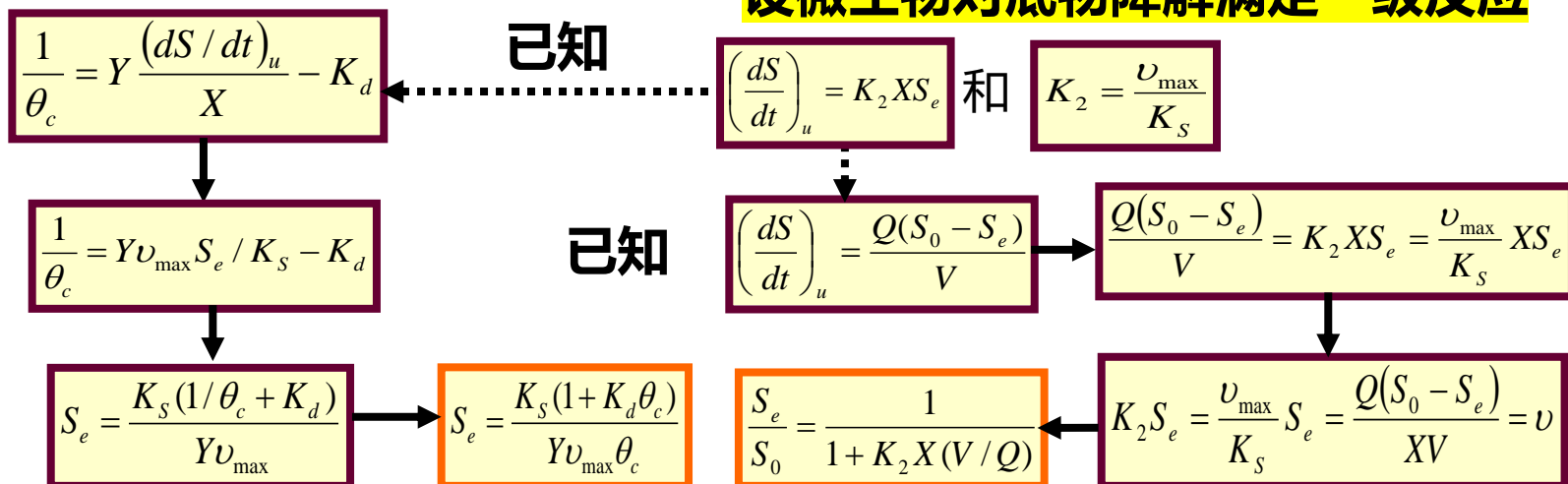


完全混合式系统

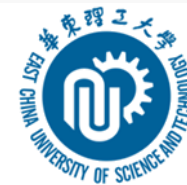
出水底物浓度 $S_e \longleftrightarrow$ 污泥龄 θ_c



设微生物对底物降解满足一级反应



7.2 活性污泥系统动力学



完全混合式系统

合成产率 Y ，表观产率 Y_{obs} \longleftrightarrow 污泥龄 θ_c

已知

$$\Delta X = YQ(S_0 - S_e) - K_d VX$$

$$\Delta X = Y_{obs}(S_0 - S_e)Q$$



$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + K_d \frac{VX}{\Delta X}}$$



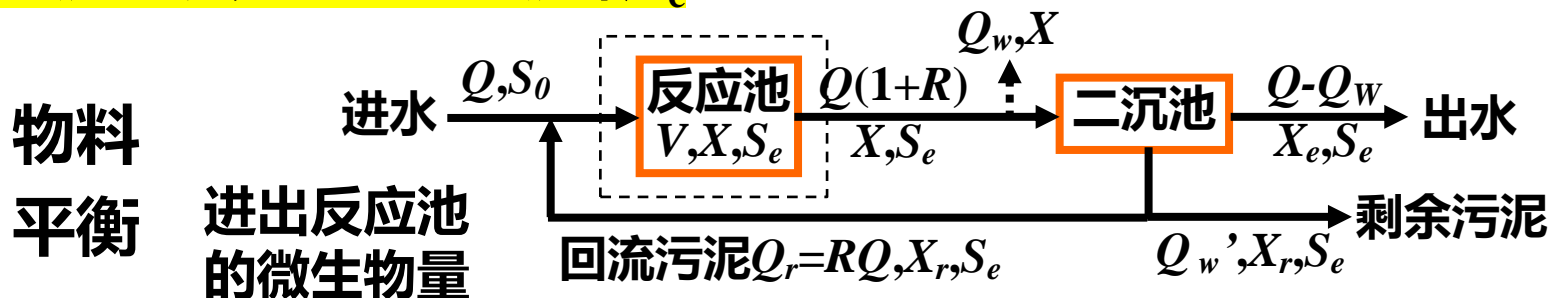
$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + K_d \theta_c}$$



$$\theta_c = \frac{XV}{\Delta X}$$

7.2 活性污泥系统动力学

污泥回流比 $R \longleftrightarrow$ 污泥龄 θ_c



已知 $\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = Y\left(\frac{dS}{dt}\right)_u - K_d X$

一级反应 $\left(\frac{dS}{dt}\right)_u = K_2 X S_e$ 和 **稳态条件** $\left(\frac{dX}{dt}\right)_V = 0$

已知 $S_e = \frac{K_s(1 + K_d \theta_c)}{Y v_{\max} \theta_c}$

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_V = RQX_r + \left(\frac{dX}{dt}\right)_g V - Q(1+R)X$$

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_V = RQX_r + \left[Y\left(\frac{dS}{dt}\right)_u - K_d X\right] V - QX - RQX$$

$$0 = RQX_r + (YK_2 X S_e - K_d X) V - QX - RQX$$

$$0 = RQX_r + (YK_2 X K_s \frac{1 + K_d \theta_c}{Y v_{\max} \theta_c} - K_d X) V - QX - RQX$$

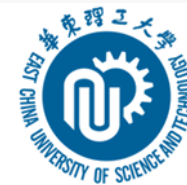
$K_d = 0$

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{Q}{V} \left(1 + R - R \frac{X_r}{X}\right)$$

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

工程中，回流污泥浓度 X_{Tr} 最高值近似为

7.2 活性污泥系统动力学



小结：完全混合式活性污泥系统动力学

劳伦斯-麦卡蒂方程 (Lawrence-McCarty方程)

基本方程

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \frac{(dS/dt)_u}{X} - K_d$$

$$\left(\frac{dS}{dt} \right)_u = v_{\max} \frac{XS_e}{K_s + S_e}$$

导出方程

$$X = \frac{\theta_c Y Q (S_0 - S_e)}{V (1 + K_d \theta_c)}$$

$$X \longleftrightarrow \theta_c$$

$$S_e = \frac{K_s (1 + K_d \theta_c)}{\theta_c (Y v_{\max} - K_d) - 1}$$

$$S_e = \frac{K_s (1 + K_d \theta_c)}{Y v_{\max} \theta_c}$$

$$S_e \longleftrightarrow \theta_c$$

底物降解为一级反应

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{Q}{V} \left(1 + R - R \frac{X_r}{X} \right)$$

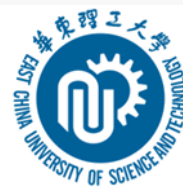
$$R \longleftrightarrow \theta_c$$

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

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + K_d \theta_c}$$

$$Y_{obs} \longleftrightarrow \theta_c$$

7.2 活性污泥系统动力学



Lawrence-McCarty模式及 θ_c 的应用与意义

在污水厂的设计和运行管理方面有著广泛的指导作用：

(1) 从理论上明确了污泥平均停留时间与污泥负荷的关系。

$$\left. \begin{array}{l} \frac{1}{\theta_c} = Y \frac{(dS/dt)_u}{X} - K_d \\ \left(\frac{dS}{dt} \right)_u = \frac{Q(S_0 - S_e)}{V} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{1}{\theta_c} = Y \cdot \frac{Q(S_0 - S_e)}{XV} - K_d \rightarrow \frac{1}{\theta_c} = Y \cdot N_{rs} - K_d$$

θ_c 随 N_{rs} 增加而降低，这就决定了 θ_c 和 N_{rs} 都可作为控制污水效率的重要参数。

(2) 从理论上明确了基质出水浓度和污泥停留时间的关系。

$$S_e = \frac{K_s(1 + K_d\theta_c)}{\theta_c(Yv_{\max} - K_d) - 1} \quad S_e = \frac{K_s(1 + K_d\theta_c)}{Yv_{\max}\theta_c}$$

θ_c 越大 S_e 越小，即出水水质越好，这就决定了 θ_c 可以作为控制出水水质的重要参数。

(3) 从理论上明确了污泥浓度与污泥平均停留时间的关系

$$X = \frac{\theta_c YQ(S_0 - S_e)}{V(1 + K_d \theta_c)}$$

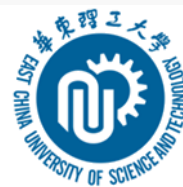
X 随 θ_c 的增加而提高，反之亦然。这说明想要使反应器中有较长的 θ_c ，就要相应地增加反应器内的污泥浓度，以得到较好的出水水质。

(4) 从理论上明确了污泥浓度与出水水质的关系。

$$X = \frac{\theta_c YQ(S_0 - S_e)}{V(1 + K_d \theta_c)}$$

S_e 小 X 就会大，说明在一定范围内增加 X 或 θ_c 可以提高出水水质

7.2 活性污泥系统动力学



(5) 用 θ_c 控制剩余污泥的排放量既方便又简单。

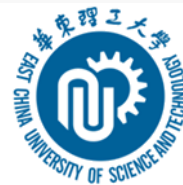
$$\theta_c = \frac{XV}{\Delta X} = \frac{XV}{Q'_w X_r}$$

Q'_w — 剩余污泥排放量
 X_r — 回流污泥浓度

(6) 用 θ_c 作为污水厂设计和运行的控制参数更为确切，并能够决定活性污泥中微生物的组成。

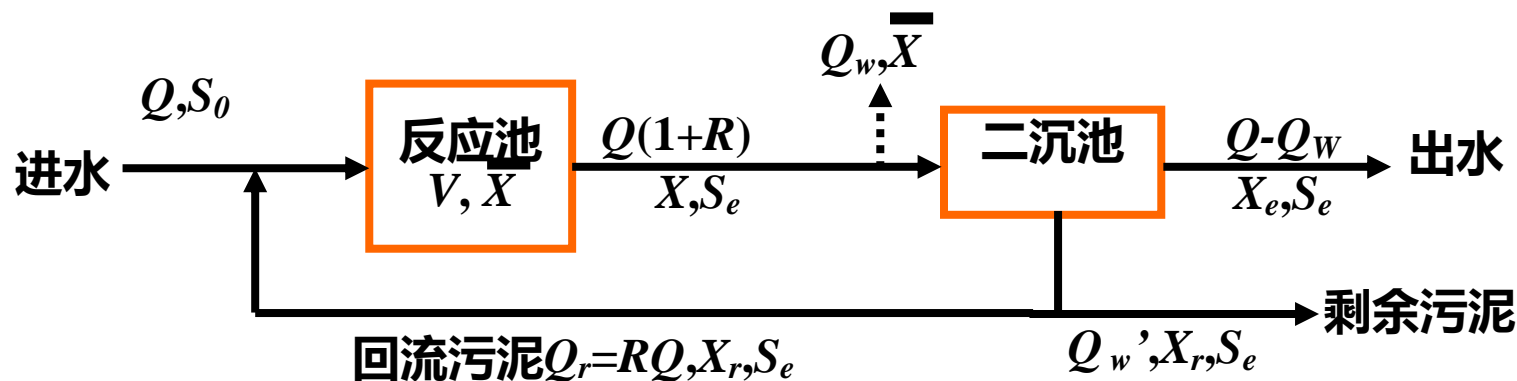
污泥负荷作为控制污水厂设计和运行的重要参数在理解上容易发生混淆，因为污泥负荷有体积负荷和重量负荷之分，又有挥发性混合液悬浮固体和混合液悬浮固体污泥之别。而从Lawrence-McCarty数学模式就可以看出，**污泥龄** θ_c 在理论上既能起到 N_{rs} 的作用，决定出水水质，同时又可避免概念上的混淆问题。此外，适当的 θ_c 能够决定活性污泥中微生物的组成。

7.2 活性污泥系统动力学



推流式系统

出水底物浓度 S_e \longleftrightarrow 污泥龄 θ_c



排泥方式:

从二沉池污泥斗排泥; 从反应池排混合液;

推导前提:

按后者方式排泥, 限定两种方式排泥量相同

$$(Q_w X = Q'_w X_r)$$

7.2 活性污泥系统动力学

已知单位时间，单位微生物量对底物降解速率：

$$\frac{dS}{dt} = -v_{\max} \frac{XS}{K_S + S} \xrightarrow{\text{积分}} \int_{S_0}^{S_e} dS + K_S \int_{S_0}^{S_e} \frac{dS}{S} = -v_{\max} \bar{X} \int_0^t dt \rightarrow \frac{1}{t} = \frac{v_{\max} \bar{X}}{(S_0 - S_e) + K_S \ln \frac{S_0}{S_e}}$$

设 $\theta_c = \frac{\bar{X}}{(dX/dt)_g}$ 则 $\frac{1}{\theta_c} = \frac{(dX/dt)_g}{\bar{X}}$

$$\frac{(dS/dt)_u}{\bar{X}} = \frac{Q(S_0 - S_e)}{V \bar{X}} = \frac{1}{t} \cdot \frac{S_0 - S_e}{\bar{X}}$$

已知 $\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = Y \left(\frac{dS}{dt}\right)_u - K_d X$

$$\frac{(dS/dt)_u}{\bar{X}} = \frac{1}{t} \cdot \frac{S_0 - S_e}{\bar{X}} = \frac{v_{\max} (S_0 - S_e)}{(S_0 - S_e) + K_S \ln \frac{S_0}{S_e}}$$

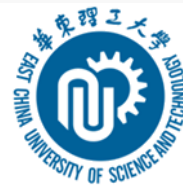
注意：

完全混合系统： $\theta_c = f(S_e)$ ；

推流式系统： $\theta_c = f(S_e, S_0)$

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \frac{(dS/dt)_u}{\bar{X}} - K_d = \frac{Y v_{\max} (S_0 - S_e)}{(S_0 - S_e) + K_S \ln \frac{S_0}{S_e}} - K_d$$

