

4.2 化学沉淀

4.3 混凝与絮凝

4.4 氧化还原

5.5 吹脱与汽提

## 第5章 废（污）水物理化学处理过程

5.1 吸附

5.2 离子交换

5.3 膜分离

5.4 萃取

## 第6章 废（污）水生物处理基本原理

6.1 废（污）水生物处理概述

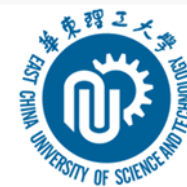
6.2 水体自净

6.3 污染物生物降解（或去除）基本原理

6.4 废（污）水的可生物处理性

6.5 微生物生长与降解特性

# 6.1 废（污）水生物处理概述



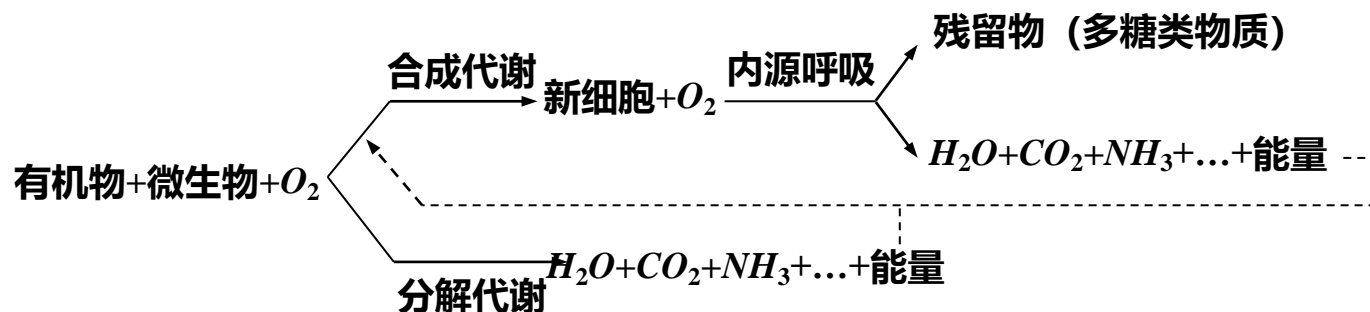
## 生物处理定义：

利用微生物新陈代谢功能，使污水中呈溶解和胶体状态的**有机污染物**（包括**氮、磷**）被降解并转化为无害的物质，使污水得以净化。

## 按微生物对氧的需求分：

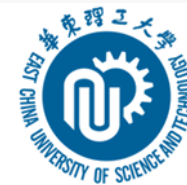
### (1) 好氧生物处理法

在有氧的条件下，借助于**好氧微生物**（主要是**好氧菌**）的作用降解有机污染物。



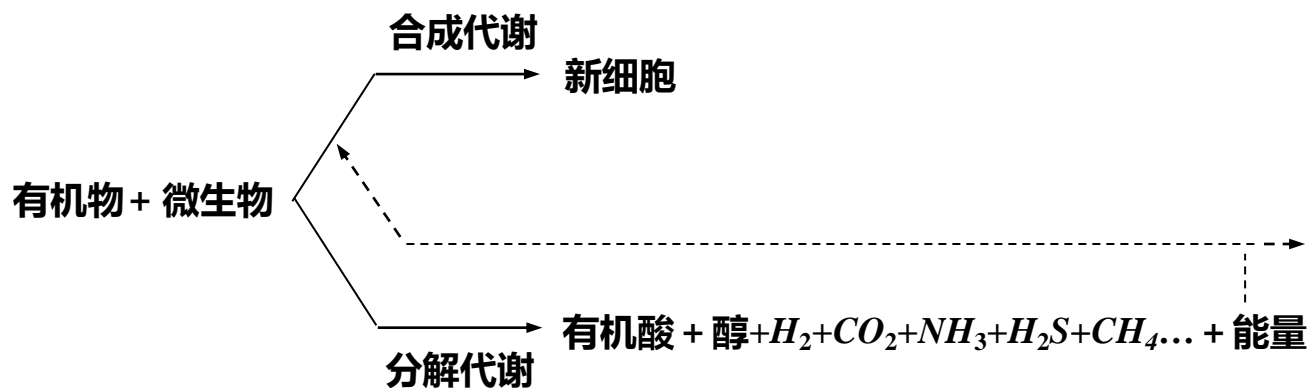
有机物的好氧生化代谢示意图

# 6.1 废（污）水生物处理概述



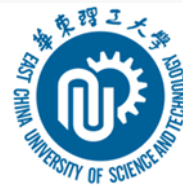
## (2) 厌氧生物处理法

在**无氧**条件下，利用厌氧微生物的生命活动使废水（或污泥）中的有机物转化为较为简单的有机物和无机物的处理过程。



有机物的厌氧生化代谢示意图

# 6.1 废（污）水生物处理概述



## 厌氧、缺氧、好氧的区别

已有 23437 次阅读 2010-10-29 08:52 | 个人分类:环境保护 | 系统分类:观点评述 | 缺氧, 污水处理, 脱氮除磷, 厌氧, 好氧

厌氧、缺氧、好氧的区别在哪里？国内外到底有没有统一的标准？欢迎大家讨论

题目比较大，首先我们来看污水处理中是怎么区分的：

在A2/O工艺中，

厌氧：为释磷菌服务，同时可改变污水的可生化性，一般DO小于0.2mg/L

缺氧：为硝酸盐和亚硝酸盐反硝化脱氮服务， $DO < 0.5\text{mg/L}$

好氧：为硝化和好氧活性污泥去除BOD服务， $DO > 0.5\text{mg/L}$

所谓厌氧是说系统处于一种非氧化态，既不能有氧，也不能有其他的氧化性物质，从理论上将当然是氧气越少越好，最好就是绝对的0含量。但是缺氧这个词是国内在翻译的时候用词不当，其实缺氧的全称应该叫做“缺少氧气的氧化状态”，就是说系统中没有氧气，但是系统还是处于一种氧化的状态，比如硝酸根的存在。

综上可知，厌氧是指严格绝氧，包括氧化性物质；缺氧是指分子氧缺乏，但可以有氧化性物质存在；好氧是指氧气充足，可供好氧微生物利用。

欢迎大家一起讨论。

转载本文请联系原作者获取授权，同时请注明本文来自王俊安科学网博客。

链接地址：<https://wap.sciencenet.cn/blog-96417-378204.html>

## 按微生物在废水中存在形态分：

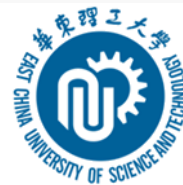
### (1) 活性污泥法

人为地将活性污泥悬浮于水流之中，与废（污）水中的底物不断接触，通过吸附、传质、生物代谢活动等将底物转化和去除。

### (2) 生物膜法

人为地使微生物附着于水中的载体上，与废（污）水中的底物不断接触，通过吸附、传质、生物代谢等活动将污染底物去除和转化。

## 6.1 废（污）水生物处理概述



### 生物处理的优势：

- (1) 微生物在自然水体中广泛存在，种类繁多，繁殖速度快，对大多数有机物转化能力强，能处理各种性质的有机废水。
- (2) 处理设备结构简单，运行管理方便，**能耗低**，处理**成本低廉**。
- (3) 污泥量少，基本无二次污染。

### 生物处理的局限性（需要预处理）：

受微生物生长条件的限制。如：酸碱性和温度、盐分、可降解性、毒性等。

### 废（污）水中污染物分类：

#### (1) 无机无毒物

- 砂粒、矿渣一类的颗粒状物质；
- 酸、碱无机盐类；
- 氮、磷等植物营养物质。

#### (2) 无机有毒物

- 非重金属的无机毒性物质：  
氰化物（CN）、砷（As）
- 重金属毒性物质：  
汞、镉、铅、铬、镍、锌、铜等

### 废（污）水中污染物分类：

#### (3) 有机无毒物

- 这一类物质多属于碳水化合物、蛋白质、脂肪等自然生成的有机物，它们易于生物降解。

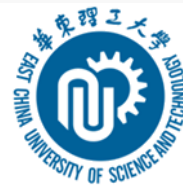
#### (4) 有机有毒物

- 挥发酚、苯胺类、氯代烃、硝基苯类、农药等。

有机有毒物质也属于好氧物质，也可以使用BOD、COD、TOC和TOD等指标来表示。但由于有**毒性**，还**需采**用各种物质的专用指标，如挥发酚、醛、酮以及DDT，有**机氯农药等**。



# 6.1 废（污）水生物处理概述



## 废（污）水水质指标:

### (1) 生化需氧量 (BOD)

在有氧条件下，好氧微生物氧化分解单位体积水中有机物所消耗的游离氧的数量，单位为mg/L。

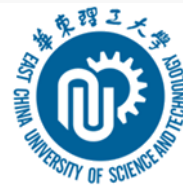
### (2) 化学需氧量 (COD)

**重铬酸钾法**，在酸性条件下能够将有机物氧化为 $H_2O$ 和 $CO_2$ ，此时所测出的耗氧量称为化学需氧量，用 $COD_{Cr}$ 表示。

**高锰酸钾法**，也能够将有机物加以氧化，测出的耗氧量比COD低，称之为耗氧量，用 $COD_{Mn}$ 或OC表示。

通常， $COD > BOD_{20} > BOD_5 > OC$

# 6.1 废（污）水生物处理概述



## (3) 总需氧量 (TOD)

表示借仪器分析的方法测定废(污)水中所有可氧化的有机物和无机物在强氧化过程中总的需氧量，单位为mg/L。

## (4) 总有机碳 (TOC)

表示污水中有机污染物的总含碳量。其测定结果以C含量表示，单位为mg/L。

## (5) 有毒物质

由于这类物质的危害较大，因此有毒物质含量是污水排放、水体监测和污水处理中的重要水质指标。有毒物质种类繁多，包括无机、有机两大类。

### (6) 悬浮物

悬浮物是通过过滤法测定的，滤后滤膜或滤纸上截留下来的物质即为悬浮固体，它包括部分的胶体物质，单位为mg/L。

### (7) pH值

pH值是反映水的酸碱性强弱的重要指标。它对维护污水处理设施的正常运行，防止设备的腐蚀，保护水生生物的生长和水体自净功能具有重要意义。

### (8) 大肠菌群数

大肠菌群数是指单位体积水中所含的大肠菌群的数目，单位为个/升，它是常用的细菌学指标。

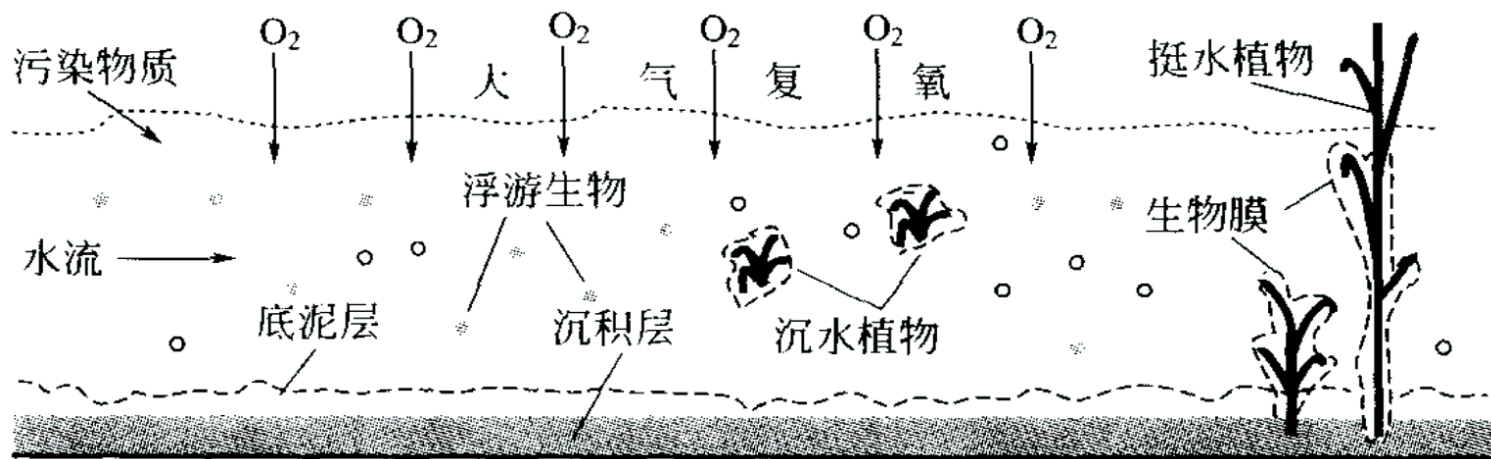
## 6.2 水体自净

**水体自净**：河流中**生化需氧量（BOD）** 随时间降低至污染物排入前水平的过程。

**自净机理**：物理、化学、物理化学、生物和生态的作用

好氧微生物对污染物的氧化分解是**水体自净的主要途径**

好氧微生物对污染物的氧化分解是**消耗溶解氧（DO）** 的主要途径。

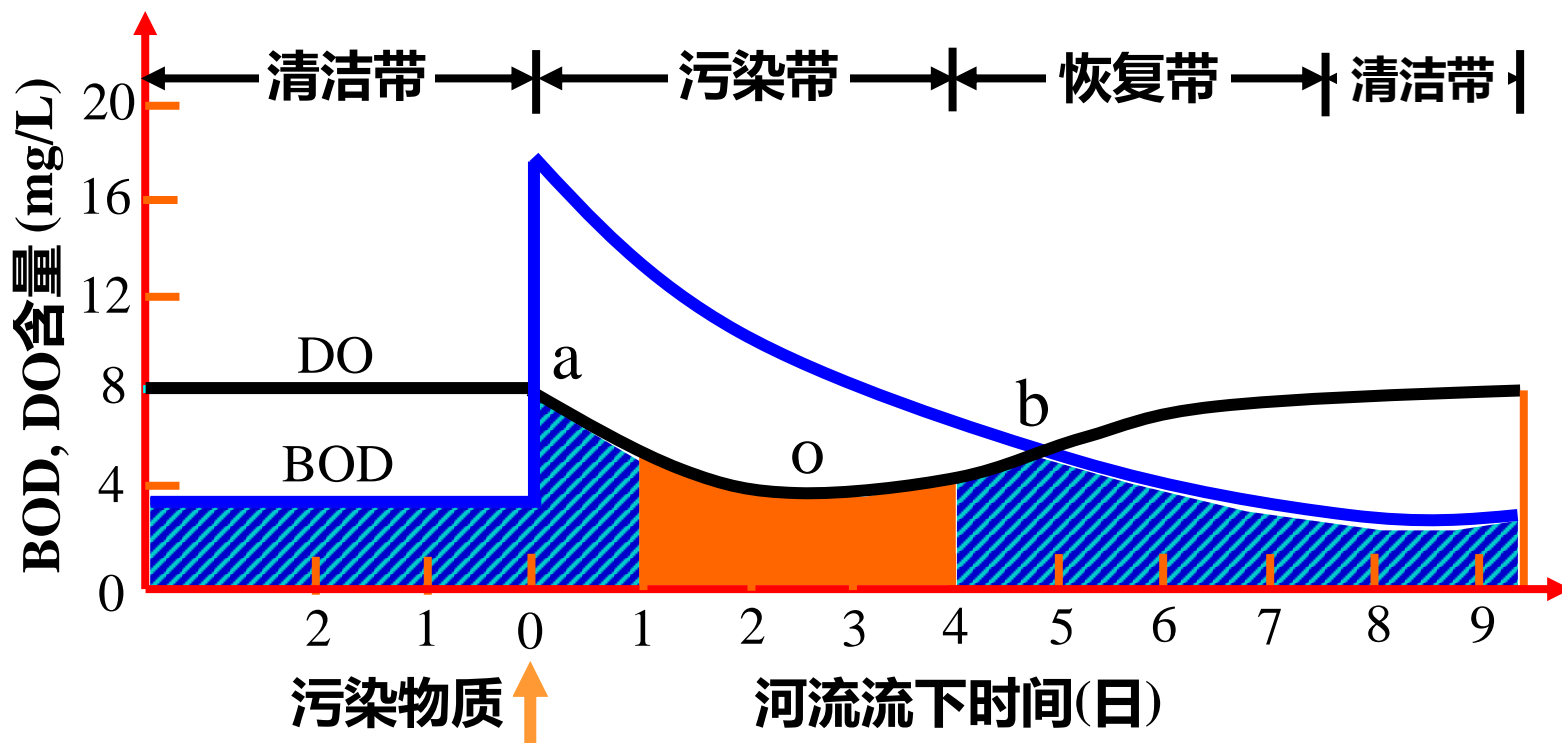


水体内生物、生态结构示意图

### 纳污河流的溶解氧变化规律—**氧垂曲线**

污染物排入河流后，河水中DO变化曲线呈悬索状下垂。

➤ 河流纳污后BOD及DO的变化



ao段：耗氧速率>复氧速率；

o点为氧垂点or临界亏氧点；ob段：耗氧速率<复氧速率。

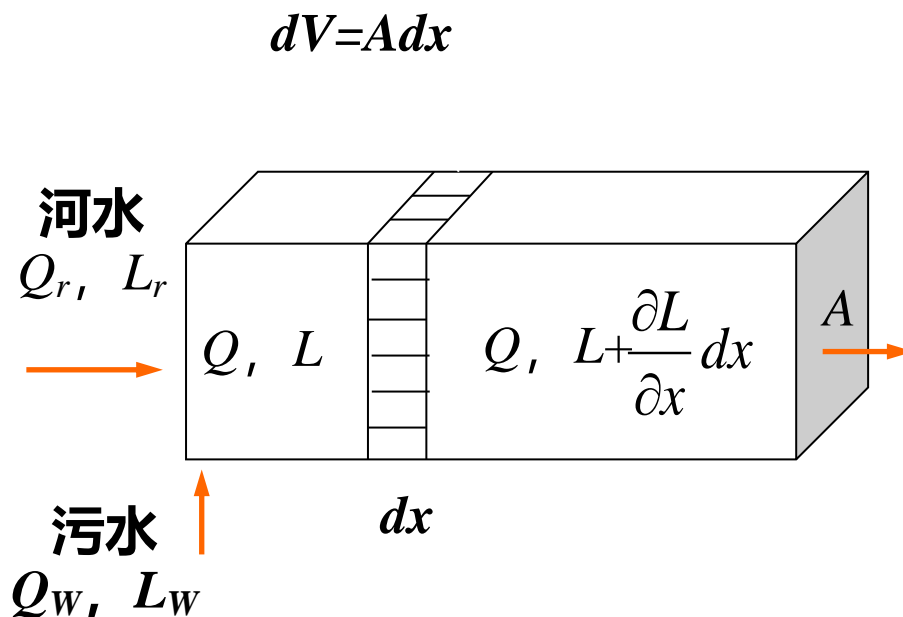
### ➤ 氧垂曲线方程

有机污染物生化降解的耗氧量与河水中有机污染物量成正比，呈一级反应，可表达为：

$$-\frac{dL}{dt} = K_1 L$$

在引起水体溶解氧变化的条件一定时，大气复氧速率与亏氧量成正比：

$$-\frac{dD}{dt} = K_2 D$$



河流分析推流式模式

### ➤ 氧垂曲线方程

假设排入河流的废水均匀地分布在整個河流横断面上，可认为河流是一个推流式反应器。

污水排入某段河流后，其中，

**氧的积累量 = 流入氧量 - 流出氧量 - 消耗氧量 + 复氧量**

$$\frac{\partial L}{\partial t} dV = QL - Q \left( L + \frac{\partial L}{\partial x} dx \right) - K_1 L dV + K_2 D dV$$

$L$ ——河水中的有机污染物浓度，以BOD表示，mg/L

$K_1$ ——耗氧速率常数， $k_1=0.434K_1$

$D$ ——**亏氧量（水中饱和溶解氧 - 实际溶解氧浓度）**，mg/L

$K_2$ ——复氧速率常数， $k_2=0.434K_2$

$t$ ——污水中某质点在河流中的停留时间，d

## 6.2 水体自净



在稳态条件下,  $\frac{\partial L}{\partial t} = 0$  则有,  $Q \frac{dL}{dx} dx = -K_1 L dV + K_2 D dV$

将  $dV = Q dt$ ;  $dD = d(L_0 - L) = -dL$  代入上式, 得:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dD}{dt} = K_1 L - K_2 D \\ t = 0, D = 0, L = L_0 \end{array} \right.$$

积分得:

$$D_t = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + D_0 10^{-k_2 t}$$

$D_t$ — $t$ 时刻河流中亏氧量 mg/L

$D_0$ —排污点亏氧量 mg/L

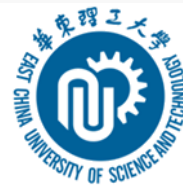
$L_0$ —污水排放处河水与污水混合后的有机污染物浓度,  
以BOD表示 mg/L

$k_1$ —耗氧速率常数,  $k_1 = 0.434 K_1$

$k_2$ —复氧速率常数,  $k_2 = 0.434 K_2$



## 6.2 水体自净



上式即为河流中氧垂曲线的斯特里特-菲尔普斯表达式

其工程意义为：(Streeter-Phelps方程)

①用于分析受有机物污染的河流中溶解氧的动态变化过程，考察河流的自净过程，并计算其环境容量，从而确定排入河流的有机物最大限量。

②推算最大缺氧点即氧垂点的位置及到达时间，并依次制定河流水体防护措施。

由公式可知，当 $dD/dt=0$ 时，氧垂曲线达到氧垂点，该段时间 $t_c$ 为：

$$t_c = \frac{\lg \left\{ \frac{k_2}{k_1} \left[ 1 - \frac{D_0 (k_2 - k_1)}{k_1 L_0} \right] \right\}}{k_2 - k_1}$$

式中 $t_c$ 为：从排污点到氧垂点所需的时间， $d$ 距离 $X_c$ 为： $X_c = vt_c$  (其中 $v$ 为水流流速)

### 活性污泥法是水体重自净的强化

#### ➤ 好氧生物处理是水体重自净过程的强化

水体重自净过程——大气复氧、微生物、水生植物光合作用；

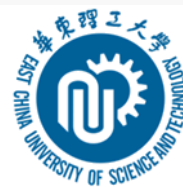
人工好氧生物处理——曝气、活性污泥提高微生物浓度

#### ➤ 厌氧生物处理是水体重自净过程的强化

水体重自净传质——污染物质稀释/扩散后，浓度低，传质过程弱，微生物浓度低；

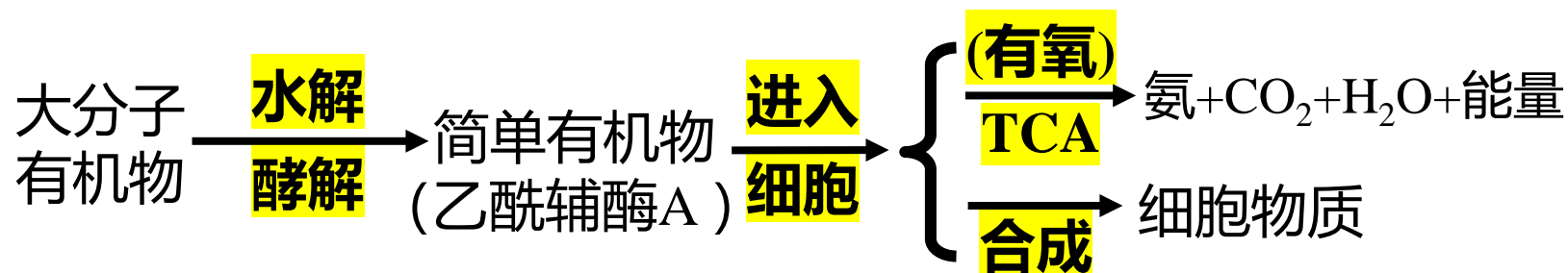
人工厌氧生物处理——完善构筑物结构,改善水力学特性，优化底物传质条件，活性污泥提高微生物浓度。

## 6.3 污染物生物降解（或去除）基本原理

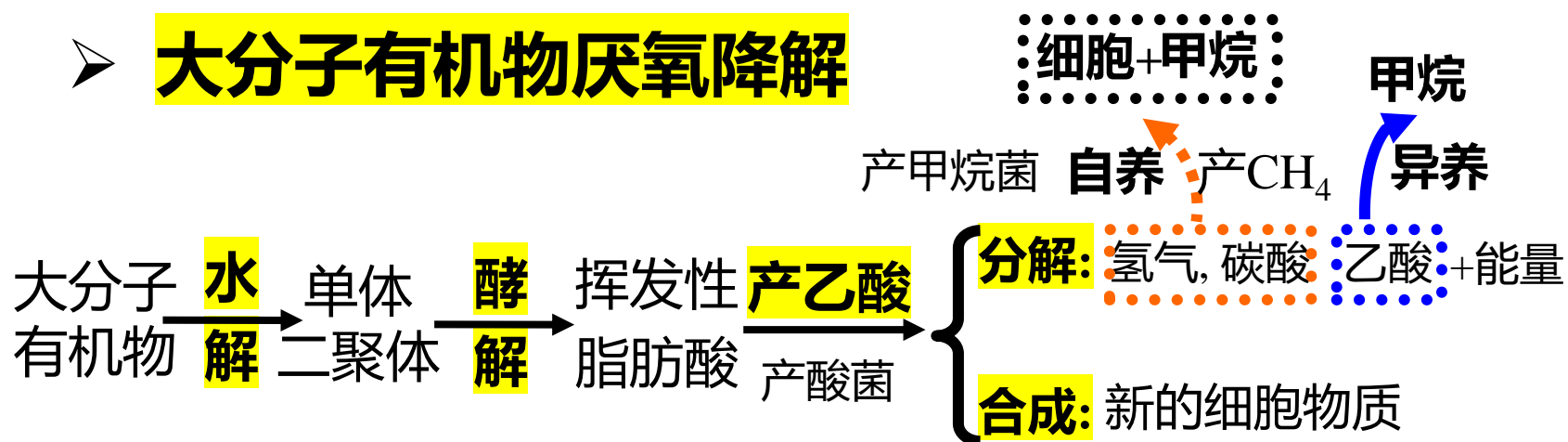


### 微生物对污染物质的生物降解转化

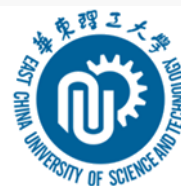
#### ➤ 大分子有机物好氧降解



#### ➤ 大分子有机物厌氧降解



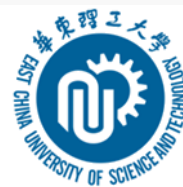
## 6.3 污染物生物降解（或去除）基本原理



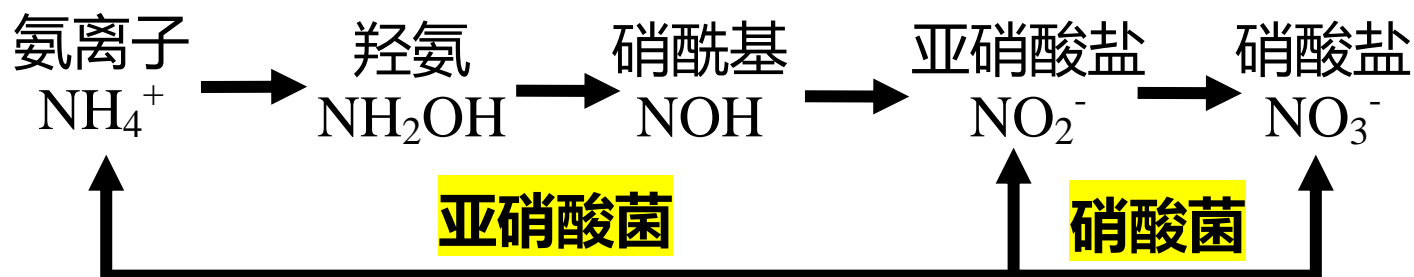
### 好氧降解与厌氧降解的区别

	区别	好氧生物处理	厌氧生物处理
1	起生物作用的微生物种群不同	好氧菌和兼性菌	厌氧产酸菌或兼性厌氧菌、专性甲烷菌
2	产物不同	彻底氧化，产物为 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ ，基本无害	有机酸、醇等中间产物、甲烷、 $\text{H}_2\text{S}$ 等，有异臭
3	反应速率不同	有机物转化快	生物处理反应速率慢，时间长
4	对环境要求条件不同	要求充分供氧，对环境要求不严	绝对厌氧，对环境条件（pH、温度）要求严格
5	处理对象不同	低浓度废水	高浓度污水或污泥

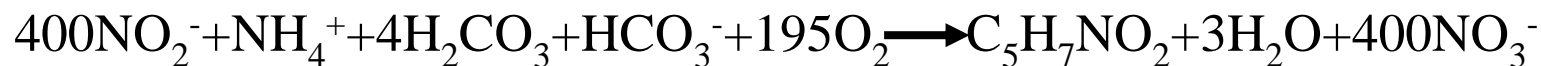
## 6.3 污染物生物降解（或去除）基本原理



### 生物脱氮基本原理-好氧硝化过程



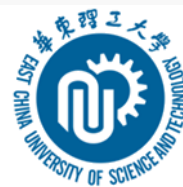
氨氮和亚硝酸盐氮的生物转化和细胞合成的反应式：



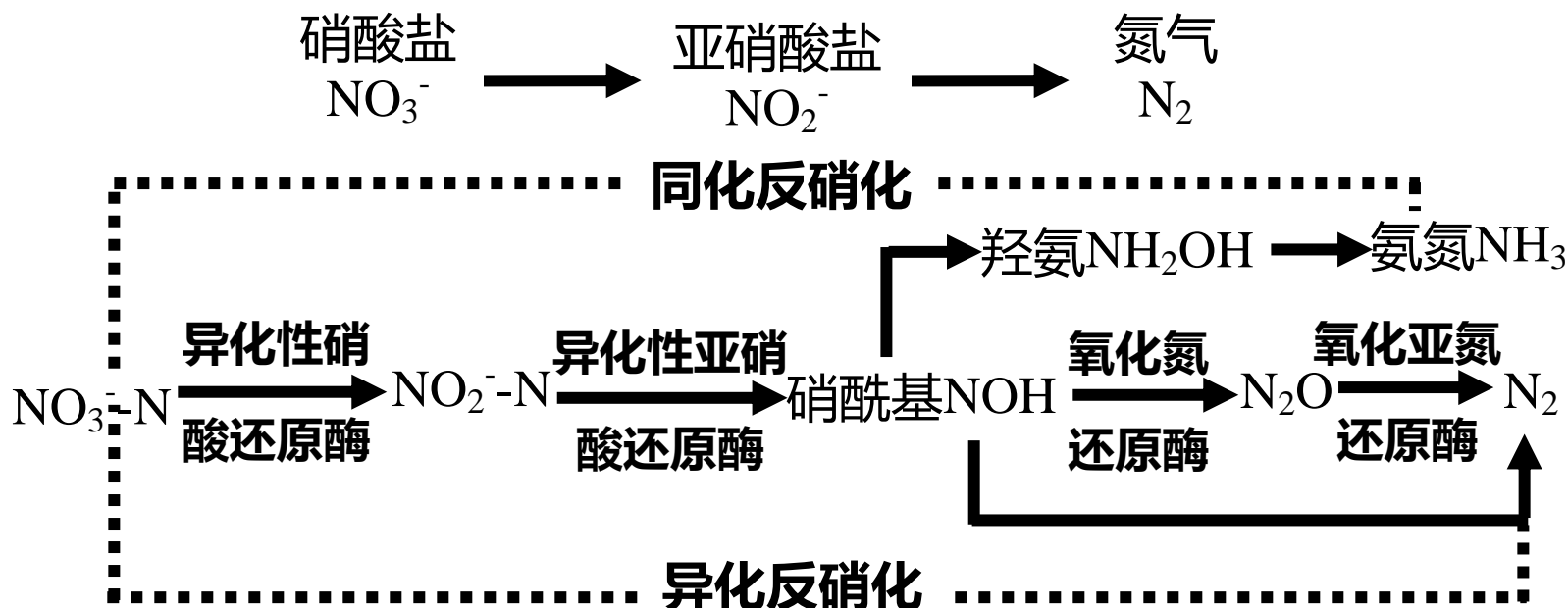
每氧化1g $\text{NH}_4^+-\text{N}$ 为 $\text{NO}_3^--\text{N}$ 耗氧4.57g,耗碱度7.14g ( $\text{CaCO}_3$ 计)

(未考虑细胞合成)

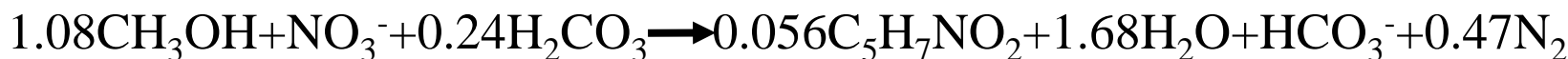
## 6.3 污染物生物降解（或去除）基本原理



### 生物脱氮基本原理-缺氧反硝化过程



### 反硝化过程中氮的转化过程示意图



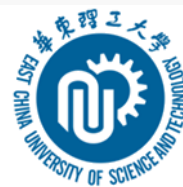
CH<sub>3</sub>OH为碳源，还原1 g NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N为N<sub>2</sub>，耗1.90 g CH<sub>3</sub>OH，释放碱度3.57 g

(未考虑细胞合成)