7.2 活性污泥系统动力学



$X \sim \theta_c$ 同完全混合流系统

$$\bar{X} = \frac{\theta_c Y Q (S_0 - S_e)}{V (1 + K_d \theta_c)}$$

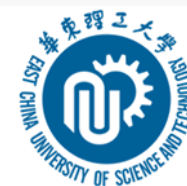
将 $t=V/Q$ 带入上式，得：

$$\bar{X} = \frac{\theta_c}{t} \frac{Y (S_0 - S_e)}{(1 + K_d \theta_c)}$$

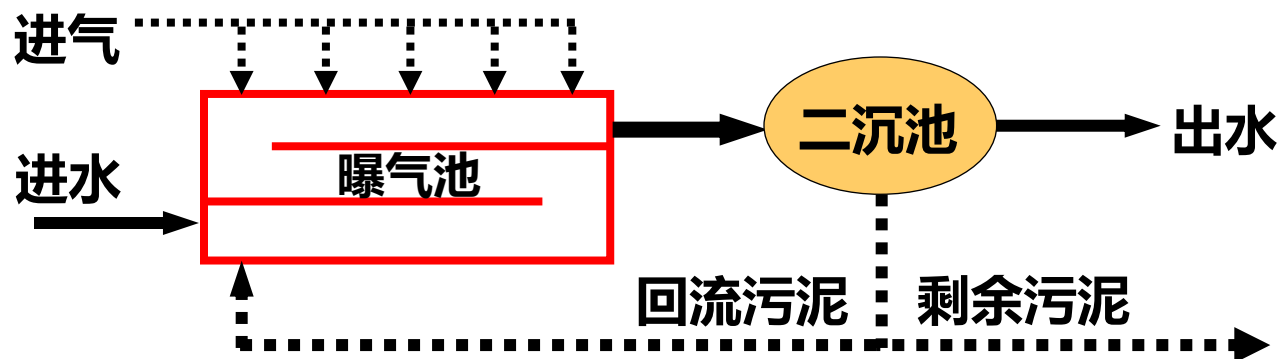
在工程设计时，尤其是水力停留时间较短的情况下，常采用完全混合条件导出的动力学模型设计推流式活性污泥处理系统，这样的设计方法偏于安全考虑。

当水力停留时间较长，或工程运行中可以达到较好的推流条件，可按照推流式动力学模型设计，或按照参数修正后的完全混合式动力学模型设计。

7.3 活性污泥法单元技术原理与设计



传统推流式活性污泥工艺流程与原理



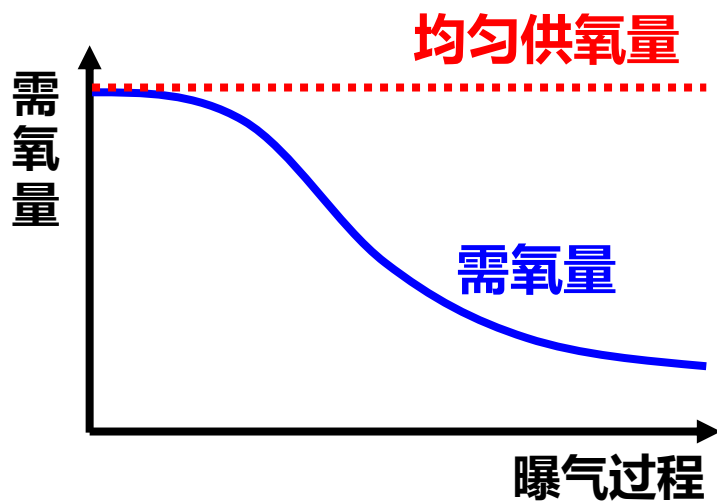
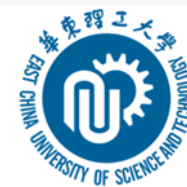
工艺特点

曝气需氧不匹配;
污水与活性污泥混合稀
释缓慢, 不耐冲击; 净
化程度高, 稳定性好,
 $\eta_{\text{BOD}} \approx 90\%$

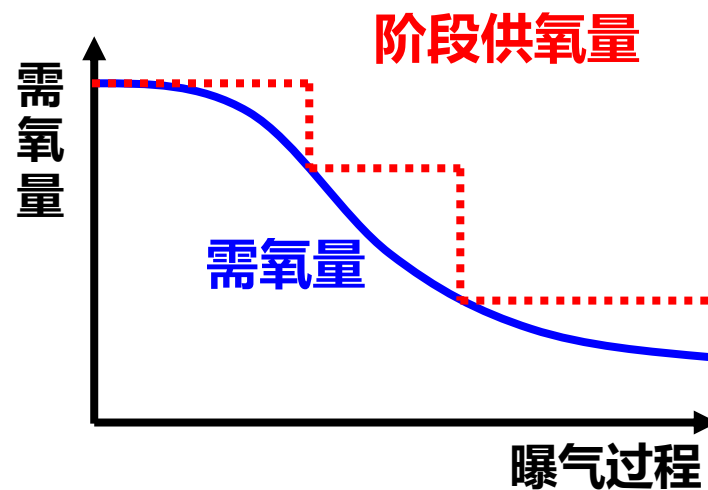
池首端.....池末端

高.....	底物负荷率	低
高.....	耗氧速率	低
大.....	需氧量	小
对数.....	活性污泥生长期	内源
低.....	活性污泥吸附效能	高
高.....	活性污泥代谢活性	低

7.3 活性污泥法单元技术原理与设计

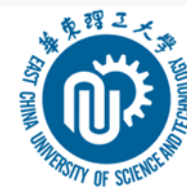


均匀曝气沿程需氧量

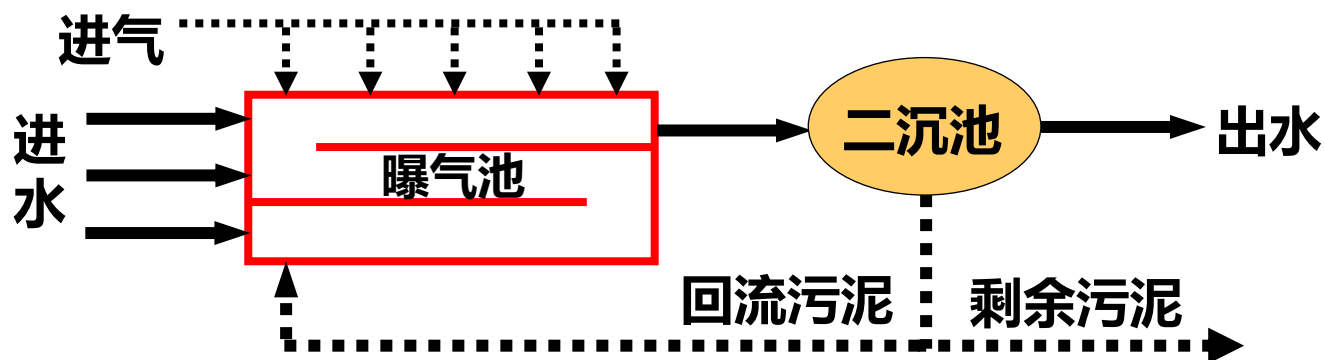


阶段曝气沿程需氧量

7.3 活性污泥法单元技术原理与设计

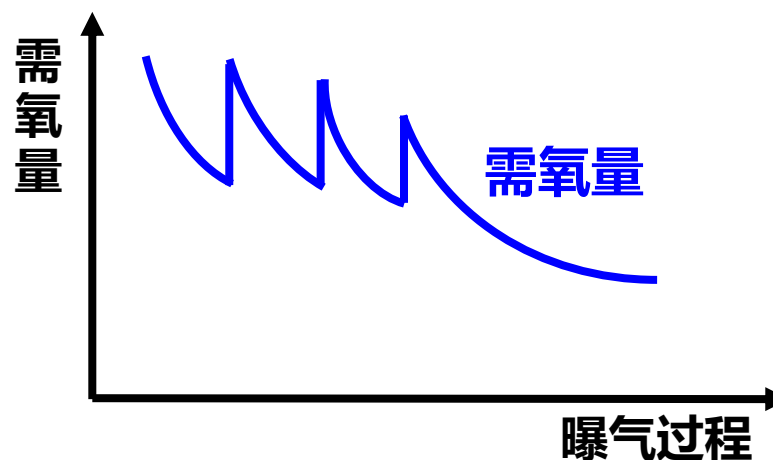


阶段进水活性污泥工艺流程与原理



工艺特点

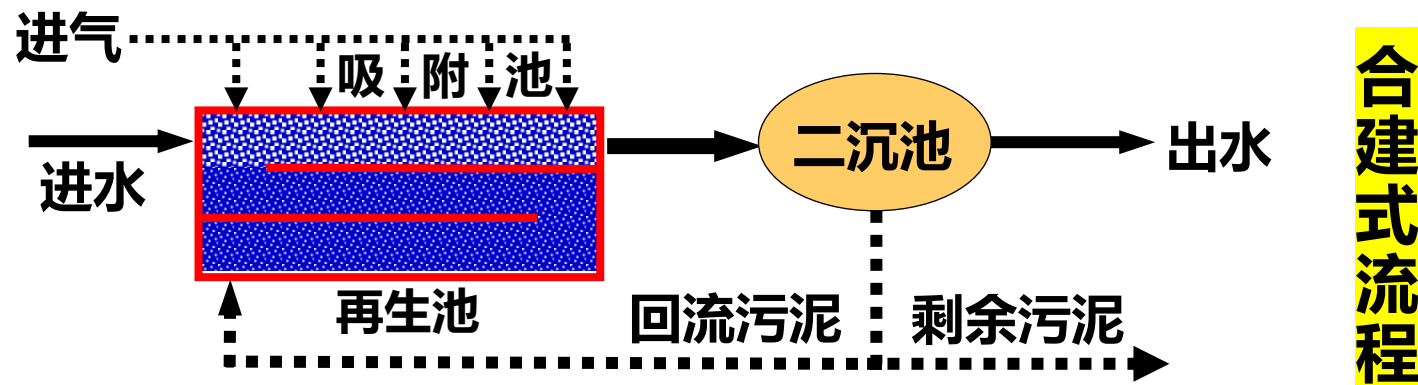
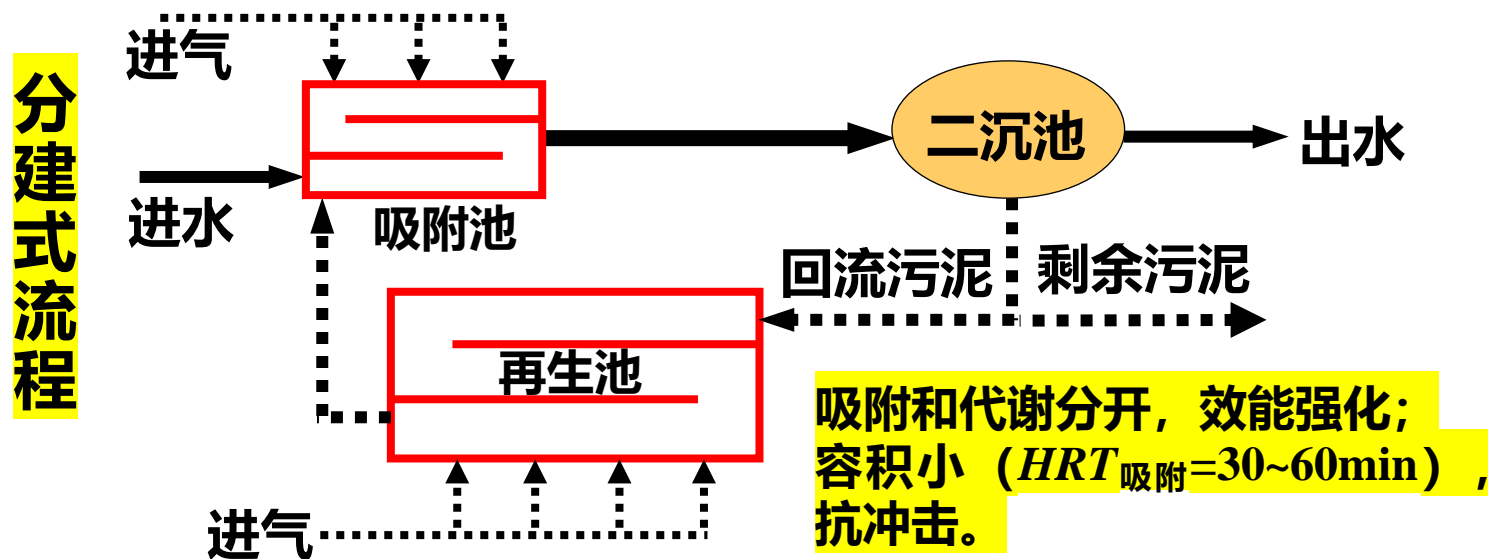
有机底物负荷沿池长均衡，
供氧速率与耗氧速率差距缩小；
降低能耗，发挥生物降解功能。