### 简述生物脱氮的基本原理：

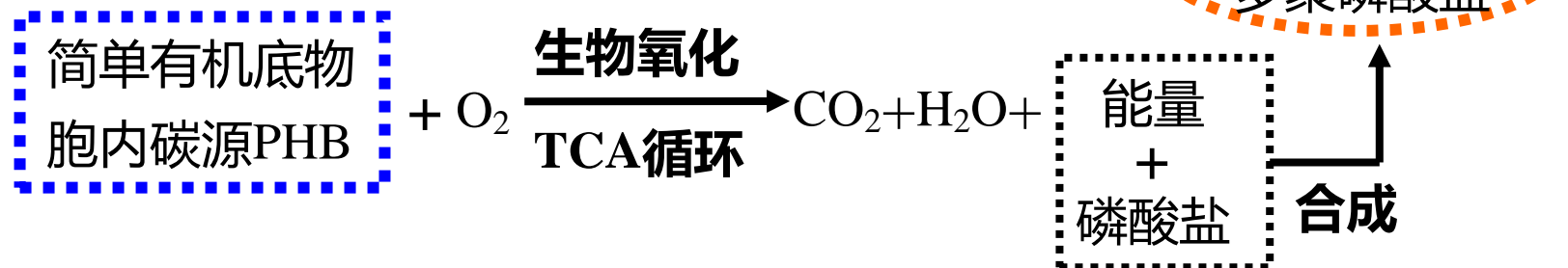
在生物处理过程中，有机氮被异养微生物氧化分解，即通过**氨化作用**转化为成 $\text{NH}_3\text{-N}$ ，而后通过**硝化作用**将 $\text{NH}_3\text{-N}$ 转化变为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ，最后通过**反硝化作用**使 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 转化成 $\text{N}_2$ 。硝化反应由好氧自养型微生物完成，在有氧状态下，利用无机碳为碳源将 $\text{NH}_3\text{-N}$ 氧化成 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ，然后再氧化成 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的过程，硝化是耗碱的过程( $7.14\text{g/gNH}_3\text{-N}$ )。反硝化反应是在缺氧或厌氧状态下，反硝化菌利用硝酸盐中的氧作为电子受体，以有机物（污水中的BOD成分）作为电子供体，将亚硝酸盐氮、硝酸盐氮还原成氮气（ $\text{N}_2$ ）的过程，反硝化是产碱度的过程( $3.57\text{g/gNO}_3^-\text{-N}$ )。**反硝化菌为异养型微生物，多属于兼性细菌。**

## 6.3 污染物生物降解（或去除）基本原理

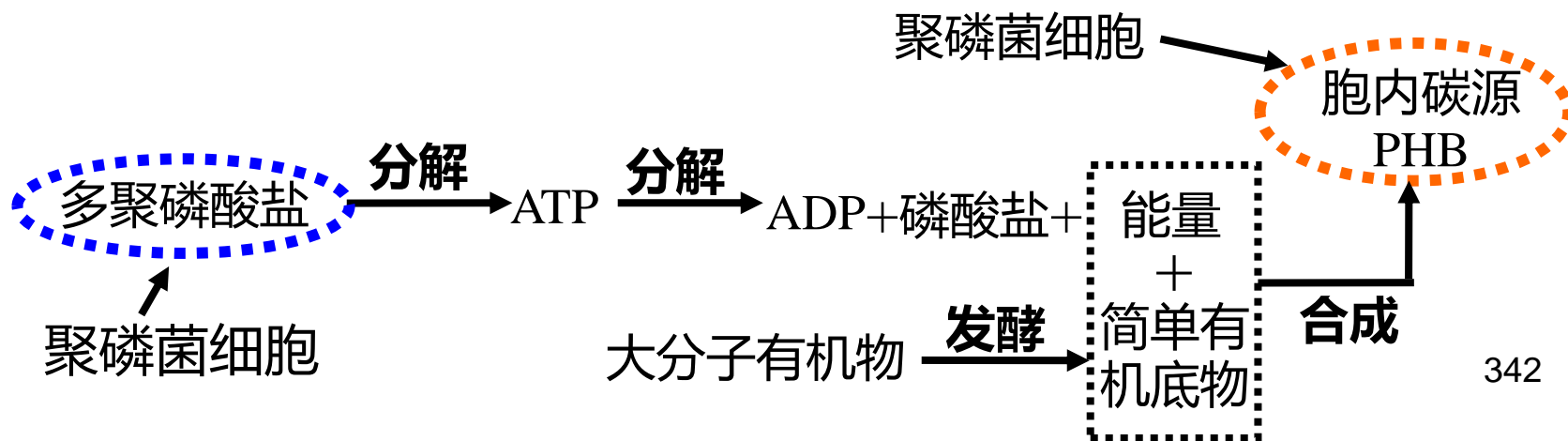


### 生物除磷基本原理

#### ➤ 聚磷菌好氧吸磷过程

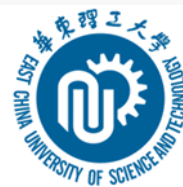


#### ➤ 聚磷菌厌氧释磷过程





## 6.3 污染物生物降解（或去除）基本原理

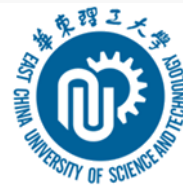


### 简述生物除磷的基本原理：

聚磷菌的除磷过程是厌氧释磷和好氧吸磷的结合。在厌氧条件下，聚磷菌利用ATP水解释放的能量，将废水中的简单有机底物合成为细胞内的聚合物聚 $\beta$ -羟基丁酸盐（PHB）——碳源储存物，并释放磷酸盐；在好氧条件下，聚磷菌通过氧化自身碳源储存物聚 $\beta$ -羟基丁酸盐（PHB）或废水中的简单有机物（如乙酸等）而获得能量，聚磷菌利用该反应产生的能量，过量地从废水中摄取磷酸盐，并以电中性或电阳性的形式运输到细胞内合成高能物质ATP和核酸，剩余的磷酸根作为细胞储存物——多聚磷酸盐。然后通过生物聚磷后细菌分离的手段，可有效将废（污）水中的磷酸盐脱除。

利用**聚磷菌好氧吸磷**和**厌氧释磷**的过程，通过**富含磷的剩余污泥**的排出系统而达到除磷的目的。

## 6.4 废（污）水的可生物处理性

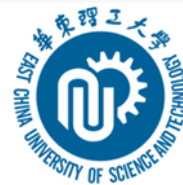


### ➤ 污染物的可生物降解性

即微生物对污染底物氧化分解所能达到的程度和降解速率

- **易降解有机物**，如糖、氨基酸、脂肪酸等；
- **可逐步被降解的污染物**，如对二苯甲酸、聚乙烯醇、烷基苯磺酸钠等；
- **难降解或不降解的污染物**，如木质素、纤维素、有机氯化物（如六六六）。
- **毒性很强的污染物**，**不仅不降解，而且抑制微生物生命活动**，如一些农药、杀菌剂等。

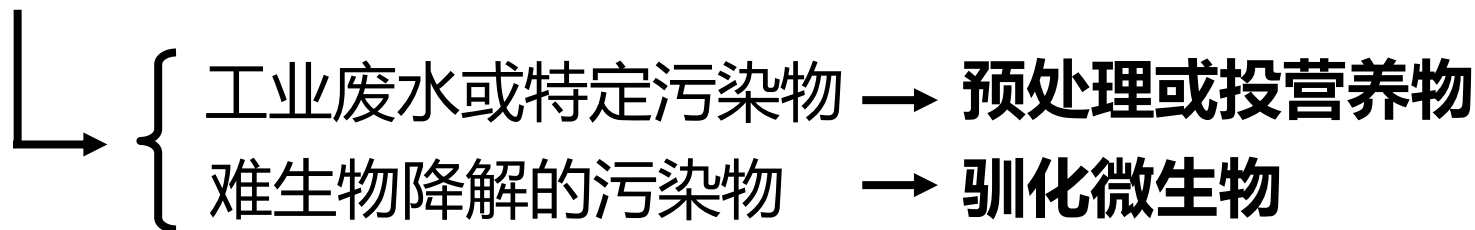
## 6.4 废（污）水的可生物处理性



### ➤ 污水的可生物处理的条件

**微生物降解底物合理的营养条件：**碳、氮、磷等

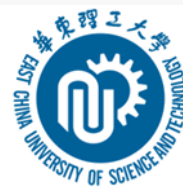
**环境条件：**pH、温度、溶解氧、盐分、毒性等



### ➤ 抑制生物处理的极限底物浓度

**确定有害污染底物抑制生物处理的极限浓度**（有害物、不能被生物降解物和部分可生物降解物如酚、氰、苯等）

## 6.4 废（污）水的可生物处理性



### 污染物好氧可生物降解性的评价

#### ➤ 水质指标法 → 城市生活污水

1/3可降解COD( $COD_B$ )氧化为 $H_2O$ 、 $CO_2$ 、 $NH_3$ 等无机物；  
2/3合成细胞物； 内源呼吸降解80%细胞物质为 $H_2O$ 、 $CO_2$ 、 $NH_3$ 等，20%为残余物。

$$BOD_u = \frac{1}{3}COD_B + \frac{2}{3}COD_B \times 80\% = 0.87COD_B$$

$$BOD_5 = \frac{2}{3}BOD_u$$

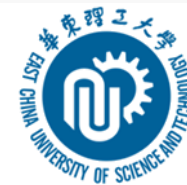
$$BOD_5 = \frac{2}{3} \times 0.87COD_B = 0.58COD_B$$

$$COD_B / COD = 1.72BOD_5 / COD$$

$COD_B / COD$ 越大，可生物降解性越好。

$BOD_5 / COD$ 越大，可生物降解性越好。

## 6.4 废（污）水的可生物处理性



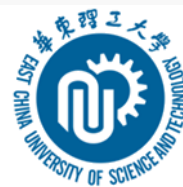
### 污染物好氧可生物降解性的评价

#### ➤ 水质指标法 → 城市生活污水

$COD_{NB}/COD$	约0	0.226	0.312	0.484	0.656	0.828
$BOD_5/COD$	0.58	0.45	0.40	0.30	0.20	0.10
生物降解性	易生物降解		可生物降解		生物降解性较差	难生物降解
可生物处理性	较好		可以		较差(好氧)	不宜(好氧)

$$\frac{BOD_5}{COD} = \frac{0.58(COD - COD_{NB})}{COD} = 0.58 \left( 1 - \frac{COD_{NB}}{COD} \right)$$

## 6.4 废（污）水的可生物处理性

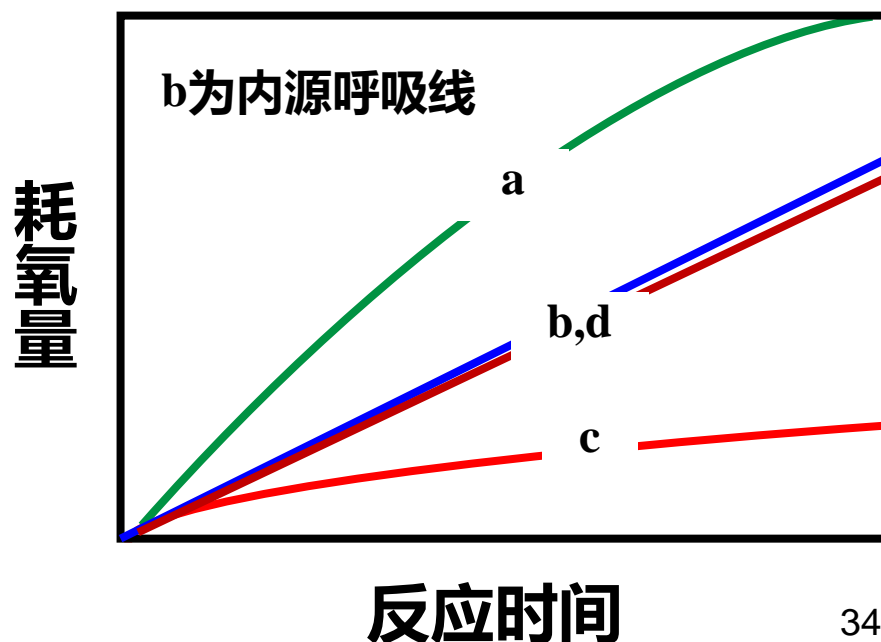


### 污染物好氧可生物降解性的评价

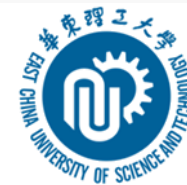
#### ➤ 生化呼吸线测试法

- a: **可被微生物降解**, a距b越远, 斜率越大, 可生物降解性越好;
- c: **对微生物有抑制/毒性, 难生物降解**, c越接近横坐标, 抑制/毒性越大;
- d: 与b重合, **不能被微生物降解, 无抑制/毒性**。