阶段进水曝气沿程需氧量

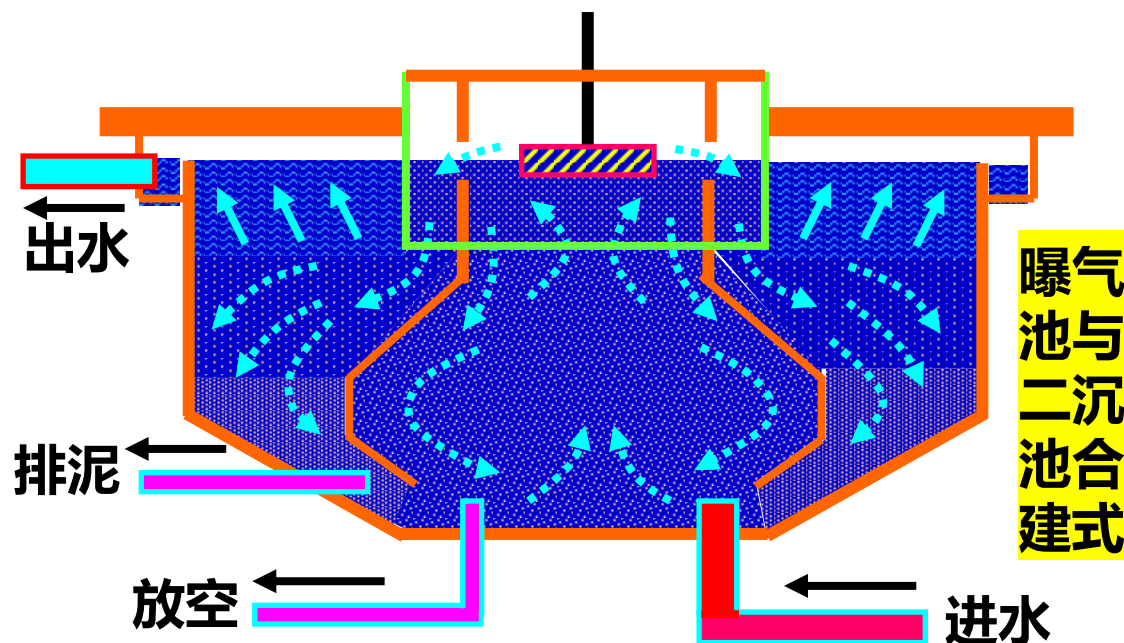
7.3 活性污泥法单元技术原理与设计

吸附-再生工艺流程与原理



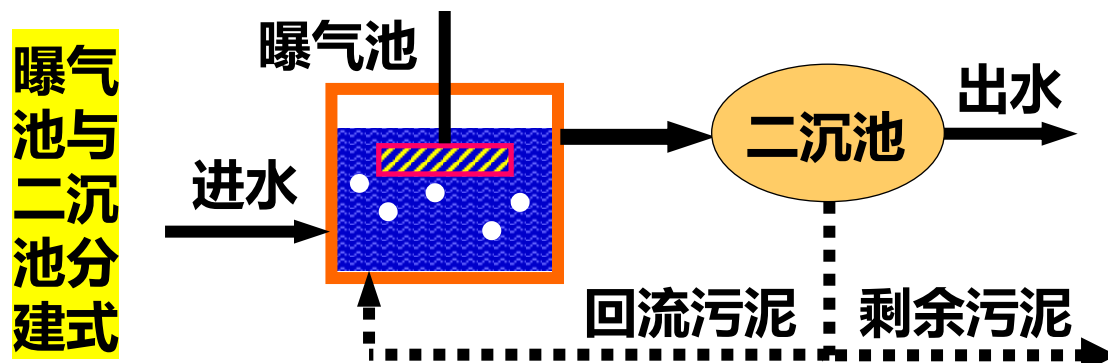
7.3 活性污泥法单元技术原理与设计

传统完全混合工艺流程与原理



较推流式特点

需氧均匀，机械曝气耗能低；
能处理高浓度废水，泥水混合快，耐冲击；
生物降解浓度差推动力小，水质差，且污泥易膨胀；
工作点位于微生物增殖曲线一个点上。通过调控F/M可控制出水水质。



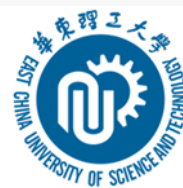
延时曝气
 $HRT > 24\text{ h}$;
 $Q_{\text{设}} < 1000\text{ m}^3/\text{d}$ 。

其它好氧活性污泥工艺流程与原理

高负荷活性污泥过程：又称为短时曝气活性污泥过程或不完全处理活性污泥过程。

该工艺在系统和曝气池的构造方面与传统推流式活性污泥系统相同，不同之处在于 **$BOD-SS$ 负荷高，曝气时间短，处理效果略差，一般 BOD_5 的去除率不超过70% ~ 75%**，故称为不完全处理活性污泥过程。高负荷活性污泥过程适用于对处理水水质要求不高的情况。

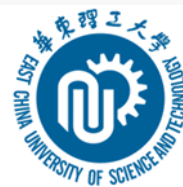
7.3 活性污泥法单元技术原理与设计



延时曝气活性污泥过程：又称完全氧化活性污泥过程，一般都采用流态为完全混合式的曝气池，与传统完全混合式活性污泥过程的不同之处在于**延时曝气活性污泥过程的 BOD - SS 负荷非常低，曝气反应时间长，一般多在 $24h$ 以上，污泥在池内长期处于内源呼吸期，剩余污泥量少且稳定，不需进行厌氧消化处理。**因此该工艺为废（污）水、污泥综合处理系统。对原水水质、水量有较强的适应性，无需设初次沉淀池。

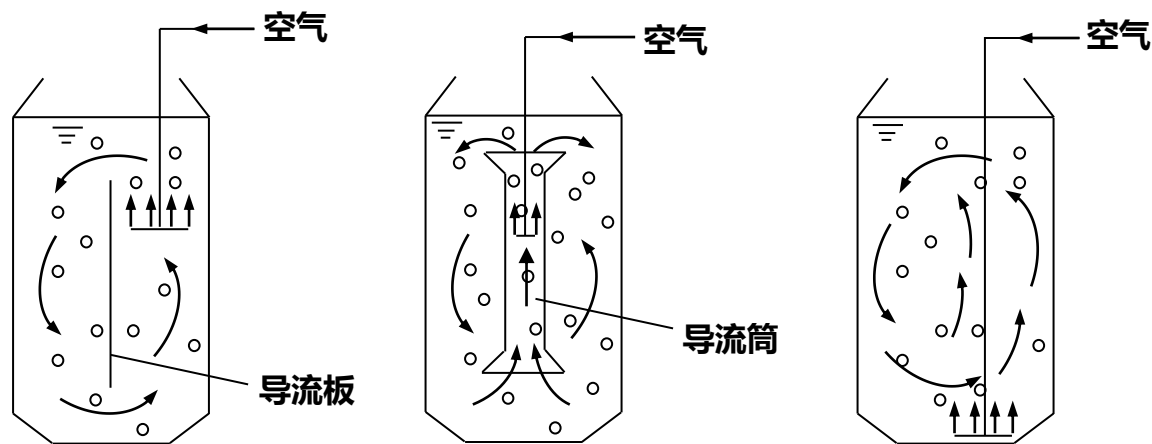
缺点：曝气时间长、池容大、基建和运行费高等。适于处理对处理水质要求高且不宜采用污泥处理技术的小城镇废（污）水和工业废水，**流量不宜超过 $1000m^3/d$** 。理论上讲，延时曝气活性污泥系统是不产生污泥的，但**实际上仍有剩余污泥产生。**

7.3 活性污泥法单元技术原理与设计

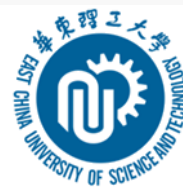


深水曝气活性污泥过程：深水曝气池中混合液的深度一般都在7 m以上，该工艺主要**利用高压提高混合液的饱和溶解氧浓度，从而增加氧的传递速率，增加了溶解氧对微生物的好氧降解作用。**

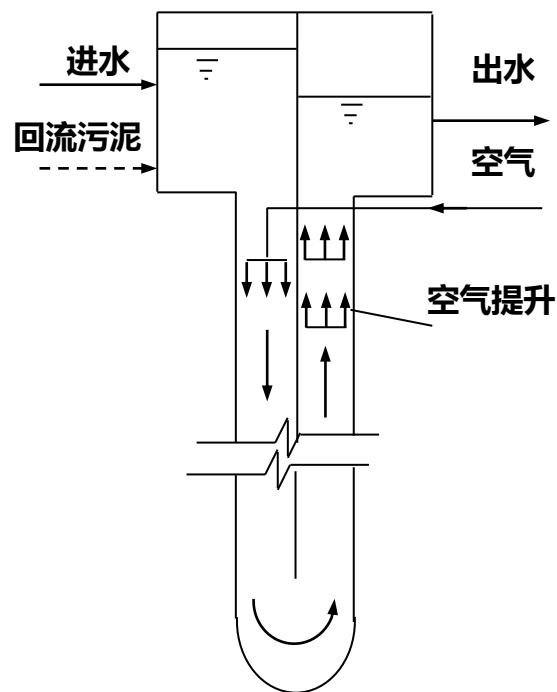
由于曝气池深度增大，在同样容积的前提下，减小了占地面积。深水曝气池有中层曝气和底层曝气两种类型。



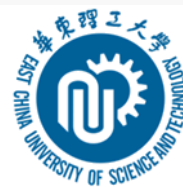
7.3 活性污泥法单元技术原理与设计



深井曝气活性污泥过程：又称为**超深水曝气活性污泥过程**。曝气井直径介于 $1 \sim 6\text{ m}$ ，深度可达 $70 \sim 150\text{ m}$ 。深井曝气池充氧能力可达常规法的10倍，动力效率高，占地少，设备简单。由于大部分曝气池容积深埋于地下，故处理**功能不受气候条件影响，可省去初次沉淀池等，可处理高浓度有机废水**；但其深井结构对**地质条件**要求较高，施工难度较大，而且过程控制中维护困难，故在实际工程中**应用较少**。

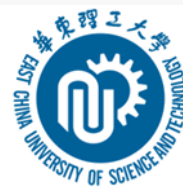


7.3 活性污泥法单元技术原理与设计



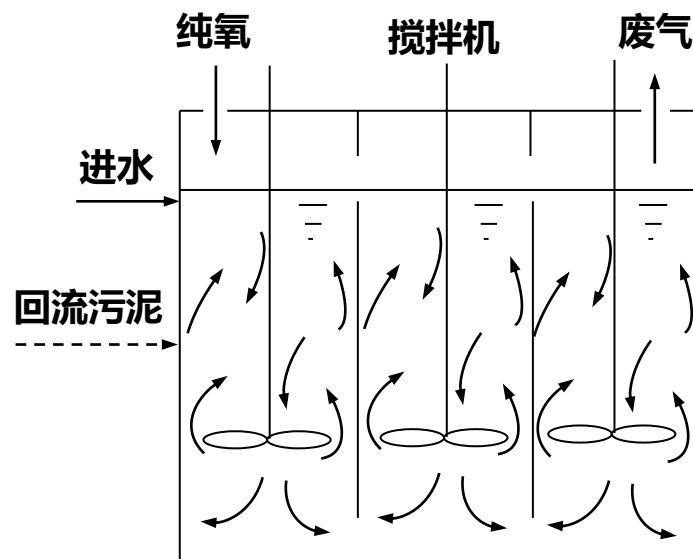
浅层曝气活性污泥过程：又称**殷卡曝气池**。该工艺是根据“**气泡在形成与破碎的一瞬间，氧转移率最高，与其在液体中的移动高度无关**”的理论设计的。曝气装置多为穿孔管，设于曝气池一侧，**距水面0.6~0.8 m**。为形成环流，在池中心设导流板浅层曝气池可使用低压鼓风机，节省电耗，充氧能力达 $1.8 \sim 2.6 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$ 。在实际工程中，由于**难以控制**“气泡在形成与破碎瞬间的充氧”过程，而且浅层曝气混合能力较弱，故**应用较少**。

7.3 活性污泥法单元技术原理与设计



纯氧曝气活性污泥过程：

多为密封结构，以防氧气外溢和可燃性气体进入，池内分为若干小室，串连运行，各室流态为完全混合，整体推流。由于**纯氧中氧气分压比空气中氧分压高4.4 ~ 4.7倍**，在混合液中氧的扩散能力强，充氧效率高。



厌氧生物处理工艺发展概况

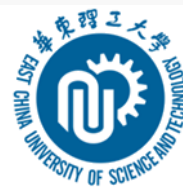
- 1860年法国工程师Mouras采用厌氧法处理废水中沉淀的固体物质；
- 1896年英国出现了第一座用于处理生活污水的厌氧消化池，所产生的沼气用于照明；
- 1904年德国的Imhoff将其发展成为Imhoff双层沉淀池（即腐化池），这一工艺至今仍然在有效地利用；
- 至1914年，美国有14座城市建立了厌氧消化池；
- 从1910年至1950年，高效的、可加温和搅拌的消化池得到了发展，改善了厌氧污泥与废水的混合，提高了处理效率。

第一代厌氧反应器特点：反应器中的微生物（即厌氧污泥）与废水或废料是完全混合的，污泥在反应器里的停留时间（SRT）与废水的停留时间（HRT）是相同的。此时的厌氧处理技术主要用于污泥与粪肥的消化，它尚不能经济地用于工业废水的处理。停留时间至少20~30天。

厌氧生物处理工艺发展概况

- Schroepfer在20世纪50年代开发了厌氧接触反应器。这种反应器是在出水沉淀池中增设了污泥回流装置，增大了厌氧反应器中的污泥浓度，处理负荷和效率显著提高。
- 20世纪60年代末，Young和McCarty推出了第一个基于微生物固定化原理的高速厌氧反应器——厌氧滤池。
- 1974年，荷兰Wageningen农业大学的Lettinga教授领导的研究小组研究和开发了UASB反应器技术，其最大特点是反应器内颗粒污泥保证了高浓度的厌氧污泥，标志着厌氧反应器的研究进入了新的时代。
- 20世纪90年代初出现的厌氧膨胀颗粒污泥床（EGSB）、内循环反应器（IC）、厌氧升流式流化床（UFB）、厌氧膜生物系统（AMBS）、分级“多相”厌氧反应器（SMPA）等。

7.3 活性污泥法单元技术原理与设计



厌氧反应器发展经历了三个时代：

第一代反应器：

以厌氧消化池为代表属于**低负荷系统**。特征：**污泥的停留时间（SRT）与废水的停留时间（HRT）相同**。

第二代反应器：

厌氧接触工艺50年代；厌氧滤池(AF)60年代；1974年Lettinga开发了UASB。

可以**将固体停留时间与水力停留时间分离**，能够保持大量的活性污泥和足够长的污泥龄，属于**高负荷系统**。

第三代反应器：

(EGSB、IC、UBF、ASBR等) **在将固体停留时间和水力停留时间相分离的前提下、使固液两相充分接触**，从而既能保持大量污泥又能使废水和活性污泥之间充分混合、接触，以达到真正高效的目的。

厌氧水解酸化处理工艺

工艺/原理/作用

厌氧水解酸化处理工艺：指溶解性有机底物被**厌氧菌**、**兼性菌**转化为低分子有机酸的生化反应。

原理：根据微生物的分段厌氧发酵过程理论，分为厌氧水解酸化处理过程和厌氧发酵产甲烷处理过程，**厌氧水解酸化就是将厌氧发酵过程控制在水解酸化阶段**，后者是全程厌氧发酵过程。

作用：厌氧水解酸化一般用作有机污染物的预处理工艺，通过厌氧水解酸化可使废水中一些难降解的大分子有机物转化为易于生物降解的小分子物质如低分子有机酸、醇等，从而使废（污）水的可生物降解性得到提高，以利于后续的好氧生物处理。

厌氧水解酸化处理工艺

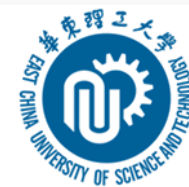
工艺影响因素

影响水解酸化过程最主要因素：有机底物污泥负荷、污泥负荷与出水的pH值、发酵酸化类型直接相关。

- $N_s < 1.8 \text{ kgCOD/ (kgMLVSS} \cdot \text{d)}$ 时，出水 $\text{pH} > 5.0$ ，产物主要为丁酸。
- $1.83 \sim 3 \text{ kgCOD/ (kgMLVSS} \cdot \text{d)}$ 时，出水pH在4.0~4.8之间，这时出现混合酸发酵类型向乙醇发酵的动态转变。
- 当污泥负荷大于 $3 \text{ kgCOD/ (kgMLVSS} \cdot \text{d)}$ 时，pH值降到4.0以下，甚至3.5左右。

pH=4.0是所有产酸发酵细菌所能忍受的下限值，故实际工程中，应控制 $\leq 3 \text{ kgCOD/ (kgMLVSS} \cdot \text{d)}$ 。

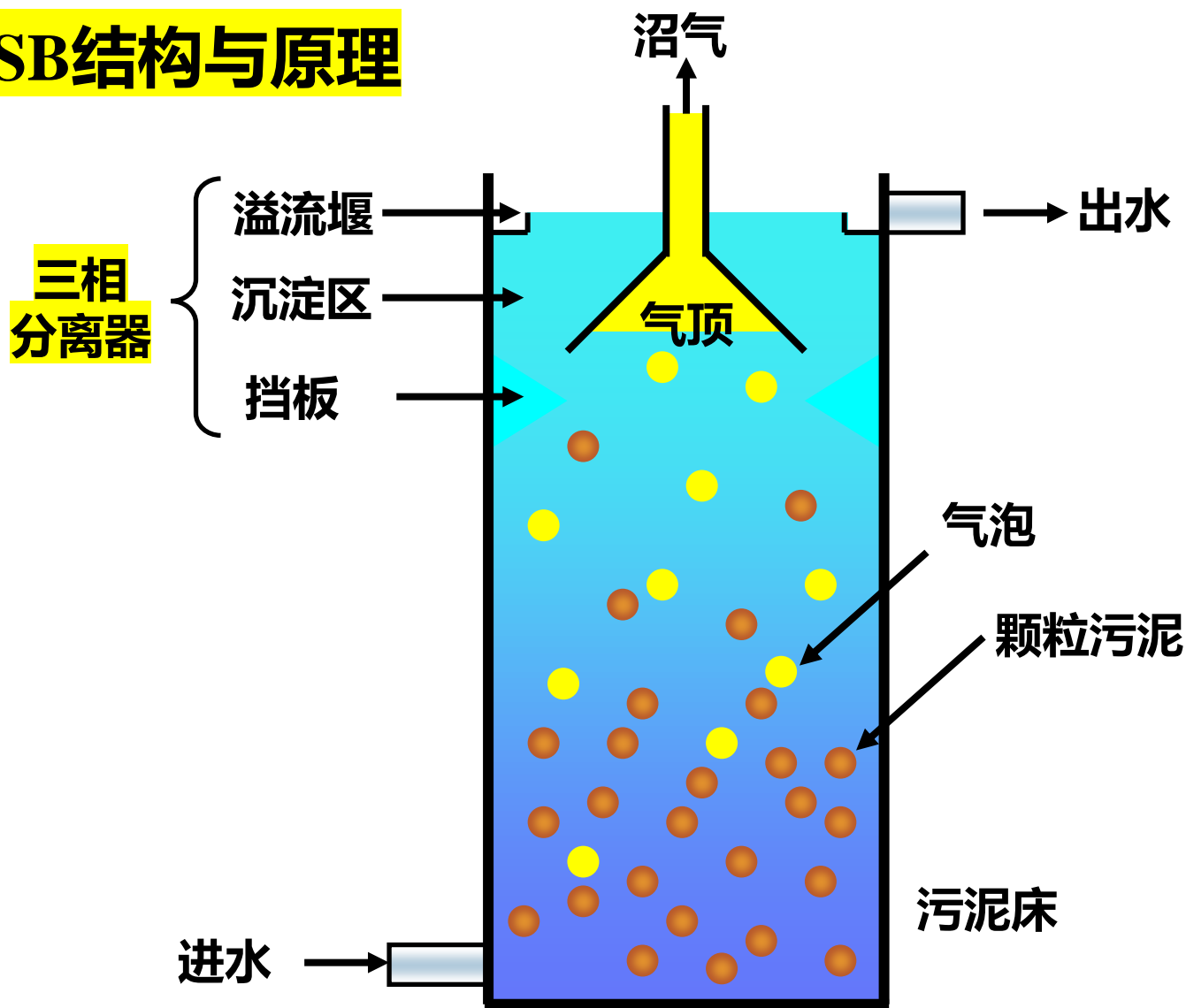
7.3 活性污泥法单元技术原理与设计



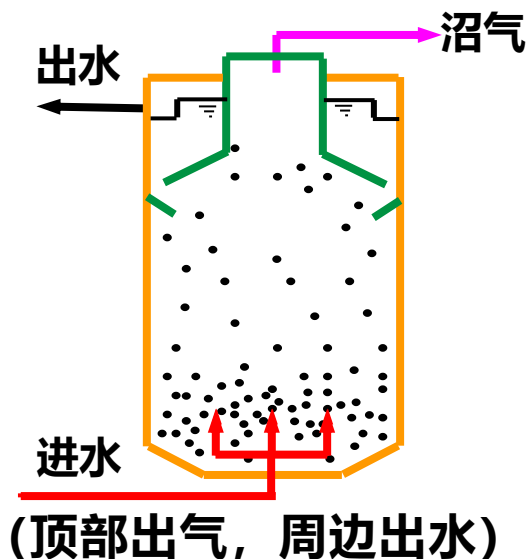
1974年荷兰Wageningen农业大学Lettinga教授开发出了升流式厌氧污泥床反应器（简称UASB）。

7.3 活性污泥法单元技术原理与设计

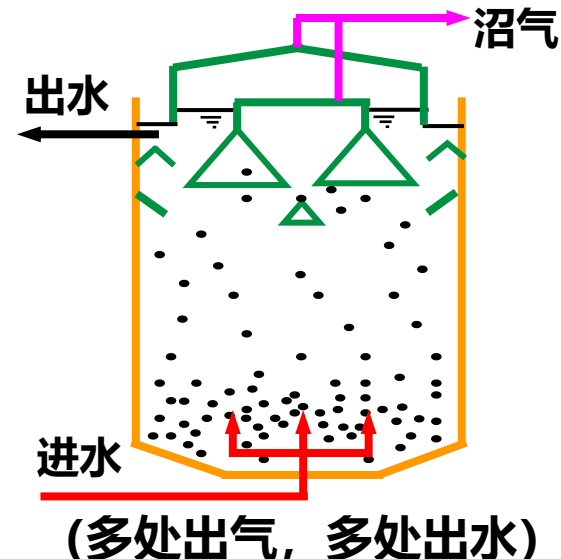
UASB结构与原理



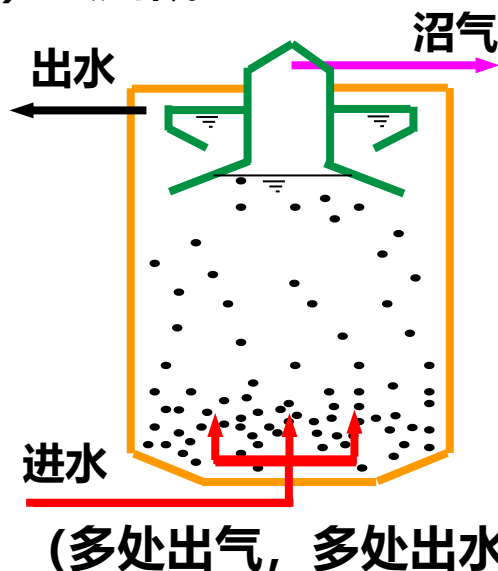
7.3 活性污泥法单元技术原理与设计



三相分离器:
流体进沉淀区前,
分离气体; 阻止
气体进入沉淀区,
固液分离效果好;
沉淀污泥迅速返
回反应器, 以维
持污泥浓度和污
泥龄。

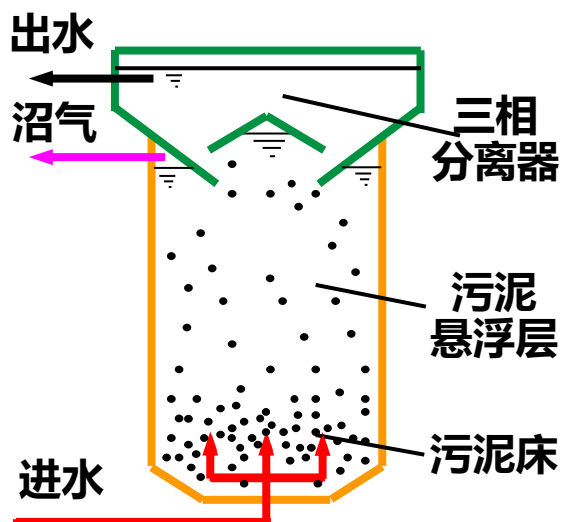


污泥悬浮层:
容积分数70%;
絮体/游离污泥;
MLVSS=5~25 g/L;
MLSS=15~30 g/L;
 $10\sim30\% \times \eta_{\text{COD}}$ 。



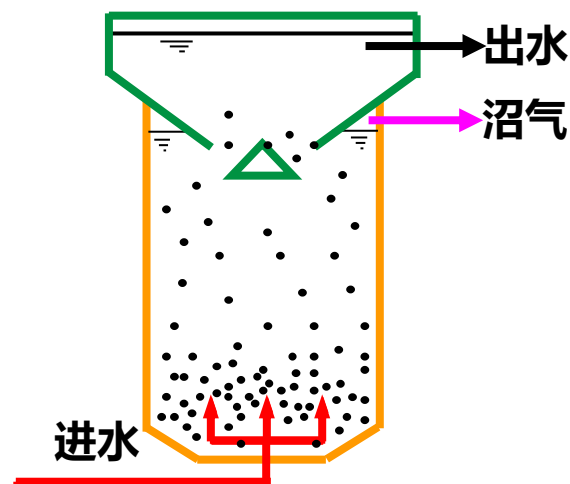
污泥床:
容积分数30%;
絮体/颗粒污泥;
MLVSS=40~80g/L;
MLSS=60~120g/L;
 $70\sim90\% \times \eta_{\text{COD}}$ 。

7.3 活性污泥法单元技术原理与设计



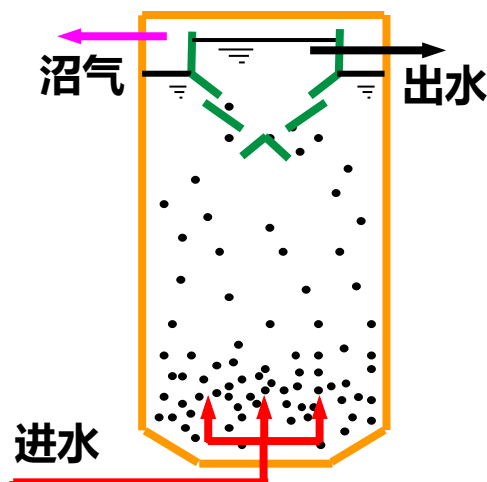
(顶部出水, 周边出气)

生物反应
沉淀气体
分离收集
于一体



(顶部出水, 周边出气)

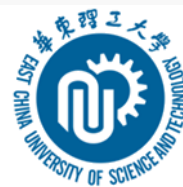
沉淀区:
泥水分离;
调整沉淀区水位
来保证集气室有
效空间高度而防
止集气空间破坏。



(顶部出水, 周边出气)

配水排水系统:
均匀布水、
水力搅拌;
均匀收集沉淀池
液面的澄清水。

7.3 活性污泥法单元技术原理与设计



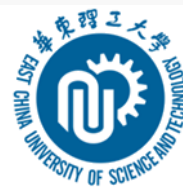
UASB启动控制

污泥接种： UASB新鲜颗粒污泥 2~2.2 m 两周可达负荷
厌氧絮体污泥（消化池污泥） 6~8 kgVSS/m³
好氧或生物膜污泥： 8~10 kgVSS/m³

进水控制： 启动初期 间歇进水或连续小流量进水，前者可采用出水回流与原水混合，然后间歇脉冲进料，一天进料5~8次；后者采用低于设计流量的连续进水，根据污泥驯化情况逐步增加进水流量。

启动期间进水应根据出水pH值进行控制，通常控制在7.5~8.0；通过对回流水加热，将进水温度维持在高于反应器工作温度8~15℃范围。

7.3 活性污泥法单元技术原理与设计



UASB运行控制

颗粒污泥性质：活性生物量占70% ~ 80%，球形或椭球形，灰黑或褐黑色，表面包裹灰白色生物膜。

相关指标：比重1.01 ~ 1.05，粒径0.5 ~ 3 mm（最大可达5 mm），沉降速度5 ~ 10 mm/s，污泥指数SVI值10 ~ 20 ml/gMLSS。VSS/SS值70% ~ 80%，碳、氢、氮含量分别为40% ~ 50%、7%和10%左右。

影响颗粒污泥形成或UASB效能的因素：

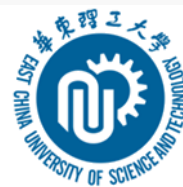
C:N:P=(200-300):5:1； $\text{COD}_{\text{启动}}=4000\sim5000\text{ mg/L}$