好氧微生物氧化分解污染物时呼吸消耗氧速度随时间的变化。可采用**瓦勃氏呼吸仪**测定。



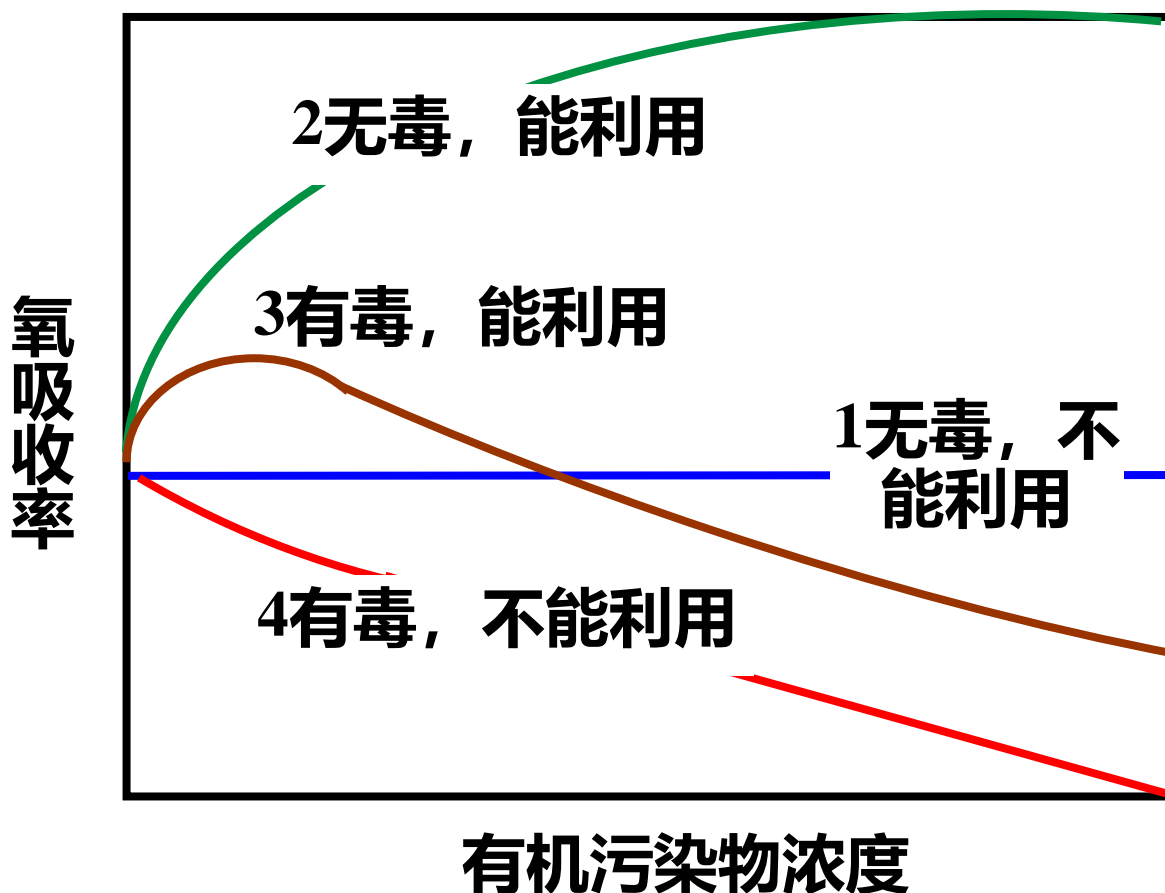
## 6.4 废（污）水的可生物处理性



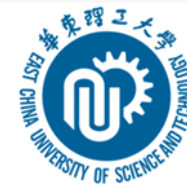
### 污染物好氧可生物降解性的评价

#### ➤ 氧利用率测试法

氧吸收特性曲线

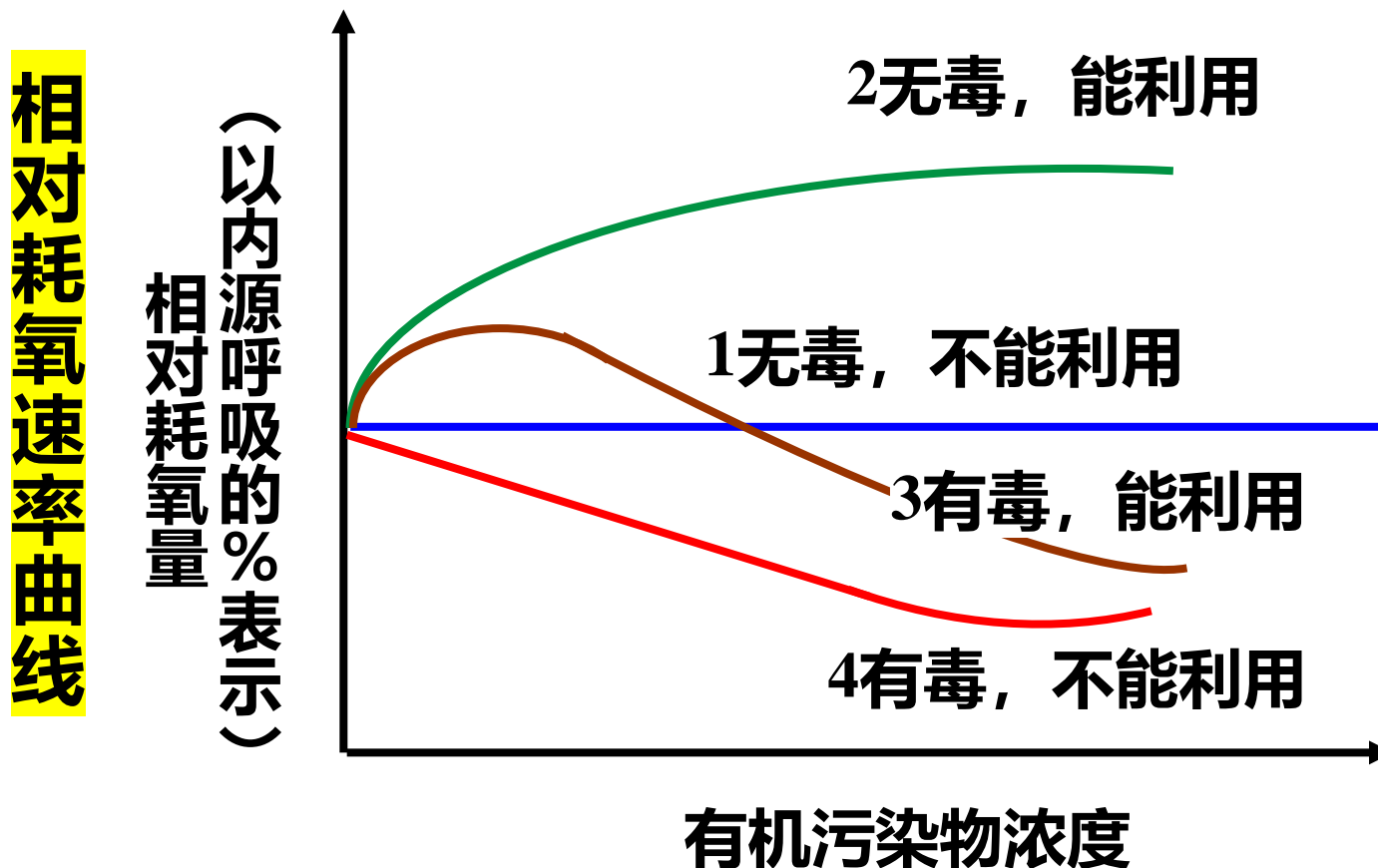


## 6.4 废（污）水的可生物处理性



### 污染物好氧可生物降解性的评价

#### ➤ 氧利用率测试法





### 污染物厌氧可生物降解性的评价

#### ➤ $\text{COD}_{\text{BD}}$ 测定法

测试时间为1个月，测试过程中，以可被厌氧生物降解的  $\text{COD}_{\text{BD}}$  所占比例指示其厌氧生物降解性。

#### ➤ 产气量测试法

厌氧降解的实际产气量占理论产气量的百分率。

或者以实际气体产量中总矿化碳（以 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ 换算）占TOC百分率。

### 污染物厌氧可生物降解性的评价

#### ➤ 间歇式模型测试法

测试气体产量和试验模型进出水有机底物浓度的变化。

#### ➤ 比 $\text{CH}_4$ 产率和比 $\text{CO}_2$ 产率测试法

测定有机物厌氧降解过程中 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$ 产量与其理论产量比值。

### 基本内容介绍

#### ➤ 污水生物处理中的微生物

**种类**（原核、真核）

**营养**（光能、化能、异养、自养）

**生长特性**（适应期、对数增长期、稳定期、衰亡期）

**呼吸**（好氧、厌氧）

### 基本内容介绍

#### ➤ 污水处理底物降解及微生物增殖动力学

**底物降解动力学**：米—门方程及动力学参数确定

**微生物增殖动力学**：莫诺方程及动力学参数确定

### 污水生物处理中的微生物 —— 种类

#### ◆ 原核微生物

(1) 细菌：球菌、杆菌、螺旋菌、丝状菌

#### ➤ 菌胶团

细菌分泌于**细胞壁外**，多糖、蛋白质、核酸等聚合物（即胞外聚合物EPS）粘液层使细菌粘结起来，呈**团块状生长**。

免受外部动物吞噬，**对不良环境适应能力强**，**吸附效能**。

**新生菌胶团颜色较浅，或无色透明，生命力旺盛；**

**老化菌胶团颜色较深，如一团烂泥，生命力较差。**

### 污水生物处理中的微生物 —— 种类

➤ **丝状菌**      不分枝或假分枝

生物絮体或生物膜的骨架，与菌胶团细菌是互惠关系。（游离性）丝状菌过度繁殖，会引起污泥膨胀。

**(2) 古菌**      繁殖和进化速度慢，如：产甲烷菌

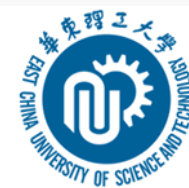
**(3) 放线菌**      泥腥味

单细胞分枝

多数好氧性

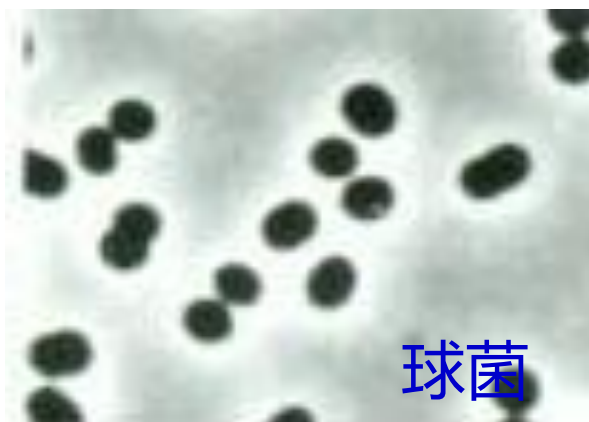
以COD为碳源和能源，可产生抗生素

## 6.5 微生物生长与降解特性

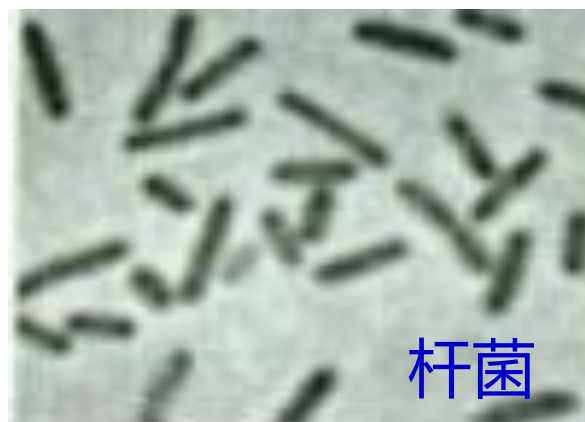


### 污水生物处理中的微生物 —— 种类

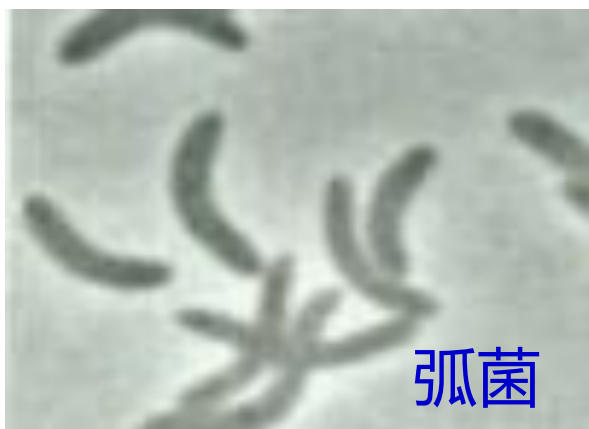
#### ◆ 细菌图片（光学显微镜）



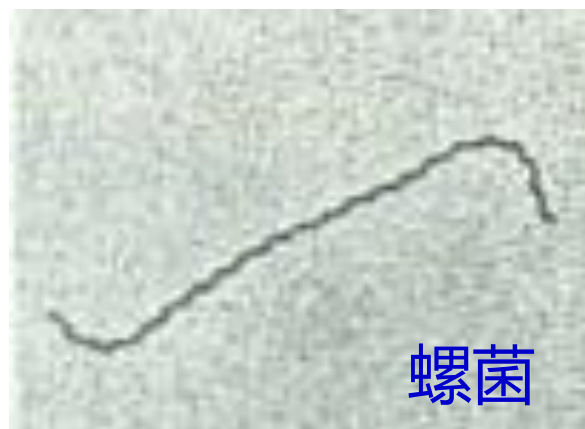
球菌



杆菌



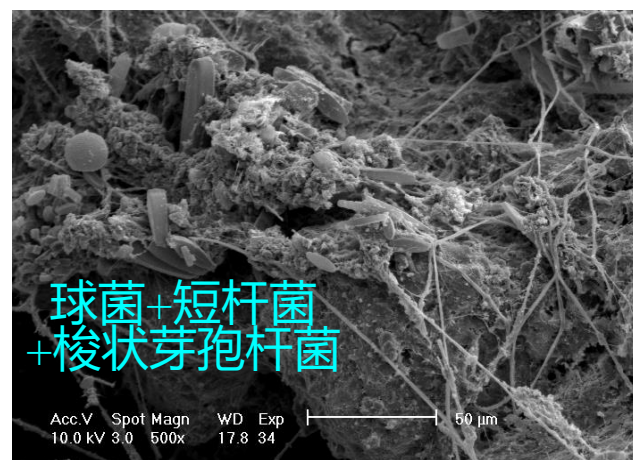
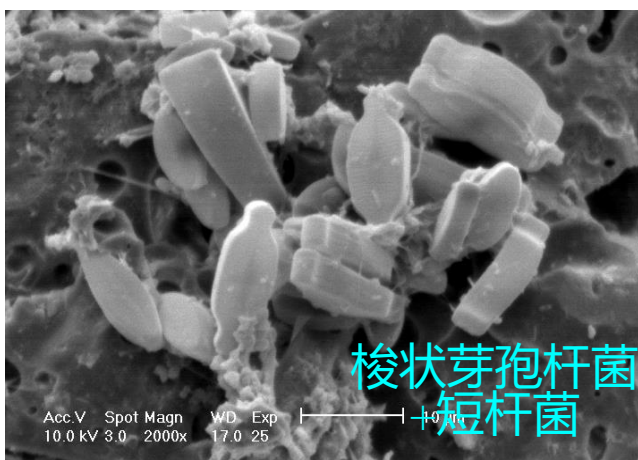
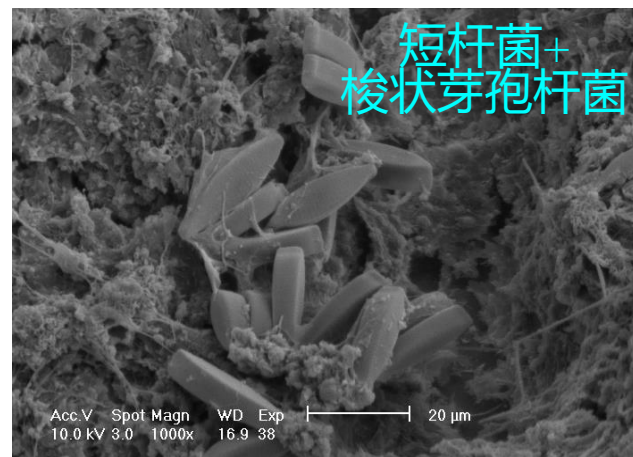
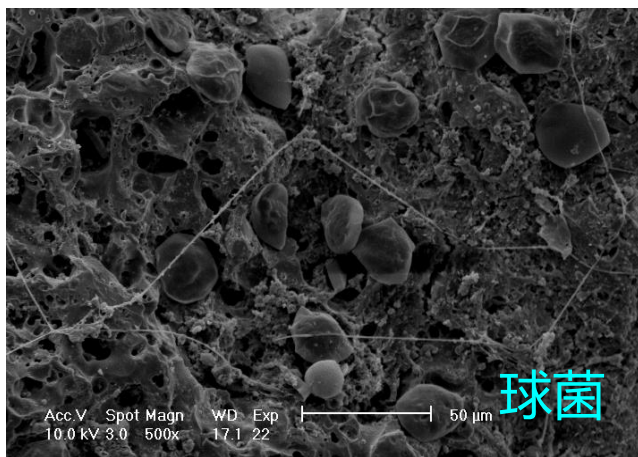
弧菌



螺菌

# 6.5 微生物生长与降解特性

## ◆ 细菌图片（光学显微镜）

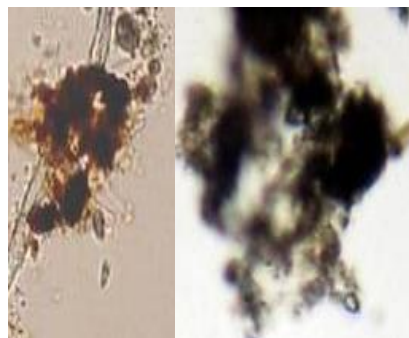




## 6.5 微生物生长与降解特性

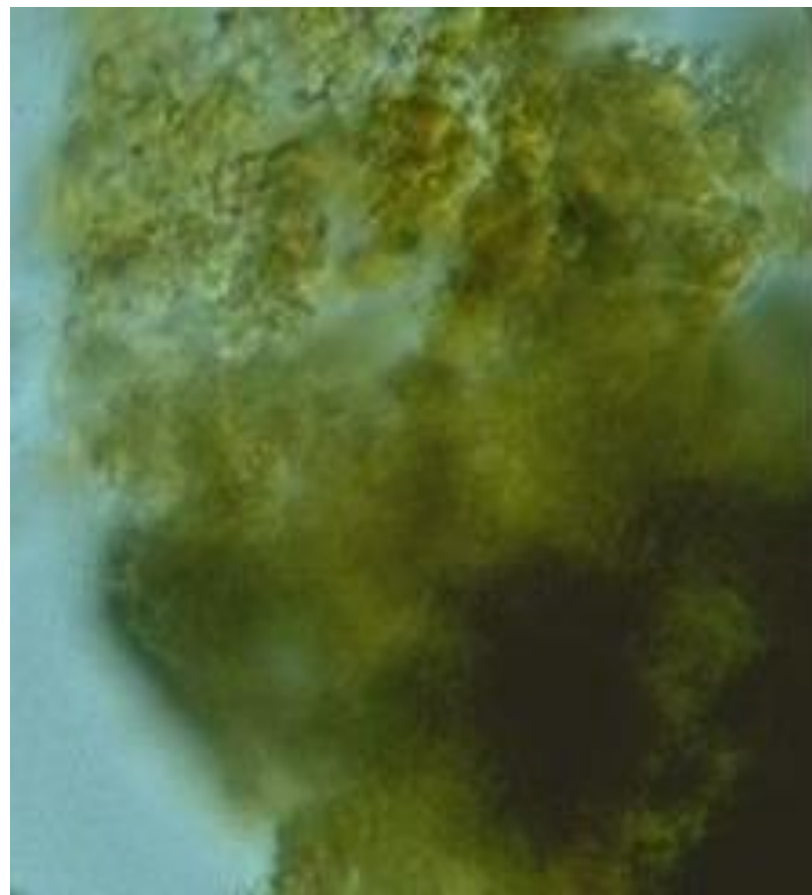
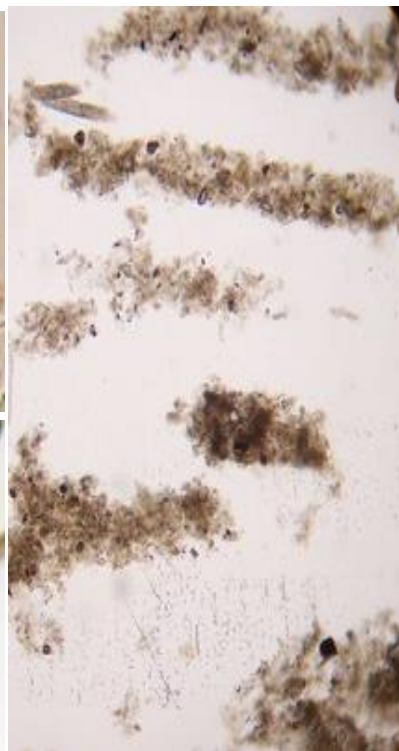
### ◆ 菌胶团 (光学显微镜)

新生菌胶团



老化菌胶团

菌胶团形状

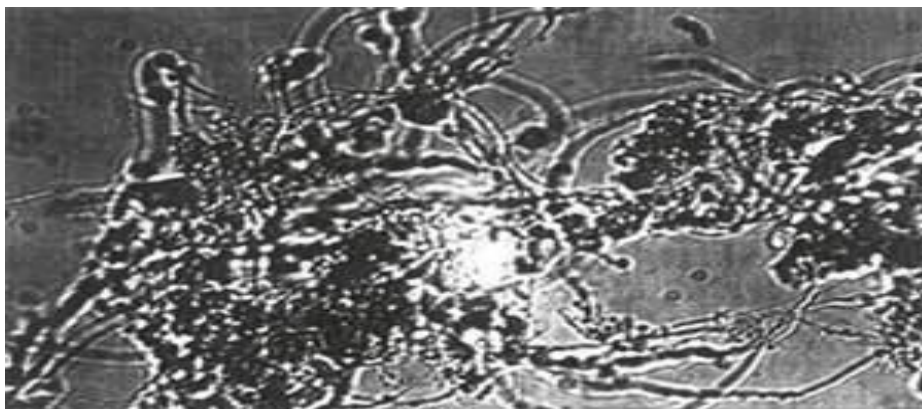
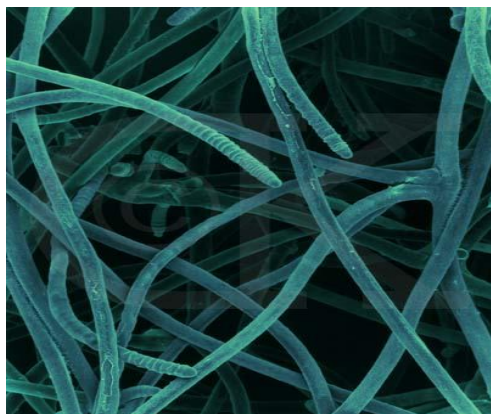