SS<2000 mg/L；低浓度:SS/COD=0.5；高浓度：SS/COD<0.5

氨氮<1000 mg/L；碱度=1000~5000 mg/L

$\text{COD}/\text{SO}_4^{2-}>10$ ， $[\text{SO}_4^{2-}]<5000\text{ mg/L}$

7.3 活性污泥法单元技术原理与设计



两相厌氧法的提出

产酸菌 代谢能力强，繁殖快（世代时间最短为几十分钟），适宜pH=5~6，对环境条件适应性强。

产甲烷菌 可利用基质种类少，繁殖慢（世代时间一般十几小时，最长达4~6 d），适宜pH=6.8~7.2，对环境条件适应性差。

└─→ 有机酸↑ pH↓ → “酸化现象” ←─┐

两相厌氧法的特点

- 满足产酸和产甲烷各自最佳环境条件;
- 各自发挥最大代谢能力;
- 产酸相可缓解对产甲烷相进水冲击, 并降低进水负荷;
- 产酸相负荷高, 反应进程快, HRT短, 容积小, 基建费低。

两相厌氧处理过程及反应器 中温消化

酸化相pH5~6; 进水脂肪酸(乙酸计)达5000 mg/L; $\eta_{\text{COD}}=20-25\%$

产甲烷相pH6.8~7.5; 脂肪酸(乙酸计)降至500 mg/L; $\eta_{\text{COD}}=80-90\%$

反应器容积: 按有机底物的容积负荷率或水力停留时间来计算, 一般通过试验或参照同类废水已有的经验确定。

7.3 活性污泥法单元技术原理与设计

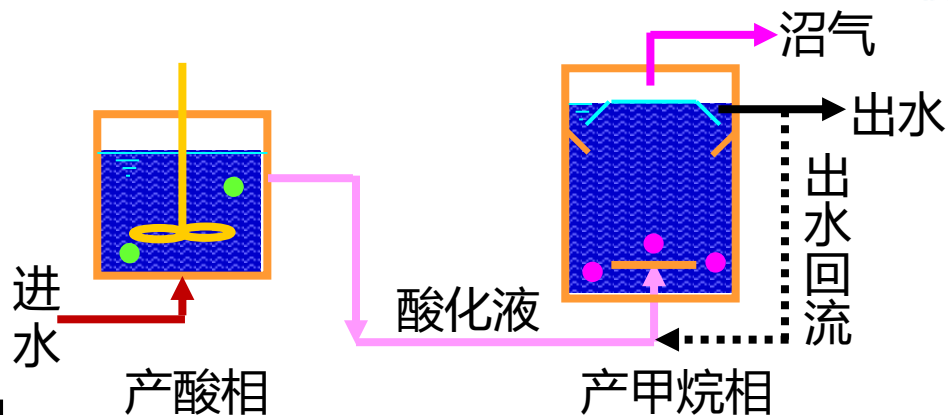
两相厌氧法的应用

产酸相:

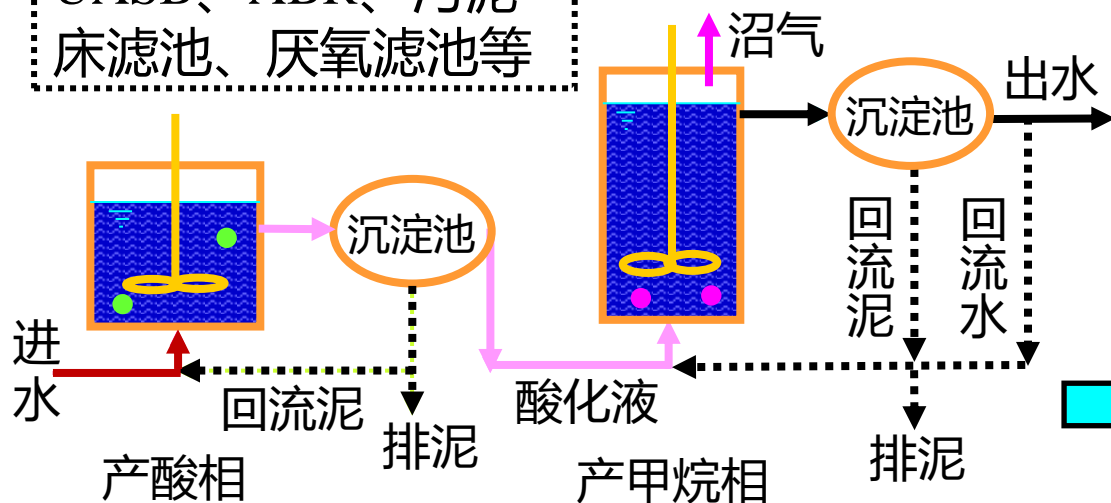
完全混合式厌氧污泥池、UASB、厌氧滤池等;

产甲烷相:

UASB、ABR、污泥床滤池、厌氧滤池等



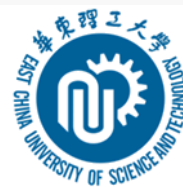
两相厌氧法处理易降解低SS有机废水



两相厌氧法处理难降解高SS有机废水/污泥

产酸相和产甲烷相均采用完全混合式厌氧污泥反应池，流程中产酸相和产甲烷相后均设沉淀池。

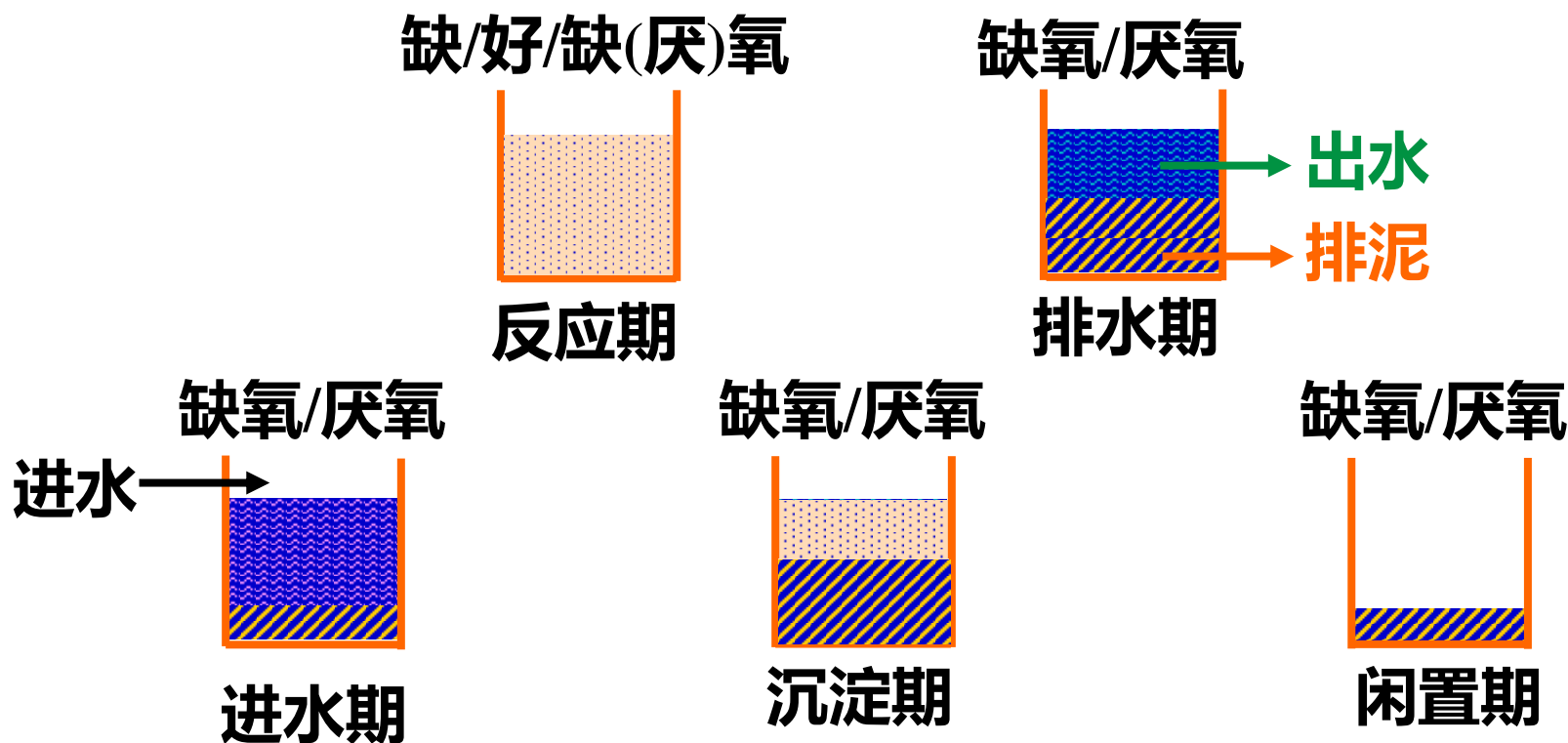
7.4 活性污泥法复合技术原理与设计



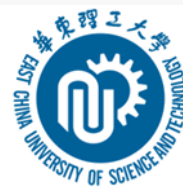
活性污泥法厌/缺/好氧复合工艺

序批式间歇活性污泥法 (Sequencing Batch Reactor, **SBR**)
1914年, Arden和Lecket

SBR运行模式: 五段式运行



7.4 活性污泥法复合技术原理与设计



序批式间歇活性污泥法 (SBR法)

进水期 反应器相当于调节池，可采取操作：

曝气→预曝气且使污泥再生恢复活性；缓慢搅拌→脱氮，释磷。

反应期

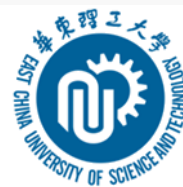
去除BOD，吸磷，硝化/反硝化，进行曝气或搅拌，决定反应时间；反应后期，短暂微量曝气，吹脱泥中气泡或氮，保证沉淀过程。

沉淀期 静止沉淀， $t=1.5\sim 2.0$ h。

排水期 排水和剩余污泥，留种泥。

闲置期 若时间过长，为避免污泥失活，应轻微或间断曝气。

7.4 活性污泥法复合技术原理与设计



流程简单，造价低：

无二沉池，污泥回流，可无调节池和初沉池。

抗冲击能力强：

进水期污水混合充分，缓解负荷波动，后续反应始于混合后平均浓度，**进水稀释使底物浓度降30~50%**。

处理效果好：

空间上完全混合CMR（抗冲击）+ **时间**上理想推流PFR（反应推动力大，无返混）；微生物丰富，交替活跃。

$V_{\text{有效}}$ 和HRT：CMR比SBR大3倍

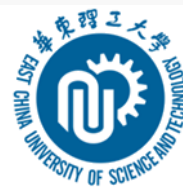
脱N除P效果好: (厌/缺/好氧交替)

- 提高曝气量, 延长好氧HRT与 θ_c , 保证硝化反应和聚磷菌吸磷。
- 进水期/反应后期 (半) 限制曝气或搅拌, 延长缺/厌氧段, 保证反硝化和释磷。

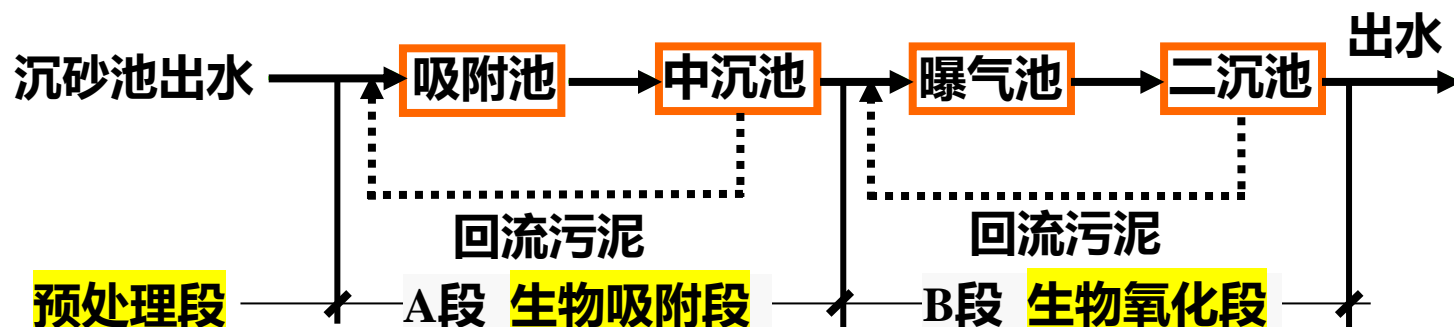
污泥沉降性好:

- 底物浓度梯度大, θ_c 短厌氧/缺氧/好氧并存, 利于菌胶团生长而抑制丝状菌, $SVI \ngtr 100$ 。

7.4 活性污泥法复合技术原理与设计

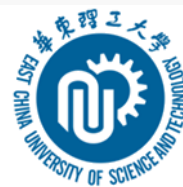


吸附-生物降解工艺 (Adsorption Biodegradation, AB)



- A段负荷高，微生物为增殖快，抗冲击的原核细菌，无原生/后生动物；
- A段污泥量大，可吸附重金属，难降解物质及N/P，提高污水可生化性；
- A段去除有机物主要为絮凝体吸附，生物降解仅占1/3，故耐冲击；
- 两段微生物菌群独立，且B段污水水质/水量稳定，效能稳定；
- B段 θ_c 长，A段去除部分BOD₅，BOD₅/N降低，利于B段硝化；
- 无初沉池，较普通活性污泥法基建投资省15%-20%，能耗省15%。