新生和老化菌胶团

## 6.5 微生物生长与降解特性

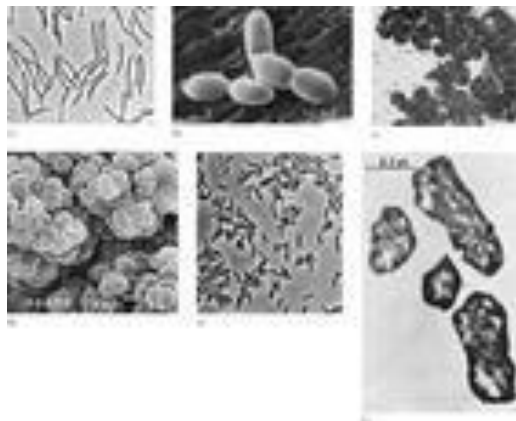
### 污水生物处理中的微生物 —— 种类

#### ◆ 丝状菌图片



#### ◆ 古菌图片

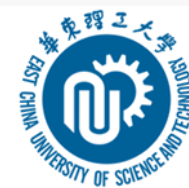
#### 产甲烷菌



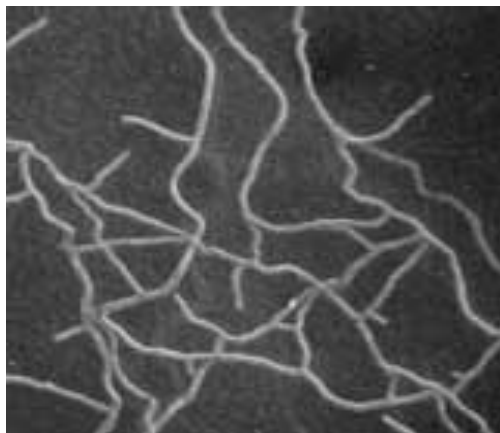
#### 极端嗜盐古菌



## 6.5 微生物生长与降解特性



### ◆ 放线菌图片



### 诺卡氏菌属



### 小单孢菌属

### 污水生物处理中的微生物 —— 种类

#### ◆ 真核微生物

➤ **真菌** 单细胞酵母菌和多细胞霉菌—丝状真菌

同化碳水化合物能力强

转化高浓度无毒污染物为高营养酵母菌体蛋白

干霉菌含氮3.5 ~ 8.0% (细菌含氮量50%) ,

可在氮缺乏时生长

### 污水生物处理中的微生物 —— 种类

#### ◆ 真核微生物

➤ **藻类**      光和作用——和需氧细菌的协同

**氮，磷过剩时，绿/蓝/褐藻大量繁殖——水华和赤潮**

➤ **原生动物**      单细胞结构，伪足类、鞭毛类、孢子虫类，纤毛类及吸管类

**吞噬细菌，控制了微生物群体的生态平衡    指示性生物**

➤ **后生动物**      多细胞轮虫，甲壳虫，寡毛类，线虫 ...

**控制微生态平衡    轮虫可作为指示处理水质良好的标志** 363

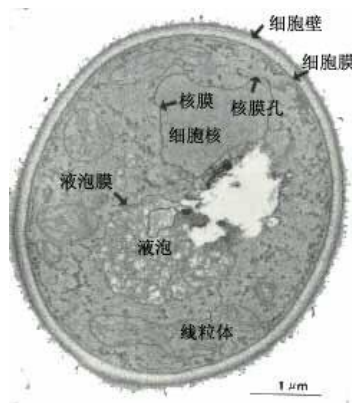


# 6.5 微生物生长与降解特性

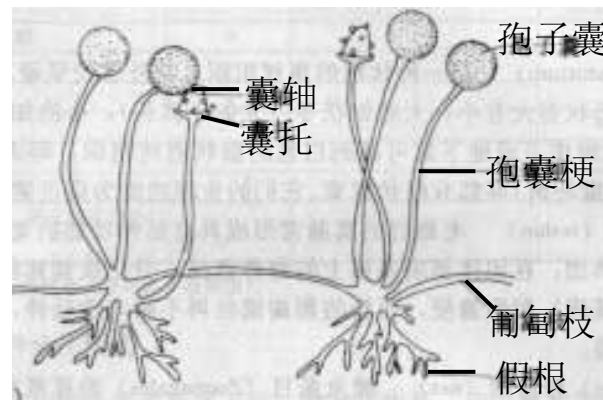
## 污水生物处理中的微生物 —— 种类

### ◆ 真菌图片

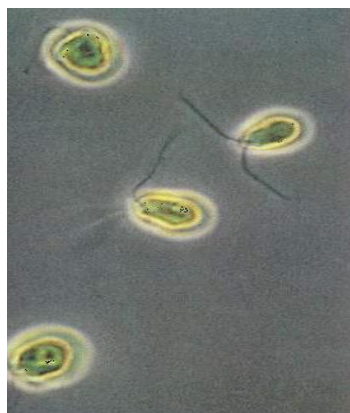
酵母菌



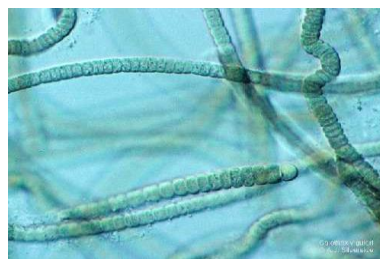
霉菌形态



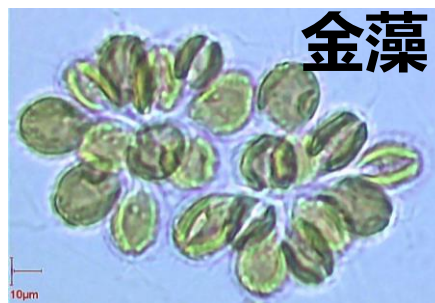
### ◆ 藻类图片



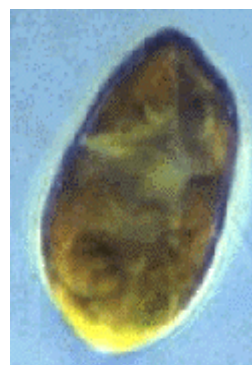
绿藻



蓝绿藻

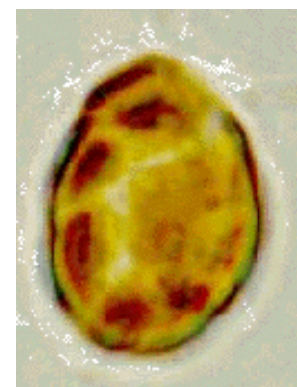


金藻



赤潮异弯藻

赤潮异弯藻

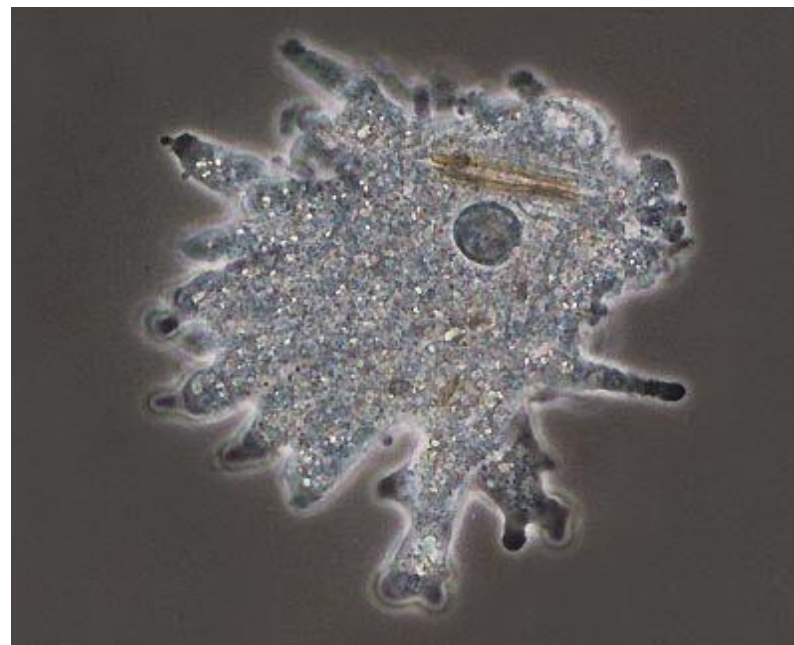
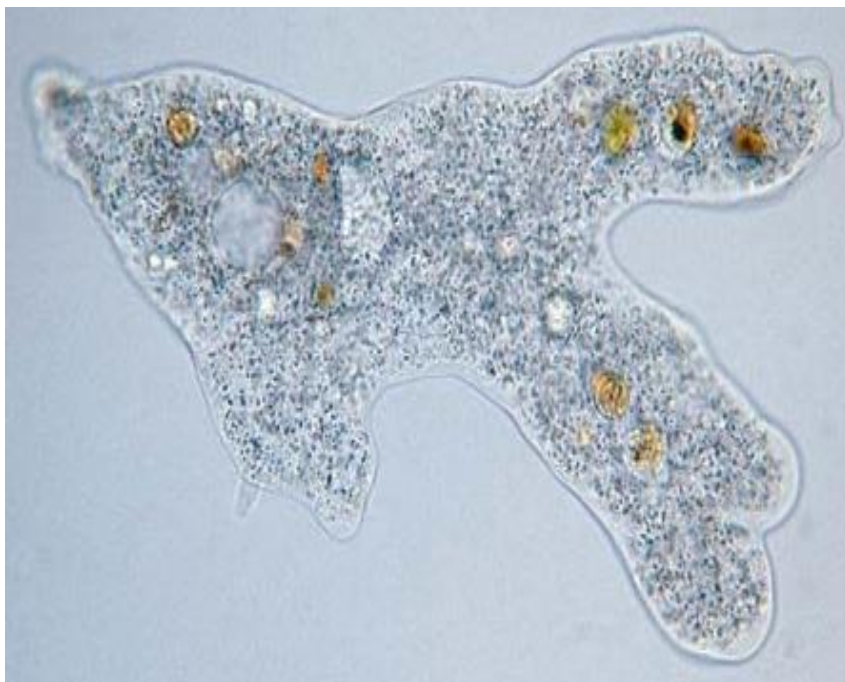


### 污水生物处理中的微生物 —— 种类

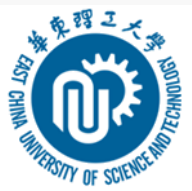
#### ◆ 原生动物图片

➤ 肉足虫

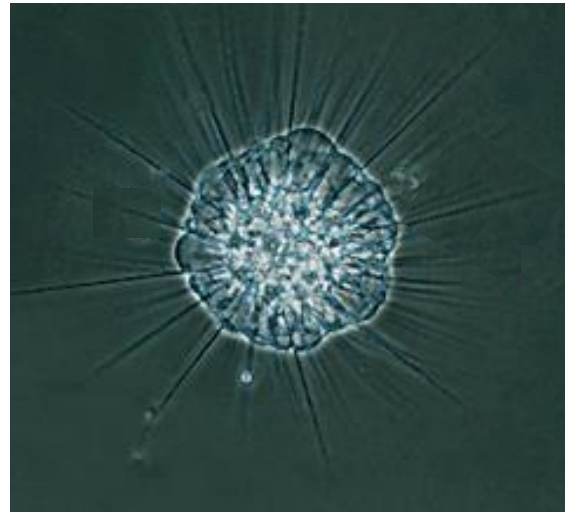
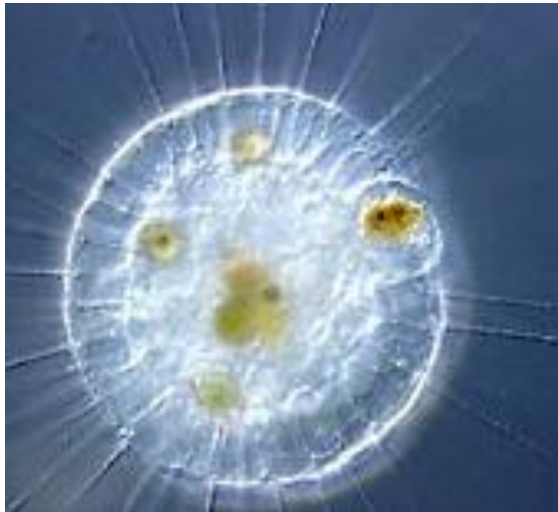
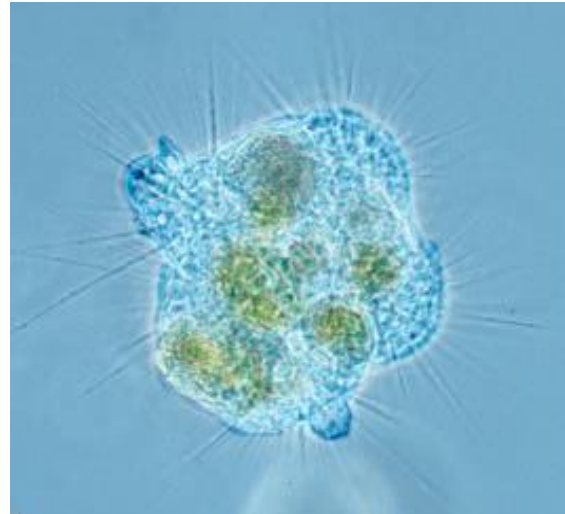
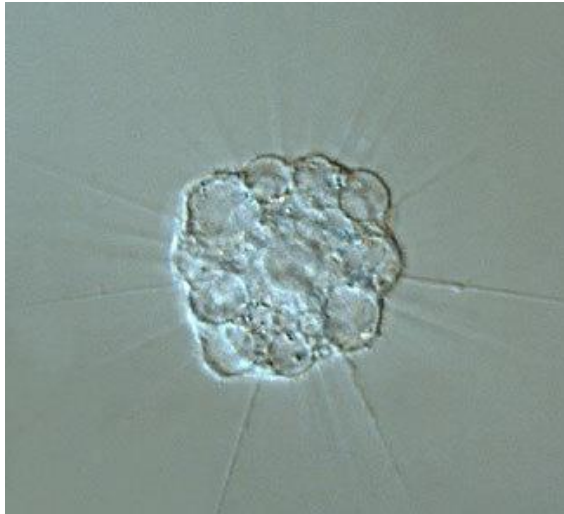
变形虫