7.4 活性污泥法复合技术原理与设计

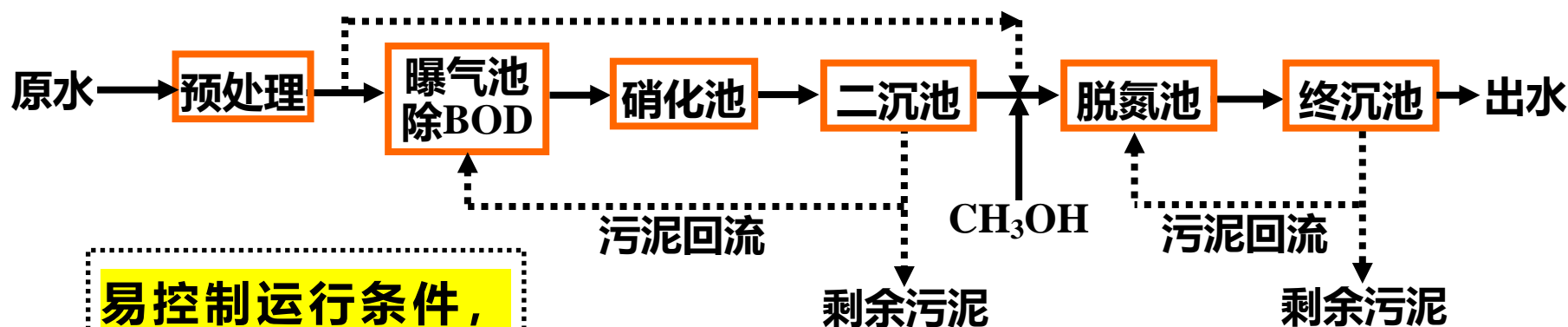


生物脱氮工艺

传统三级活性污泥脱氮工艺——巴茨(Barth)开创

$HRT_{\text{除BOD}}/HRT_{\text{硝化}}/HRT_{\text{脱氮}}=(1\sim2)/(2\sim3)/1$; 一级除BOD曝气池。

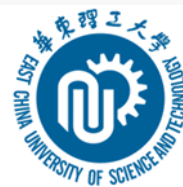
$HRT=2\sim4\text{ h}$, 二级硝化池 $HRT=4\sim6\text{ h}$, 三级缺氧脱氮池 $HRT=2\sim4\text{ h}$ 。



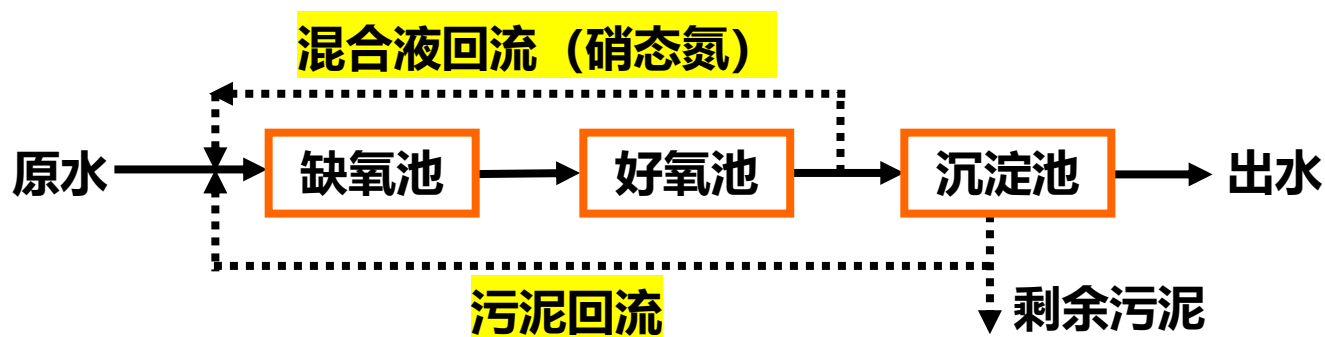
易控制运行条件，
BOD去除和脱氮效
果好；但存在流程
长，构筑物多，基
建费用高等缺点。

一级 $N_{Ts} \leq 0.18 \text{ kg BOD}_5 / (\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$;
二级 $N_{Ts}(\text{TKN}) \leq 0.05 \text{ kg TKN} / (\text{kg MLSS} \cdot \text{d})$;
三级 $S\text{-BOD}_5/\text{NO}_x\text{-N} > 4$, 否则需补充外碳源。

7.4 活性污泥法复合技术原理与设计

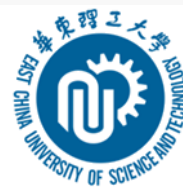


缺氧 - 好氧脱氮工艺 (Anoxic Oxic, AO)



工艺过程：废水首先进入缺氧池，反硝化菌以废水中的有机底物为碳源，以回流混合液中的硝酸盐氮为电子受体，进行反硝化脱氮反应，不需外加碳源；缺氧池出水进入好氧池中，进行少量的有机底物去除和硝化反应。

7.4 活性污泥法复合技术原理与设计



缺氧 - 好氧脱氮工艺 (Anoxic Oxic, AO)

优点:

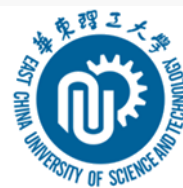
(1) 在缺氧 - 好氧系统中, 反硝化产生的碱度可补偿硝化反应消耗碱度的一半左右。因此, 对含氮浓度不高的废水, 可不必另行投加碱度以调节pH值。

(2) 反硝化不必投加有机物。

(3) 缺氧 - 好氧系统AO只有一个污泥回流系统, 因而使好氧异养菌、反硝化菌和硝化菌都处于缺氧 - 好氧交替的环境中, 这样构成的一种混合菌群系统, 可使不同菌属在不同的条件下充分发挥它们的优势。

缺点: 脱氮效率取决于混合液回流比, 如果要求高的脱氮效率, 混合液回流量就要求很大。

7.4 活性污泥法复合技术原理与设计

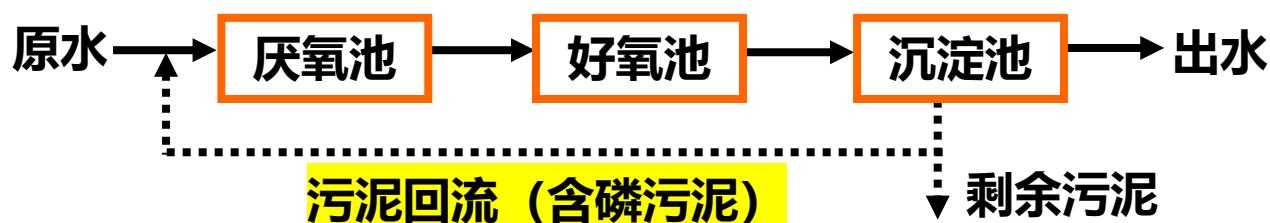


生物除磷工艺

厌氧-好氧生物除磷组合工艺

(Anaerobic Oxic, AnO)

—1975年美国Spector开发



采用AnO组合工艺的前提是进水要求有较高浓度的易降解有机基质

剩余污泥 $\Delta X = Y(S_0 - S_e)Q - K_d V X \leftarrow Y=0.6, K_d=0.05, S_e=0.15S_0, X=2000, \text{HRT}=8\text{h}$

$Q(C-1)/\Delta X = (C-1)/(0.51S_0 - 33.3)$ 若进水磷浓度C, 出水磷<1.0mg/L

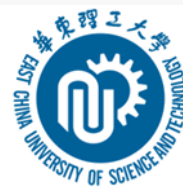
$(C-1)/(0.51S_0 - 33.3) \leq 8\%$ 聚磷菌对磷积累限值为7%-8%, 即

$S_0 \geq (C-1)/0.0408 + 65.29 \rightarrow S_0 \geq 163.3\text{mg/L}$

C=3~8mg/L; **城市污水**
取C=5mg/L

说明 生物除磷要求较高的易降解基质浓度 进水(S-TP:S-BOD₅)>0.06

7.4 活性污泥法复合技术原理与设计



厌氧-好氧 (AnO) 除磷工艺特点

严格厌氧: 厌氧池基本上无硝态氮

($C_{\text{硝态氮}} < 0.2 \text{ mg/L}$) , $\text{DO} < 0.2 \text{ mg/L}$

硝态氮干扰生物除磷: 聚磷菌碳源为VFA(尤其是乙酸盐)

原因 ↓

异养菌的硝酸盐还原 (反硝化) 型厌氧呼吸较发酵获得能量更多, 故反硝化过程优先厌氧发酵作用, 大分子有机物不会转化为VFA;

即使进水存在VFA, 反硝化菌与聚磷菌对碳源VFA的竞争明显占据优势, 故反硝化大量消耗乙酸盐等VFA, 聚磷菌碳源不足。

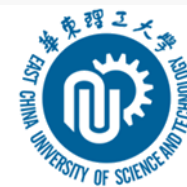
巴顿甫(Bardenpho)脱氮除磷工艺

1973年Barnard提出



好氧池2：吸收磷，进一步硝化，进一步去除BOD₅

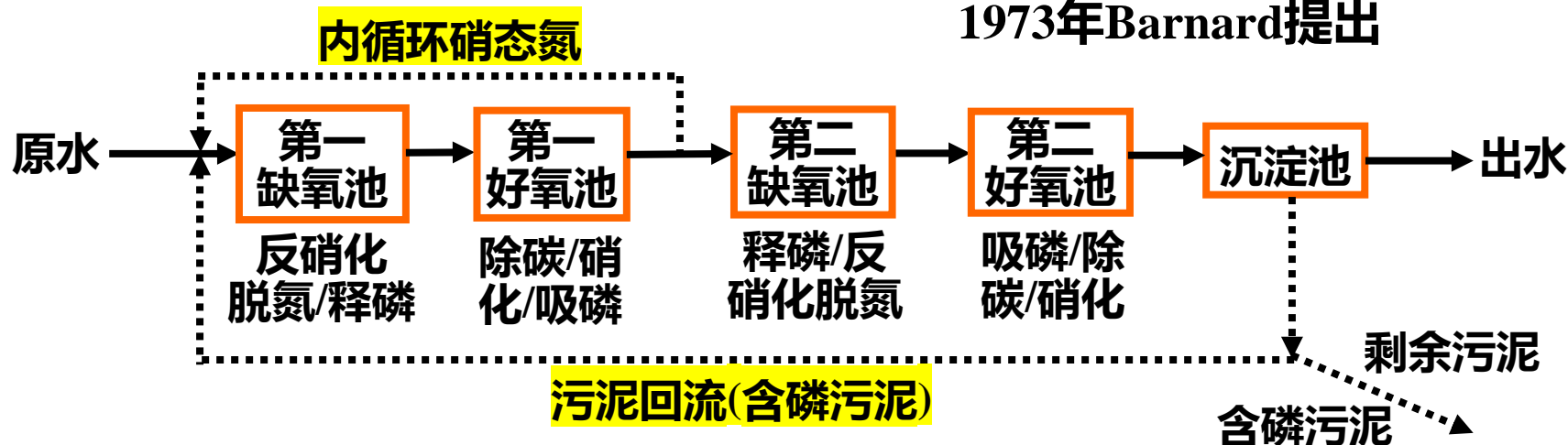
7.4 活性污泥法复合技术原理与设计



生物脱氮除磷工艺

巴顿甫(Bardenpho)脱氮除磷工艺

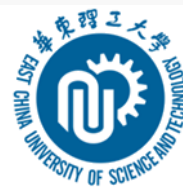
—Barnard Denitrogen Dephosphorus
1973年Barnard提出



优点：高效同步脱氮除磷。脱氮率达90~95%，除磷率达97%。

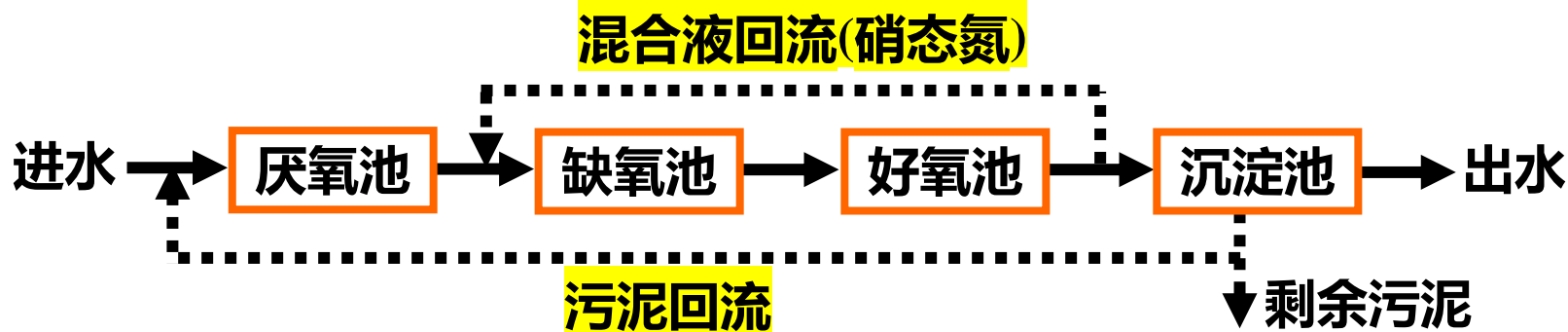
缺点：该工艺不适于进水碳源较低的情况，工艺复杂，反应器单元多，运行繁琐，成本高。

7.4 活性污泥法复合技术原理与设计



生物脱氮除磷工艺

厌氧-缺氧-好氧脱氮除磷工艺 (Anaerobic Anoxic Oxidic, AnAO)



厌氧池

专性好氧聚磷菌厌氧时维持生命

- 兼性厌氧发酵菌将大分子有机物厌氧转化为VFA;
- 聚磷菌将体内聚磷酸盐分解并释放能量。→ VFA → PHB, 贮存

缺氧池 反硝化菌利用内回流中硝酸盐和污水中有机底物反硝化。

好氧池

- 聚磷菌分解体内PHB放出能量维持生长, 并过量摄取溶解态磷。
- 有机物被聚磷菌和反硝化菌利用后, 浓度很低, 利于自养硝化菌。

AnAO工艺特点

- (1) 三种不同的环境条件和不同种类微生物菌群的有机配合，能同时具有去除有机物、脱氮、除磷的功能；
- (2) 该工艺流程简单，总水力停留时间也较小；
- (3) 在厌氧 - 缺氧 - 好氧交替运行下，丝状菌不会大量繁殖，SVI一般小于100，不会发生污泥膨胀；
- (4) 污泥中磷的含量较高，一般在2.5%以上；
- (5) 厌氧-缺氧池只需缓慢搅拌，以不增加溶解氧为度；
- (6) 沉淀池要防止发生厌氧、缺氧状态，以避免聚磷菌释放磷而降低出水水质和反硝化产生氮气而干扰沉淀；
- (7) 脱氮效果受混合液回流比大小的影响，除磷效果受回流污泥中挟带DO和硝酸盐氮的影响，因而脱氮除磷效率受到一定限制。