## 6.5 微生物生长与降解特性

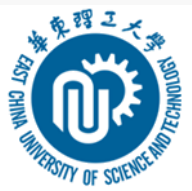


### 太阳虫

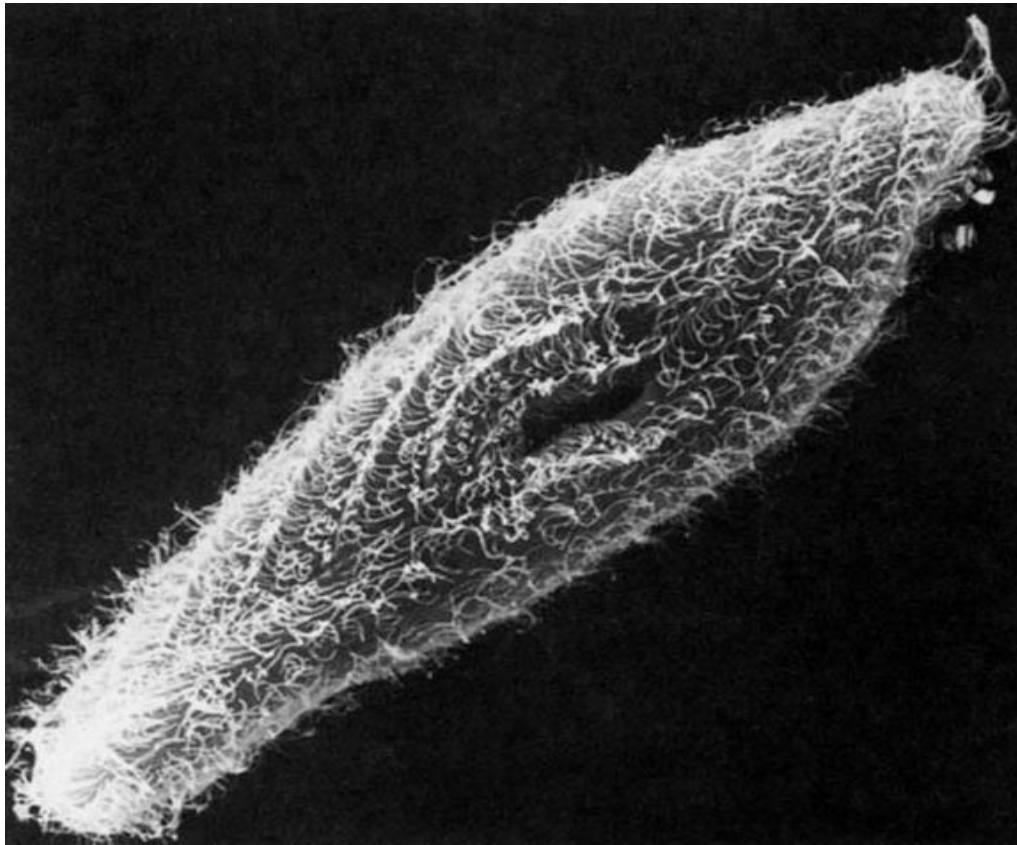




## 6.5 微生物生长与降解特性

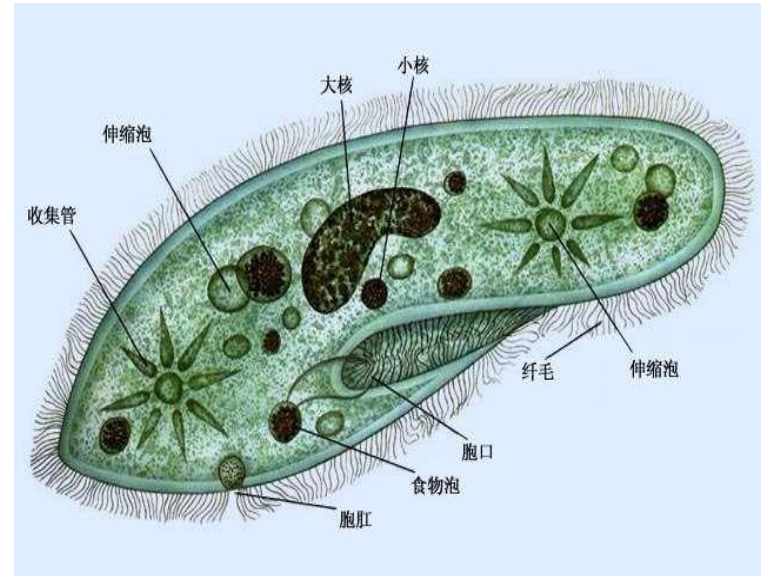


### 游泳型纤毛虫

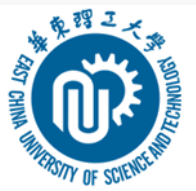


## 6.5 微生物生长与降解特性

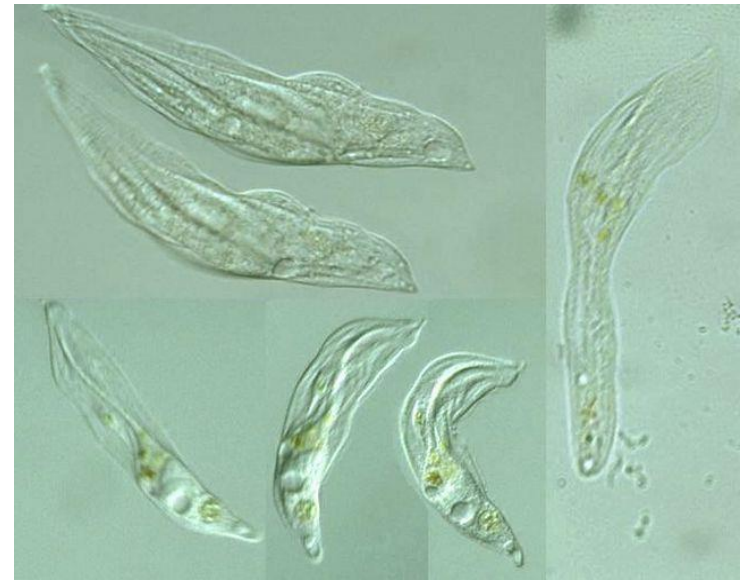
### 草履虫



## 6.5 微生物生长与降解特性

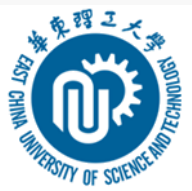


### 漫游虫





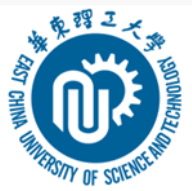
## 6.5 微生物生长与降解特性



### 栉 (zhì) 毛虫



## 6.5 微生物生长与降解特性

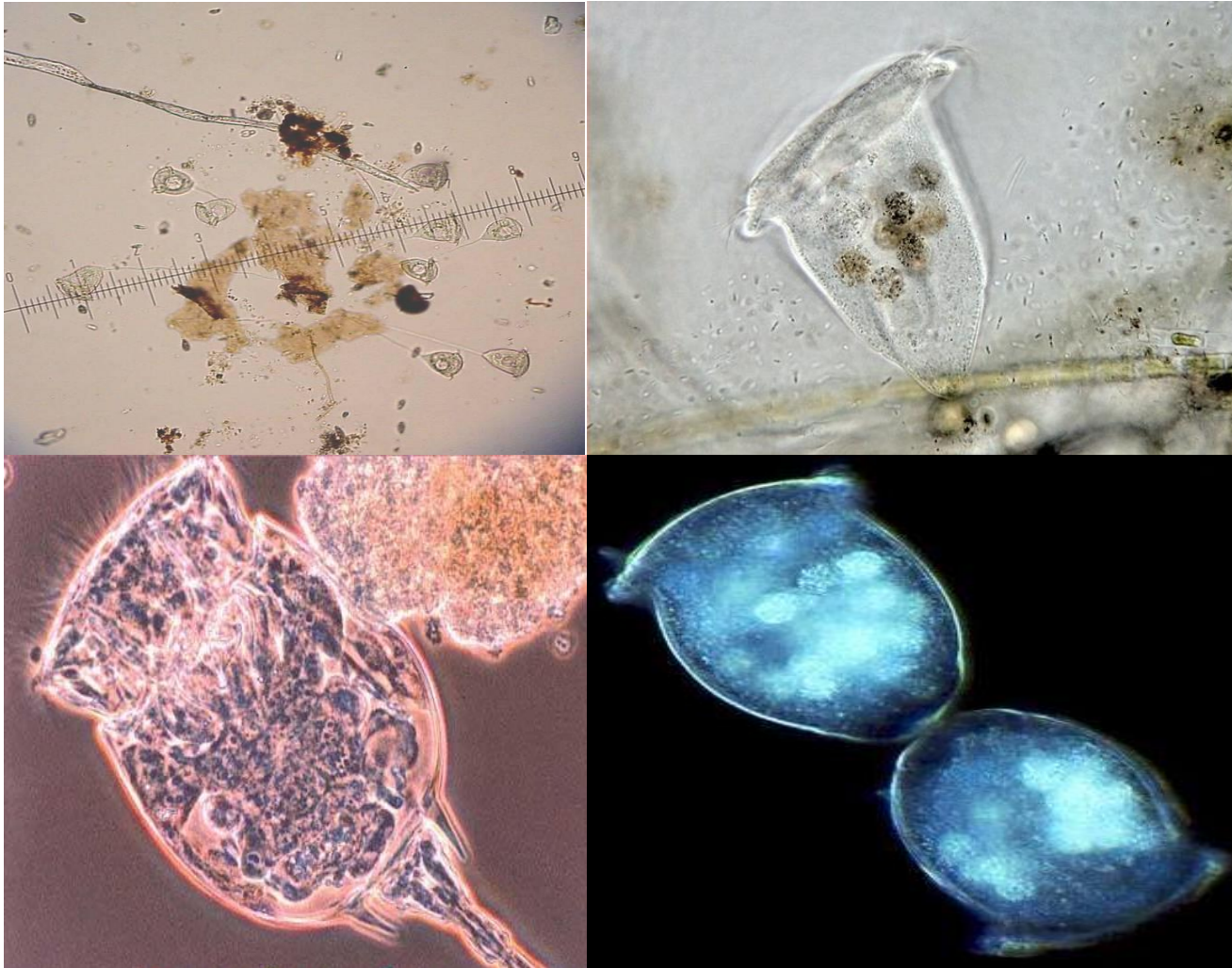


### ➤ 固着型纤毛虫 钟虫



## 6.5 微生物生长与降解特性

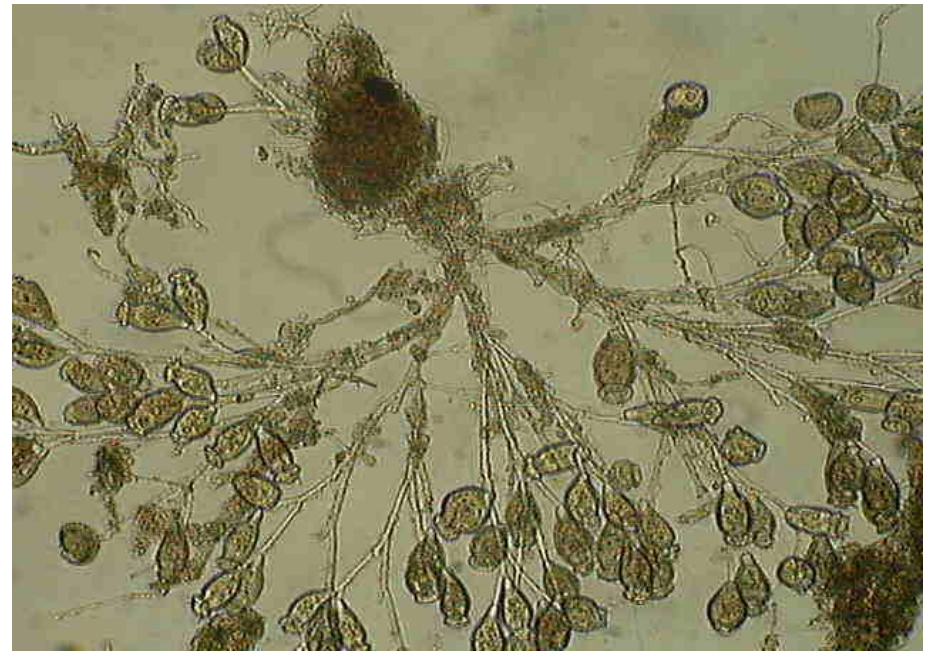
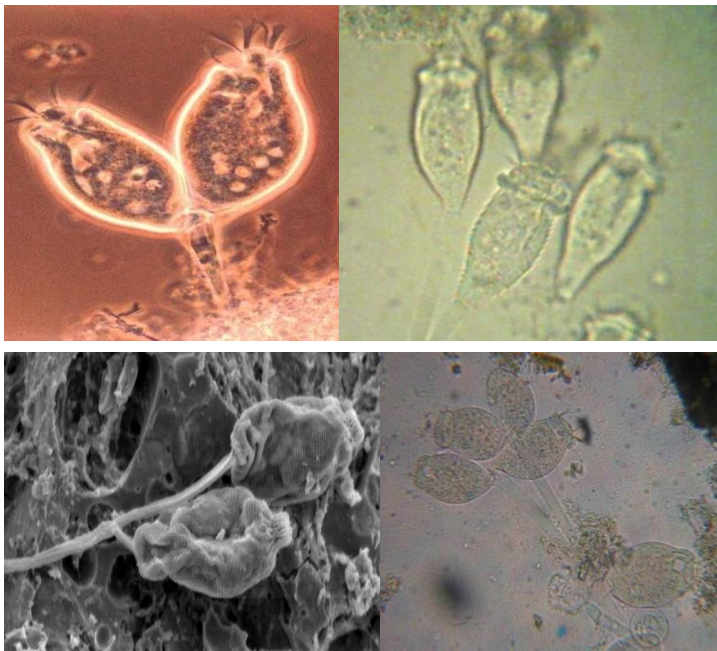
### 钟虫



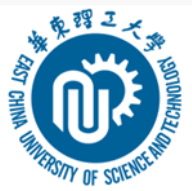


## 6.5 微生物生长与降解特性

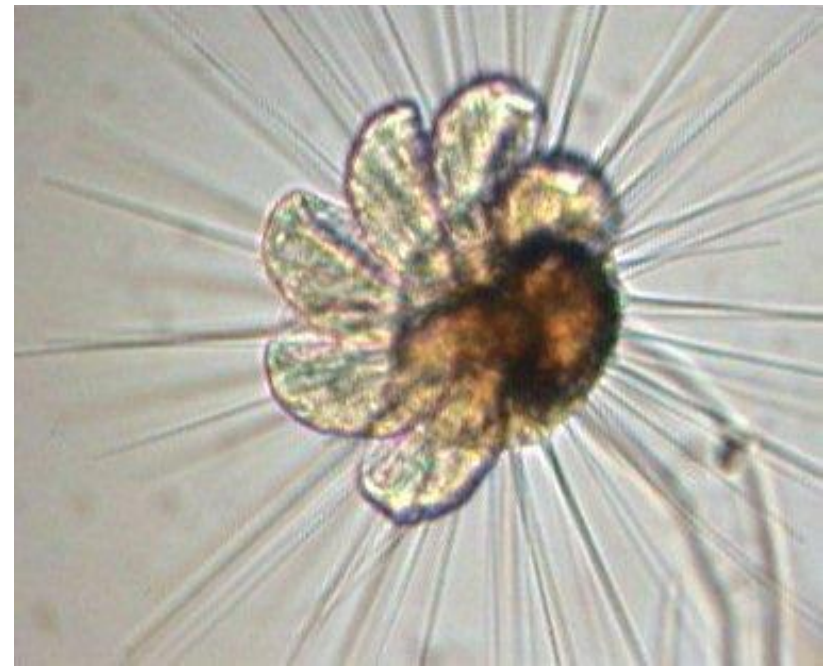
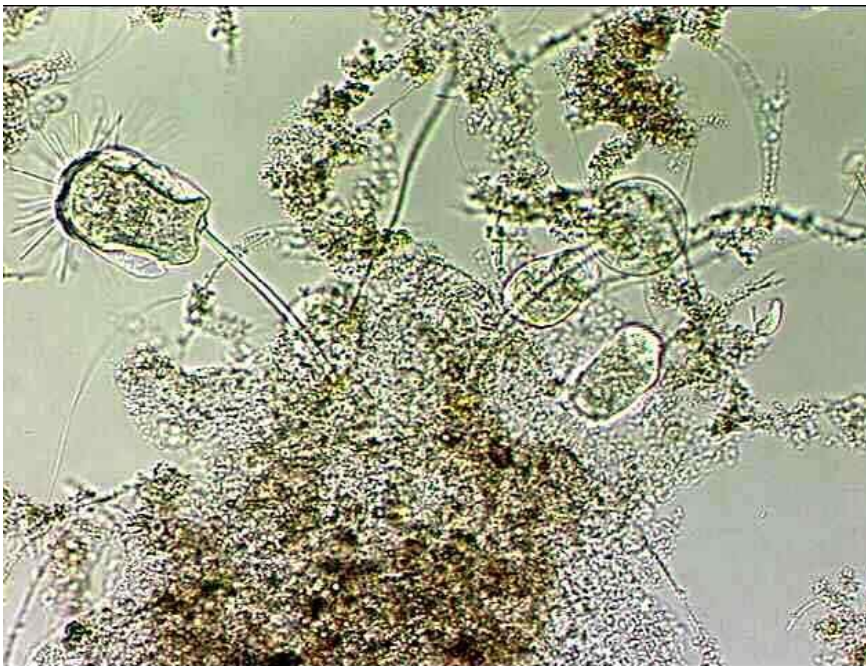
### 累枝虫