AnAO工艺影响因素

(1) S-BOD₅浓度

厌氧段(S-TP)/(S-BOD₅) < 0.06

缺氧段COD/TKN>8时, $\eta_{\text{TN}} \rightarrow 80\%$; BOD₅/NO_x-N>4

(2) θ_c

硝化菌世代时间25 d左右; 由排泥除磷, $\theta_c=5\sim 8$ d

权衡 $\theta_c=15\sim 20$ d

(3) DO

厌氧DO<0.2 mg/L; 好氧DO=1.5~2.0 mg/L

缺氧DO<0.5 mg/L。

(4) 水温

硝化菌 ($30\sim35\text{ }^{\circ}\text{C}$) : $<10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 硝化和COD好氧降解受抑制

反硝化菌 ($20\sim38\text{ }^{\circ}\text{C}$) : $<15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 反硝化受抑;

$<3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 反硝化菌不生长

聚磷菌: 高温/中温/低温菌,

$<10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温兼性菌活跃, 除磷无影响

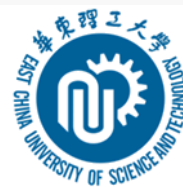
(5) 碱度

硝化和反硝化分别消耗和产生碱度, 影响pH值;

硝化 $\text{pH}=7.8\sim8.4$, $\text{pH} < 6$ 或 $\text{pH} > 9$ 时, 硝化停止;

反硝化 $\text{pH}=6.5\sim7.5$ 。

7.4 活性污泥法复合技术原理与设计



AnAO工艺工况参数

(1) 硝化区和反硝化区容积比：一般为 $(7\sim 8) : (2\sim 3)$ ，但在水质较差或脱氮要求较高时，该容积比最小为1:1。

(2) 有机底物污泥负荷 N_{Ts} ：好氧 $N_{Ts} < 0.18 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ ，否则异养菌数量超过硝化菌而抑制硝化过程；厌氧 $N_{Ts} > 0.10 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ ，否则聚磷菌底物不足，除磷效果下降。一般废水中COD/TKN值大于8时，氮的总去除率可达80%，工程设计中也可按照 $\text{BOD}_5/\text{NO}_x\text{-N} > 4$ 。

(3) 氮的污泥负荷：氮的污泥负荷过高会对硝化菌产生抑制，一般小于 $0.05 \text{ kgTKN}/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ ，相应反应池内污泥浓度MLSS取 $3000 \sim 4000 \text{ mg/L}$ 。

AnAO工艺工况参数

(4) 污泥回流比 R 和混合液回流比 R_N : $R=0.25-1.0$, $R_N \geq 1 \sim 6$
如果 R 太高, 污泥将 DO 和硝态氮带入厌氧池太多, 影响其厌氧状态且反硝化产生, 会抑制厌氧释磷过程; 如果 R 太低, 则维持不了正常的反应器内污泥浓度, 影响生化反应速率和处理效率。 R_N 可以提高反硝化效果, 但 R_N 过大, 则大量曝气池的 DO 将被带入反硝化区, 反而破坏了反硝化条件, 且动力费用大。

(5) 水力停留时间HRT: $HRT_{\text{总}}=6-8\text{h}$;

$HRT_{\text{厌氧}}:HRT_{\text{缺氧}}:HRT_{\text{好氧}}=1:1:(3-4)$

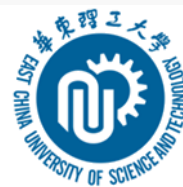
AnAO工艺的改进

AnAO工艺存在的问题

AnAO组合工艺难以同时取得良好的脱氮除磷效果。
当脱氮效果好时，除磷效果则差，反之亦然。其原因是回流污泥携带溶解氧和硝酸盐氮对厌氧释磷仍存在干扰。

针对此一问题，可以考虑作两种改进：其一是厌氧池和缺氧池互换位置，成为缺氧 - 厌氧 - 好氧AAnO组合工艺；其二是在AnAO组合工艺前端设置厌/缺氧选择器，成为改良AnAO组合工艺。

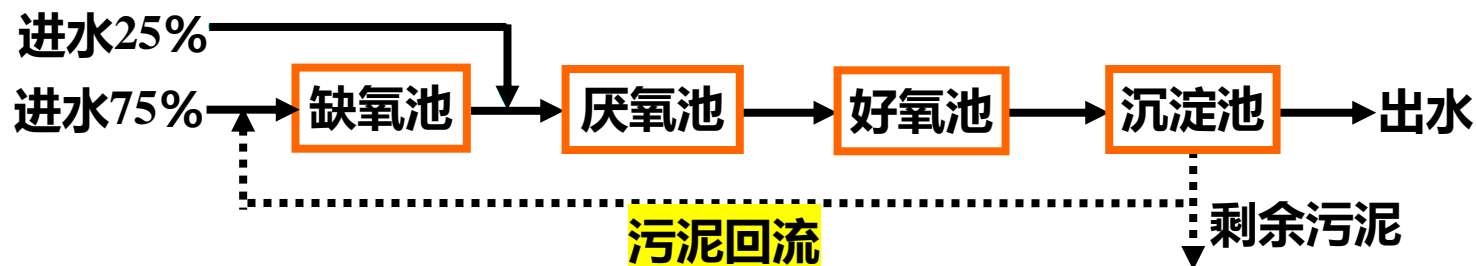
7.4 活性污泥法复合技术原理与设计



AnAO工艺的改进

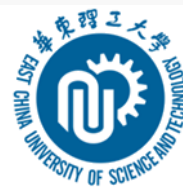
AAnO工艺

碳源优先满足反硝化，增大污泥回流可省去内回流。



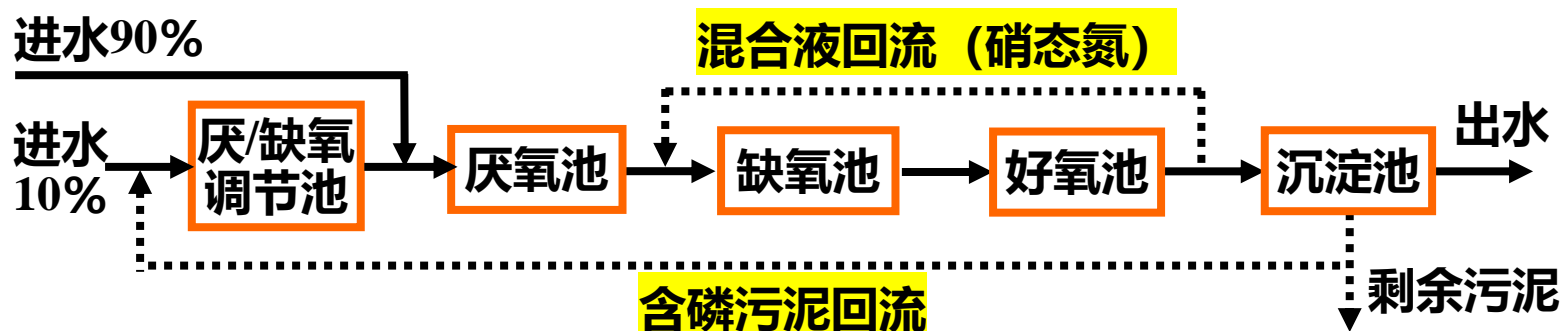
废水分点进水且将缺氧池与厌氧池位置调整，这样不仅避免了废水中碳源少时，因碳源首先满足厌氧释磷过程而使反硝化碳源不足，使反硝化受限的现象，还可达到简化流程的目的。污泥回流至缺氧池，可将回流污泥内的硝态氮反硝化去除，消除其对厌氧释磷的干扰；厌氧池与好氧池紧密相连，使得聚磷菌厌氧释磷后马上进入好氧吸磷过程，提高除磷效能；废水分两股分别进入缺氧池和厌氧池，分别满足了厌氧释磷和缺氧反硝化的碳源需求；通过增加污泥回流比达到可以省去混合液回流的目的，使得工艺简化、能耗降低。

7.4 活性污泥法复合技术原理与设计



AnAO工艺的改进

改良AnAO工艺



改良AnAO组合工艺在厌氧池前设置了厌氧/缺氧调节池，来自二沉池的回流污泥和10%左右的原水进入该池，HRT为20~30 min，微生物利用10%进水中的有机底物去除回流污泥中的硝态氮，消除硝态氮对后续厌氧池释磷的干扰。该工艺处理效果良好。

1. 活性污泥处理过程的基本类型有哪些？
2. MLSS和MLVSS在表达污泥浓度时有何区别？
3. 为什么活性污泥沉降性能是污泥性能的重要指标？
4. SV和SVI的含义是什么？在活性污泥运行中的作用是什么？
5. 如何评价活性污泥的活性？
6. 分析污泥膨胀和污泥解体的原因有哪些？
7. 为什么活性污泥具有很强的初期吸附作用？如何利用初期吸附作用？
8. 影响活性污泥净化过程的因素有哪些？
9. 比较完全混合活性污泥法与传统的推流式活性污泥法的特点及优缺点。
10. 针对传统的推流式活性污泥法存在需氧和供氧不匹配的问题，有哪些改进工艺？其原理是什么？

11. 吸附-再生活性污泥法的原理及特点是什么？
12. 第一、第二和第三代厌氧反应器的典型代表有哪些？其有何特点？
13. 简述厌氧水解酸化工艺的原理、技术特点及在有机废水处理中的作用。影响水解酸化过程最重要的因素是什么？
14. 简述UASB工艺原理及特点。UASB分为几个区，每个区的作用是什么？颗粒污泥与絮状污泥相比有何优越性？
15. 简述两相厌氧处理工艺的原理与技术特点。
16. 简述序批式间歇活性污泥法的运行模式、各段的作用及技术特点。
17. 简述吸附-生物降解工艺（AB法）特点，其与吸附-再生活性污泥工艺有何区别？
18. 简述传统的三级生物脱氮工艺的基本原理及技术特点。
19. 掌握缺氧-好氧生物脱氮工艺（AO）过程、技术特点及设计运行参数。其脱氮效率与回流比的关系如何？

- 20.简述厌氧-好氧生物除磷工艺 (AnO) 的基本原理。该工艺为何要求进水有较高含量的易降解有机基质? (S-TP:S-BOD5) \geq ?
- 21.了解巴顿甫 (Bardenpho) 脱氮除磷工艺的原理、各池功能及主要工艺设计参数。
- 22.掌握厌氧-缺氧-好氧生物脱氮除磷工艺 (AnAO) 过程、各池的功能、技术特点、影响因素及主要工艺设计参数。
- 23.AnAO工艺存在的主要问题是什么? 针对此问题有哪些改进工艺, 其原理是什么?