## 6.5 微生物生长与降解特性

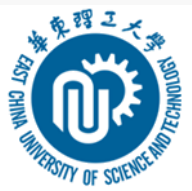


### 吸管虫





## 6.5 微生物生长与降解特性

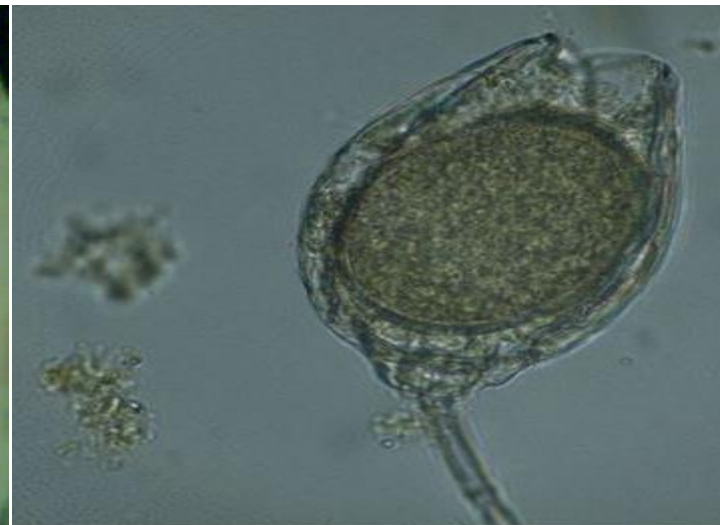


### 喇叭虫

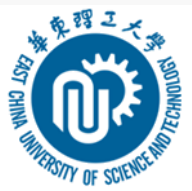


## 6.5 微生物生长与降解特性

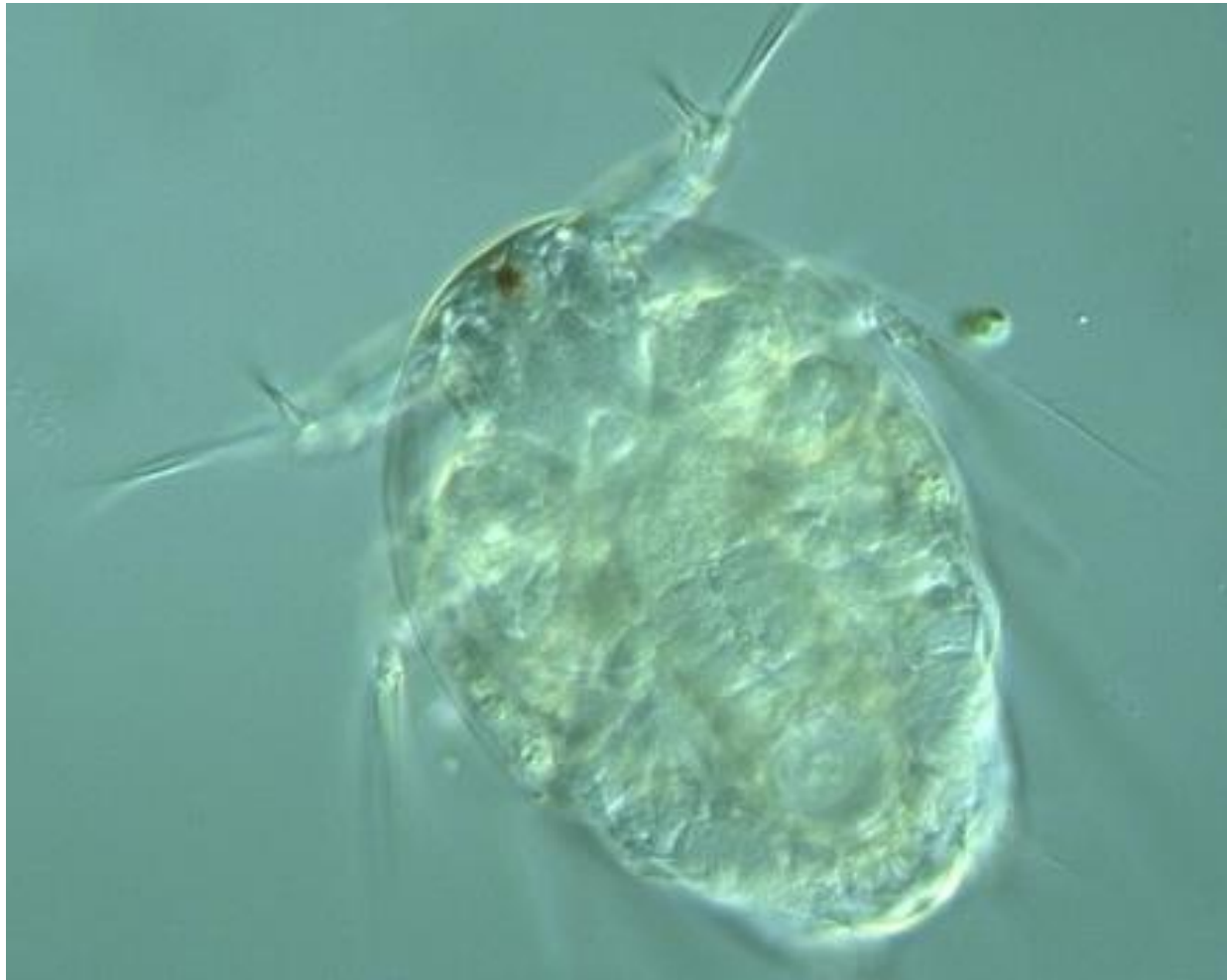
### ➤ 后生动物 轮虫



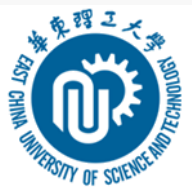
## 6.5 微生物生长与降解特性



### 桡 (ráo) 足虫



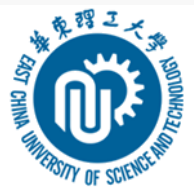
## 6.5 微生物生长与降解特性



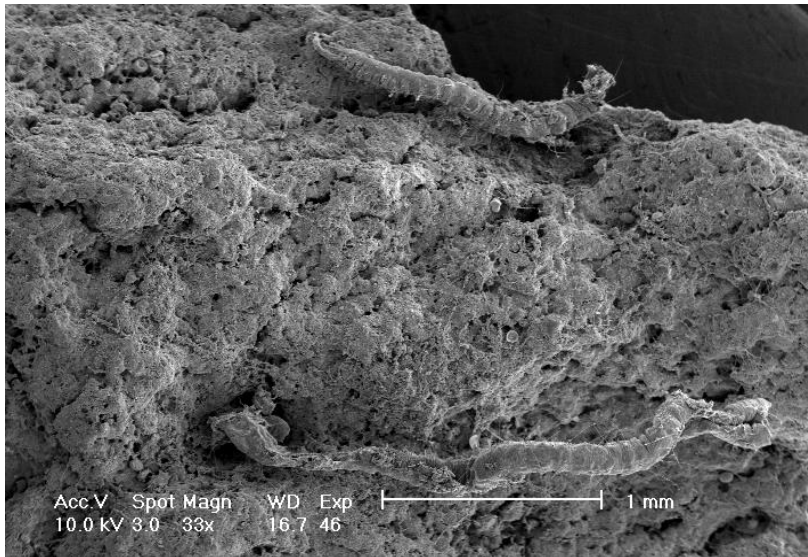
### 寡毛虫



## 6.5 微生物生长与降解特性



### 线虫





### 污水生物处理中的微生物 —— 营养类型

➤ **光能自养** —— 同化 $\text{CO}_2$ 为细胞物质

能源：光能；

碳源：无机物 ( $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ ) ；

供氢体：水/还原无机物 (如 $\text{H}_2\text{S}$ ) 。

➤ **光能异养**

能源：光能；

碳源和供氢体：简单有机物 (如低级脂肪酸，醇) 。

### 污水生物处理中的微生物 —— 营养类型

- **化能自养** —— 同化 $\text{CO}_2$ 为细胞物质

能量：主要来自氧化无机物；

碳源：无机物 ( $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ ) 。

**硝化细菌**

**硫细菌**

**铁细菌**

- **化能异养**

能量：通过呼吸作用获得；

能源和碳源：有机物。

大部分细菌和放线菌

几乎全部真菌和原生动物、后生动物

### 污水生物处理中的微生物——生长特性

#### 适应期：

菌体增大， $M$ 不变，污染指标下降少，对外界抵抗力低。

#### 对数增殖期：

$F:M > 2.2$ ，沉降性差， $M$ 增长速率与 $M$ 呈一级，与 $S$ 呈零级。

#### 减衰增殖期（稳定期）：

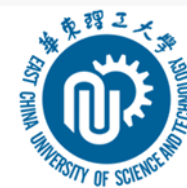
沉降性好， $M$ 增长速率与 $F$ 呈一级反应关系，抵抗力强。

#### 内源呼吸期（衰亡期）：

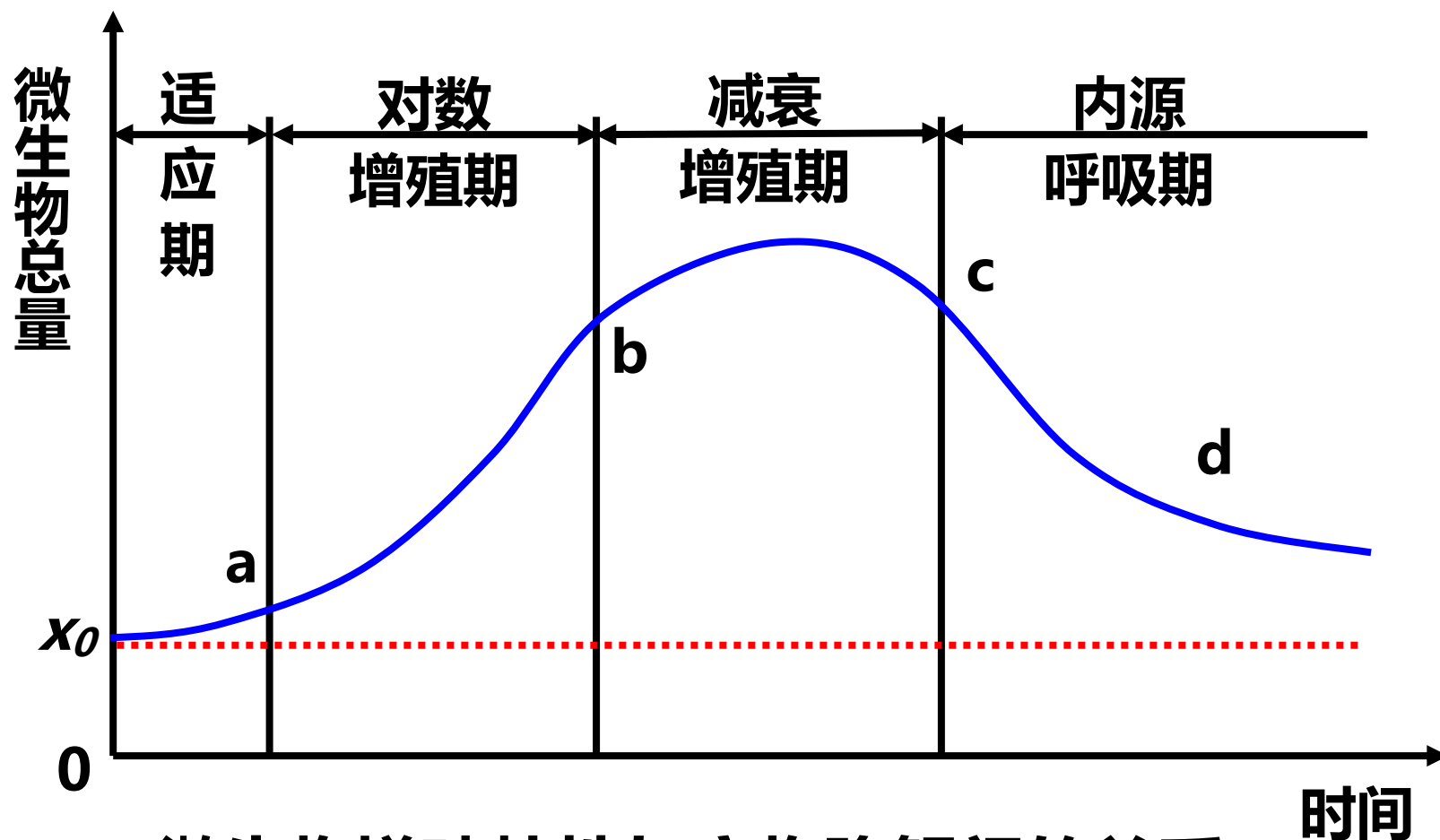
沉降性好，微生物死亡残留难降解的细胞壁和细胞质。



## 6.5 微生物生长与降解特性



### 污水生物处理中的微生物——生长特性



微生物增殖特性与底物降解间的关系

### 污水生物处理中的微生物——呼吸类型

#### ➤ 基本概念

好氧菌、厌氧菌、兼性菌

**电子供体**：有机/无机还原物，被氧化；

**电子受体**：有机/无机氧化物，被还原；

生产ATP即获得能量的过程，即对底物的生物氧化过程。

#### ➤ 好氧呼吸

好氧菌/兼性菌利用DO氧化底物（有机物或无机物）；

DO与底物中氢结合成水，氧化较彻底；

终产物是 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ ，释放能量较多。

### 污水生物处理中的微生物——呼吸类型

#### ➤ 厌氧呼吸

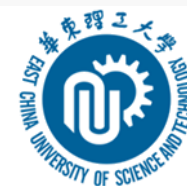
#### 分子内呼吸

电子供体/供氢体和最终电子受体/受氢体都是有机物的生物氧化过程。

#### 分子外呼吸

外源无机氧化物(如 $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ,  $\text{CO}_2$ )为最终电子受体的生物氧化过程。

## 6.5 微生物生长与降解特性



### 总结：污染物质生物转化方式与微生物特性

呼吸/生物氧化类型		电子受体 (被还原)	电子供体 (被氧化)	营养类型	微生物类型
<b>好氧</b>		$O_2$	有机物 如有机碳	异养	兼性菌, 专性好氧菌
			无机还原物 如 $NH_3$	自养	专性好氧菌
<b>厌氧</b>	分子内呼吸 (发酵)	中间产物: 简单有机物	有机物 如葡萄糖	异养	兼性菌, 专性厌氧菌
	分子外呼吸 (无机盐)	无机氧化物: 含氧酸根	有机物 如葡萄糖	异养	兼性菌, 专性厌氧菌
			无机还原物 如 $H_2$	自养	专性厌氧菌

### 污水处理底物降解及微生物增殖动力学

#### ➤ 米 - 门方程（底物降解动力学方程）

米凯利斯 - 门坦(Michaelis-Menten)于1913年试验得出微生物对底物降解速度与底物浓度间关系：

$$v = v_{\max} \frac{S}{K_s + S}$$

$v$ ——底物的比降解速度，即单位生物量对底物的降解速率， $t^{-1}$ ；

$$v = -\frac{1}{X} \frac{dS}{dt}$$

$v_{\max}$ ——底物最大比降解速度， $t^{-1}$ ；

$K_s$ ——半饱和常数（半速度常数），当  $v = \frac{1}{2} v_{\max}$  时的底物浓度；

$S$ ——限制增长底物浓度，如碳源、能源、氮和磷等。

### 污水处理底物降解及微生物增殖动力学

#### ➤ 莫诺方程（微生物增殖动力学方程）

莫诺（Monod）于1942试验得出  
微生物增殖速率与底物浓度之间关系

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K'_S + S}$$

$\mu$  —— 微生物的比增殖速度，即单位生物量的增殖速度， $t^{-1}$ ；

$$\mu = \frac{1}{X} \frac{dX}{dt}$$

$\mu_{\max}$  —— 微生物最大比增殖速度， $t^{-1}$ ；

$K'_S$  —— 半饱和常数，为当  $\mu = \frac{1}{2} \mu_{\max}$  时的底物浓度，也称之为半速度常数；

$S$  —— 限制增长底物浓度，如碳源、能源、氮和磷等。

### 污水处理底物降解及微生物增殖动力学

#### ➤ 莫诺方程与米 - 门方程可以相互转换

微生物比增殖速率( $\mu$ )与底物比降解速度( $v$ )正相关,

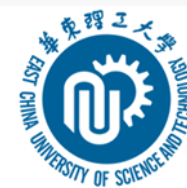
$$\mu = Yv - K_d$$

$Y$ ——微生物合成产率系数 (降解 $1\text{kg}$ 底物所合成的生物量 $\text{kg}$ 数)