第7章 活性污泥法原理与技术

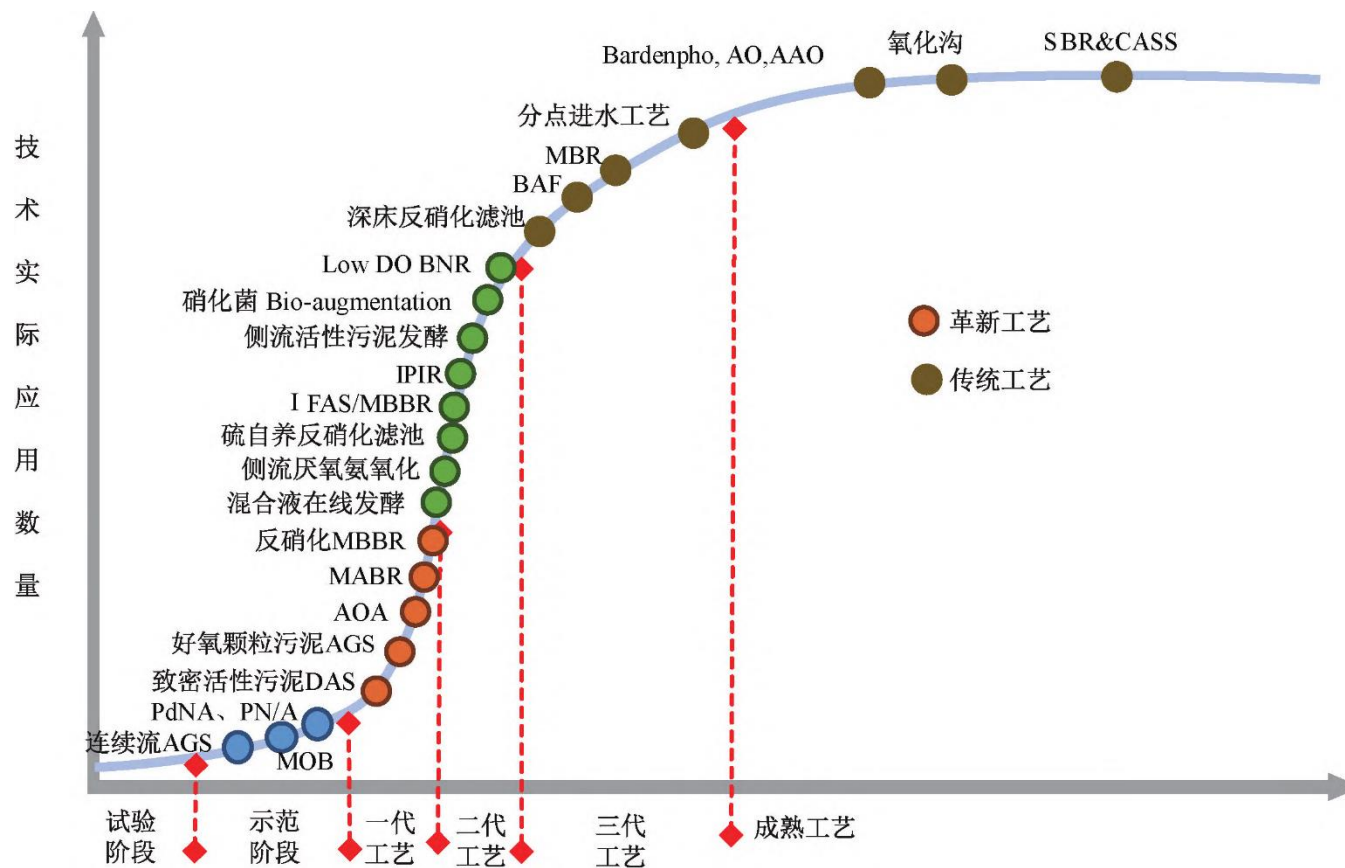
7.1 活性污泥净化过程基本原理

7.2 活性污泥系统动力学

7.3 活性污泥法单元技术原理与设计

7.4 活性污泥法复合技术原理与设计

展 望



污水生化处理技术发展成熟度及代际划分

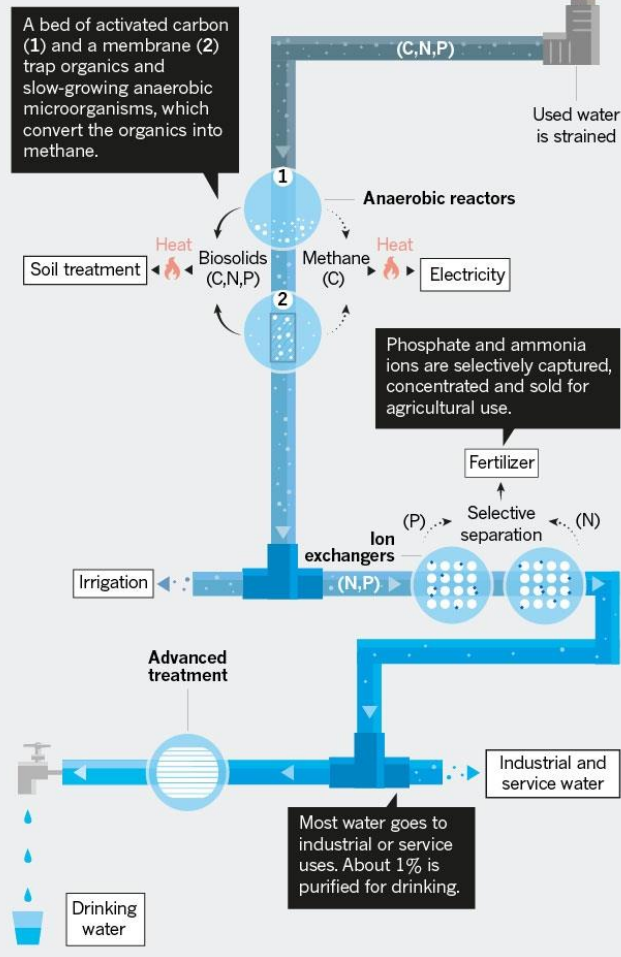
引自：刘智晓，吴凡松. 污水生化处理工艺发展阶段化技术特征及未来趋势 [J]. 给水排水, 2024, 50 (4) : 12-22.

面向污水资源
极尽利用的污水精
炼技术：主要包括
筛分、转化和利用3
个环节。

其核心理念是
将污水视为资源，
改变以污染物分解
和去除微基础的现
有处理技术原理，
通过污水中有价值
物质的精细化筛分
和定向增值转化，
实现污水中水、有
机质和无机盐等资
源的安全、高效和
极尽利用。

WASTEWATER WORKS

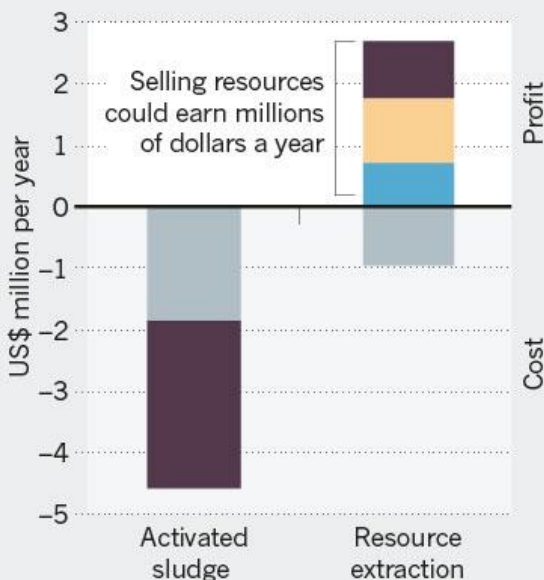
Extracting carbon, nitrogen and phosphorus compounds from used water using a series of reactors would transform treatment plants into profitable sources of energy, fertilizer and clean water.



POLLUTANTS TO PROFITS

Capturing energy, nitrogen, phosphorus and water can turn wastewater treatment from a major cost into a source of profit.

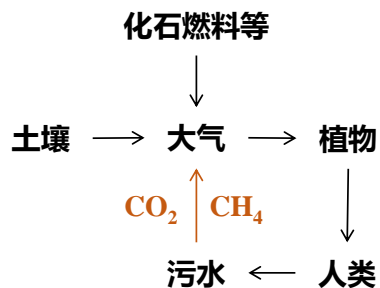
■ Electricity ■ Fertilizer ■ Potable water
■ Chemical consumption or biosolid disposal



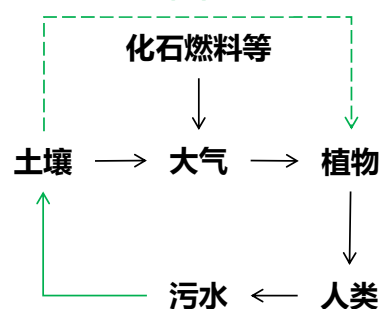
Estimates for a plant processing 100,000 m³ of wastewater per day.

Li W W, Yu H Q, Rittmann B E. Chemistry: reuse water pollutants[J]. *Nature*, 2015, 528(7580): 29-31.

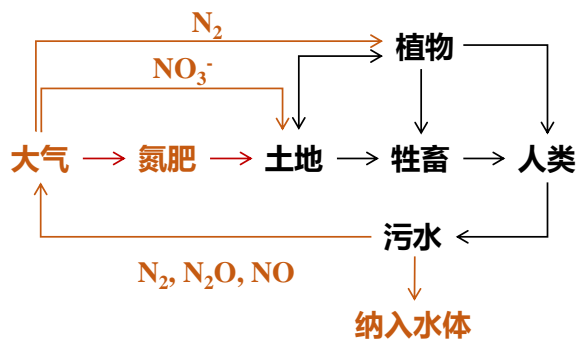
(a) 碳循环



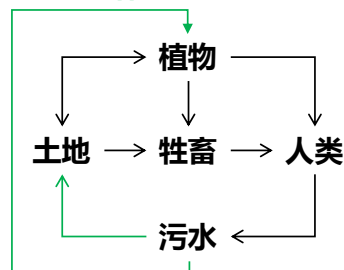
促进植物生长



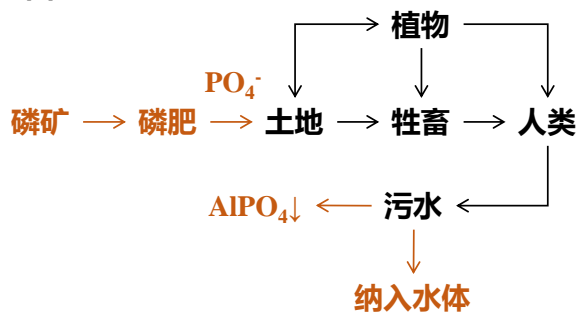
(b) 氮循环



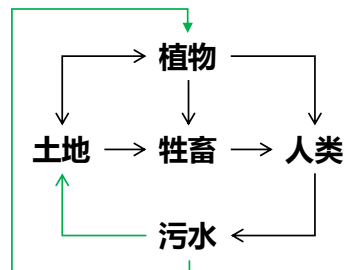
水培



(c) 磷循环



水培

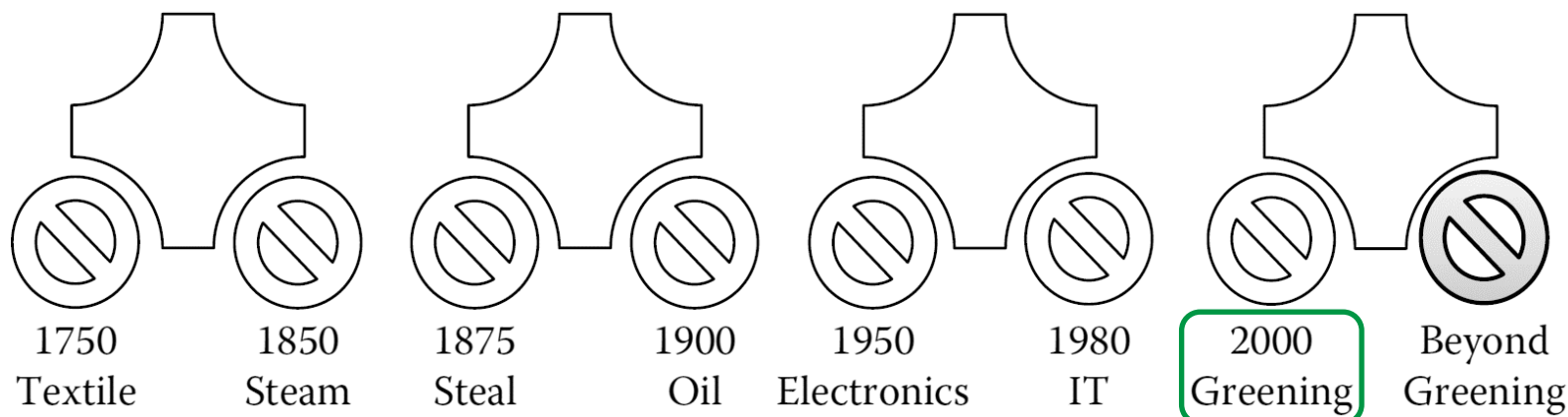


修复生物地球化学循环



荷兰AMS研究所全物化的可持续废水处理创新解决方案（WRF2.0）

引自：未来新水务公众号https://mp.weixin.qq.com/s/rKI_xiATQqnVgMxEvW9RzA



引自：Habash R. Green Engineering: Innovation, Entrepreneurship and Design[M]. CRC Press, 2017.

绿色工程是在不牺牲经济可行性和效率的前提下，以减少污染，促进可持续性并最大程度降低对人类健康和环境的风险的方式对过程和产品进行设计，商业化和使用。

绿色工程包含这样一个概念，即在流程或产品的设计和开发阶段中尽早实施保护人类健康和环境的决策，可以产生最大的影响和成本效益。

绿色工程流程和产品：

- 全面使用系统分析并整合环境影响评估工具。
- 在保护人类健康和福祉的同时，保护和改善自然生态系统。
- 在所有工程活动中使用生命周期思维。
- 确保所有物质和能源的输入和输出本来就安全和尽可能地好。
- 尽量减少自然资源的消耗。
- 努力防止浪费。

此外，绿色工程：

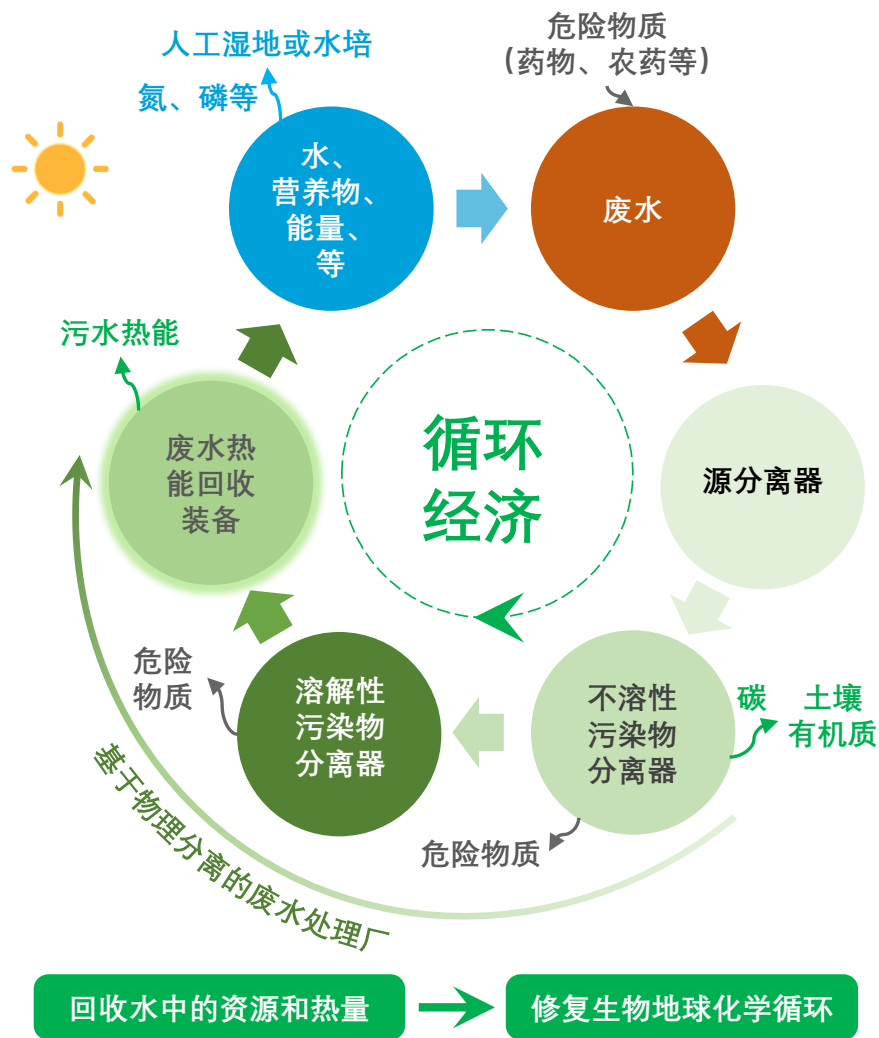
- 开发并应用工程解决方案，同时了解当地的地理，志向和文化。
- 创建超越当前或主导技术的工程解决方案；改进，创新和发明（技术）以实现可持续性。
- 积极参与社区和利益相关者参与工程解决方案的开发。

引自：美国环境保护署官网<https://www.epa.gov/green-engineering/about-green-engineering>

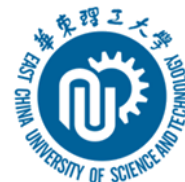
“物理性思维 + 生物性思维”



“物理法 + 减法”



衷心感谢！



水污染控制工程

华东理工大学



tianjinyi2019@ecust.edu.cn