$K_d$ ——微生物内源呼吸时的自身降解速率,  $d^{-1}$ , 也称为衰减系数

✓ 对污水处理过程来讲, 底物比降解速率比微生物的比增殖速率更能直观地反应系统除污染效能, 应用性更强。

# 6.5 微生物生长与降解特性



## 米门方程特性曲线分析

$$v = v_{\max} \frac{S}{K_S + S}$$

➤ 零级反应  $S \gg K_S$ , 则

$$v = v_{\max} = K_1$$

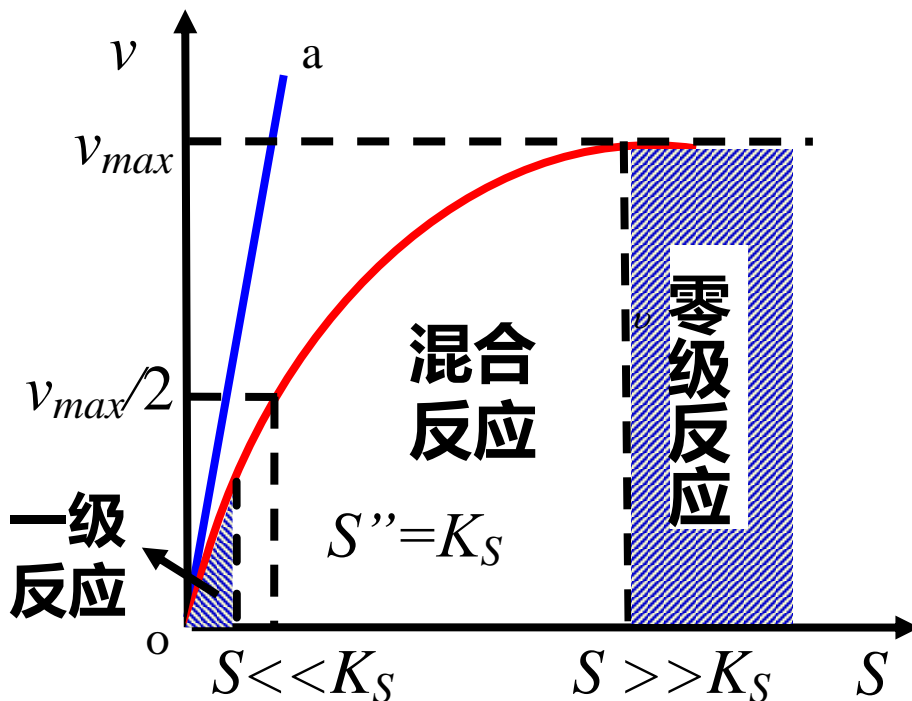
➤ 一级反应

$S \ll K_S$ , 则

$$v = \frac{v_{\max}}{K_S} S = K_2 \cdot S$$

➤ 混合反应

$$v = \frac{v_{\max} S}{K_S + S}$$



底物分解速率与底物浓度关系图



# 6.5 微生物生长与降解特性

## 莫诺方程特性曲线分析

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_S' + S}$$

➤ 零级反应

$S \gg K_S'$ , 则

$$\mu = \mu_{\max}$$

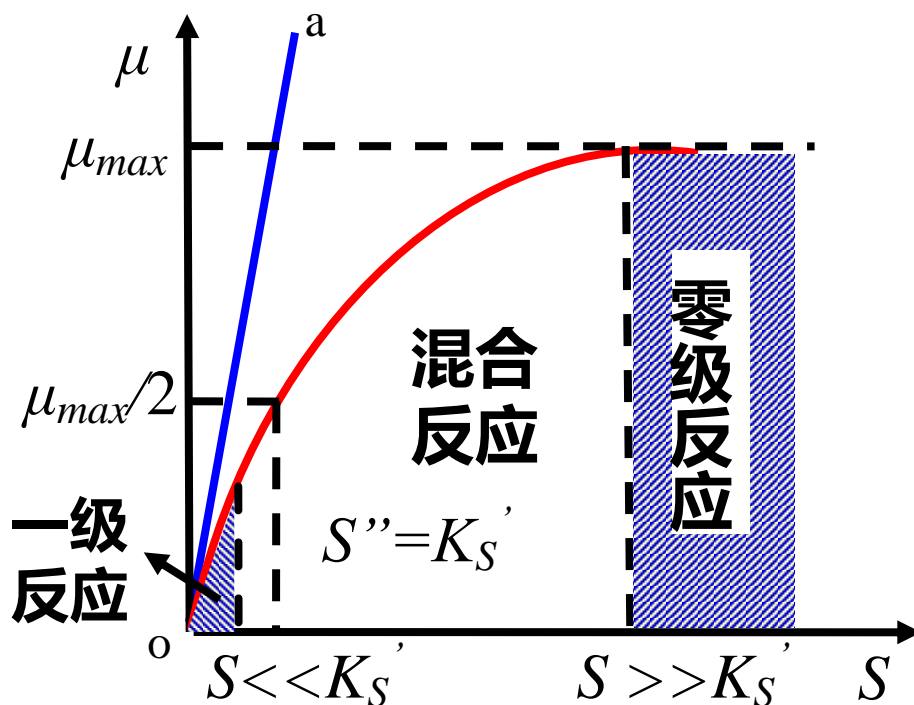
➤ 一级反应

$S \ll K_S'$ , 则

$$\mu = \frac{\mu_{\max}}{K_S'} S$$

➤ 混合反应

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_S' + S}$$



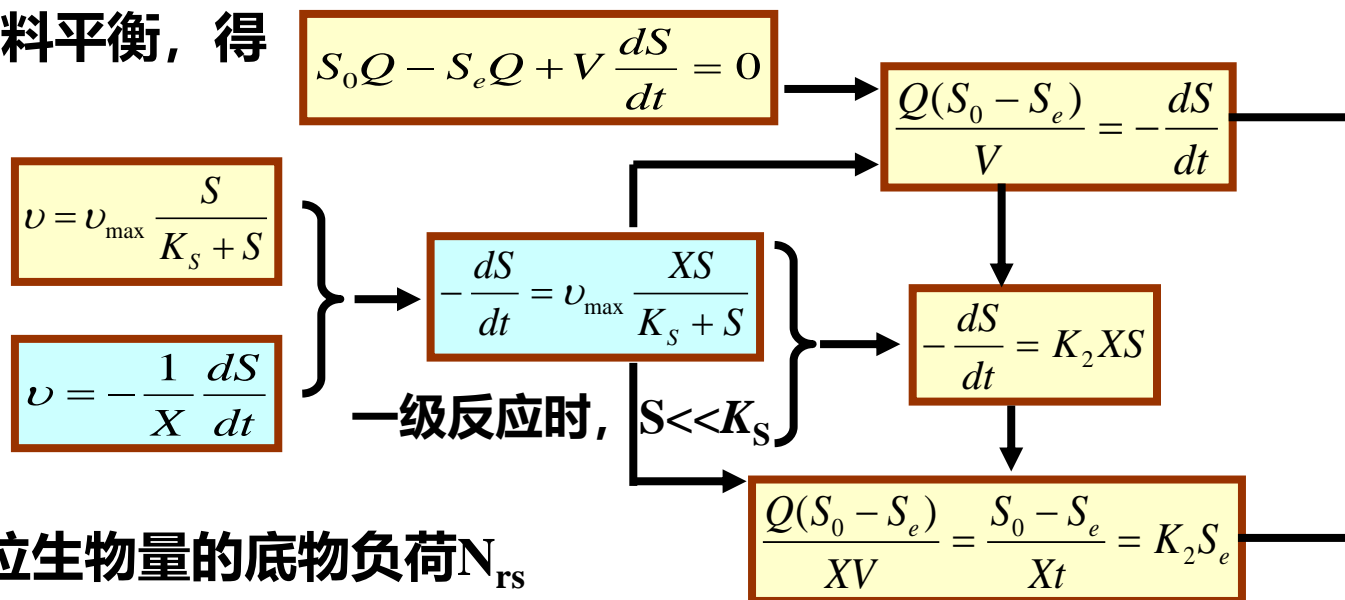
微生物增殖速率与底物浓度关系图

## 6.5 微生物生长与降解特性

### 米 - 门方程动力学参数的确定

➤ **米 - 门方程** (参数 $K_S$ ,  $v_{max}=K_1$ ,  $K_2=v_{max}/K_S$ )

由物料平衡, 得



单位生物量的底物负荷 $N_{rs}$

$$N_{rs} = \frac{Q(S_0 - S_e)}{XV} = \frac{S_0 - S_e}{Xt} = K_2S_e = v_{max} \frac{S_e}{K_S + S_e}$$

图解法求解参数 $K_S$ ,  $v_{max}=K_1$ ,  $K_2=v_{max}/K_S$

# 6.5 微生物生长与降解特性

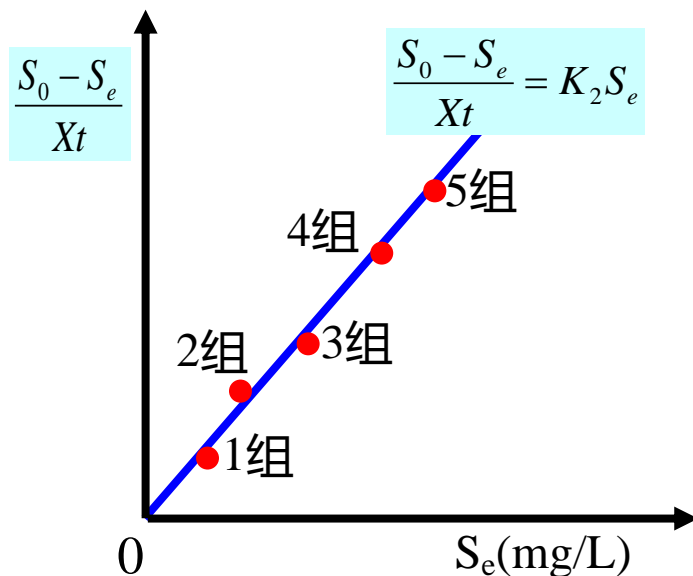
## 米 - 门方程动力学参数的确定

➤ 米 - 门方程 (图解法求解参数  $K_S$ ,  $v_{max}=K_1$ ,  $K_2=v_{max}/K_S$ )

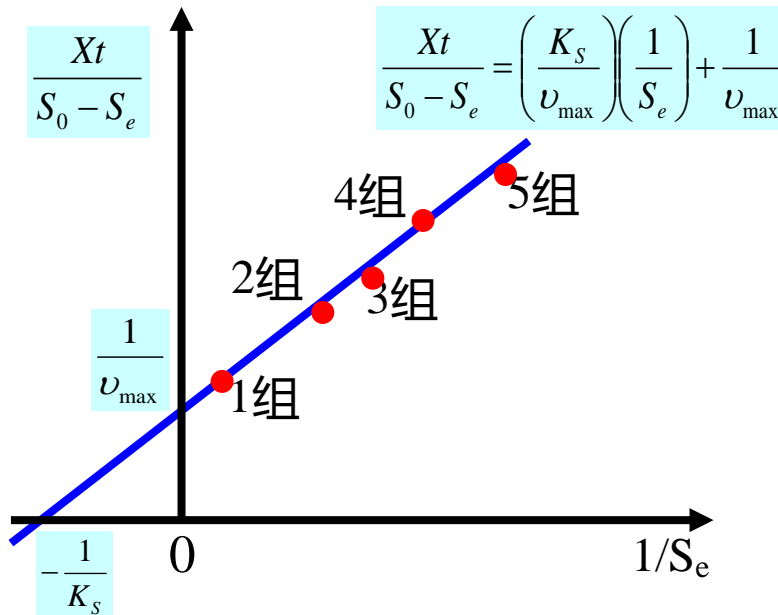
$$N_{rs} = \frac{Q(S_0 - S_e)}{XV} = \frac{S_0 - S_e}{Xt} = \frac{K_2 S_e}{v_{max} (K_S + S_e)}$$

取倒数

$$\frac{Xt}{S_0 - S_e} = \left( \frac{K_S}{v_{max}} \right) \left( \frac{1}{S_e} \right) + \frac{1}{v_{max}}$$



图解法确定  $K_2$  值



图解法求  $K_1=v_{max}$ ,  $K_S$  值

## 6.5 微生物生长与降解特性

### 微生物净增殖方程提出及参数确定

微生物比增长速率与底物比降解速率的关系式

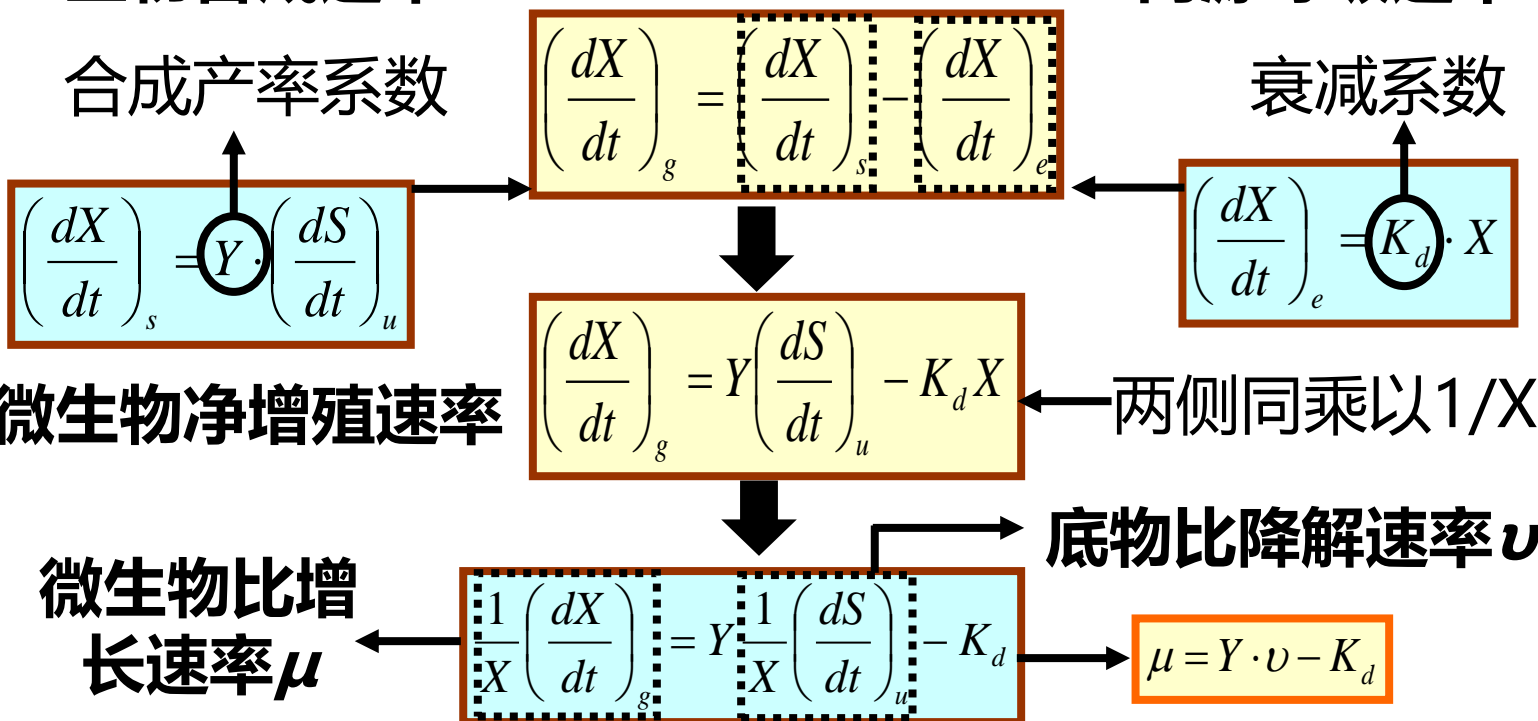
微生物净增殖速率为生物合成速率减去内源呼吸速率

生物合成速率

内源呼吸速率

合成产率系数

衰减系数



### 微生物净增殖方程提出及参数确定

讨论：

$$\mu = Y \cdot v - K_d$$

微生物比增长速率高即对数增长期时,  $\mu \gg K_d$ , 即

$$Yv \gg K_d, \quad v \gg K_d/Y,$$

即：底物降解速率 $\gg$ 内源呼吸速率；

微生物比增长速率 $\mu$ 降低时,  $Yv \rightarrow K_d, v \rightarrow K_d/Y$ ,

微生物利用底物大部分用以维持生命活动, 而非用于微生物增长。

# 6.5 微生物生长与降解特性

## 微生物净增殖方程提出及参数确定

已知  $\frac{Q(S_0 - S_e)}{V} = -\frac{dS}{dt}$   $\rightarrow$   $\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = Y\left(\frac{dS}{dt}\right)_u - K_d X$

每日微生物净增殖量

$\Delta X = YQ(S_0 - S_e) - K_d VX$   $\leftarrow$   $\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = Y \frac{Q(S_0 - S_e)}{V} - K_d X$   $\leftarrow$  两侧同乘以V

两侧同除以XV

污泥龄 $\theta_c$ 倒数  $\leftarrow \frac{\Delta X}{XV} = Y \frac{Q(S_0 - S_e)}{XV} - K_d$   $\leftarrow$  污泥负荷率 $N_{rs}$

$\frac{1}{\theta_c} = Y \cdot N_{rs} - K_d$

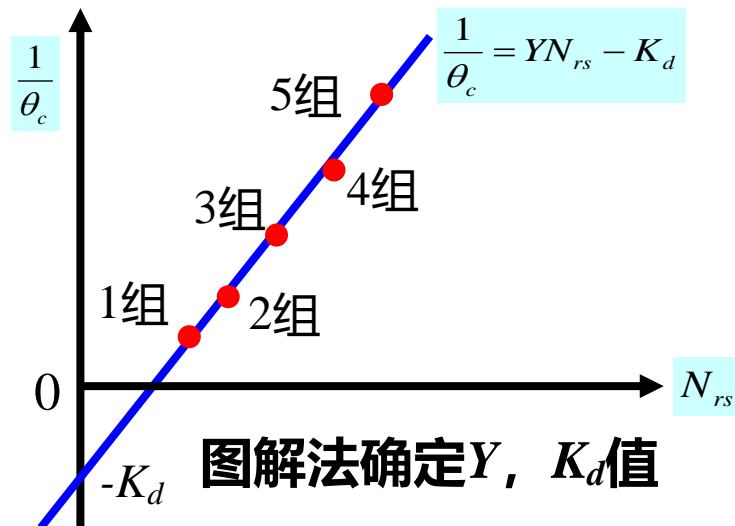
表观产率 $Y_{obs}$

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

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

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

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



1. TS、DS、SS、BOD、COD、OC、TOC、TOD、氨氮、总氮、总凯氏氮的定义分别是什么？
2.  $BOD_{20}$ 、 $BOD_5$ 、COD、OC按从大到小的顺序该如何排？为什么？
3. 何谓水体自净？
4. 氧垂曲线的工程意义是什么？
5. 水体自净过程中溶解氧的变化规律是什么？
6. 何为好氧生物处理？何为厌氧生物处理？其主要异同点如何？
7. 大分子有机物好氧和厌氧降解机制是什么？好氧、厌氧生物处理分为几个阶段？水解和酵解有何区别？
8. 简述生物脱氮的基本原理。注意微生物的种类、脱氮的步骤和脱氮的条件。
9. 简述生物除磷的基本原理。注意有机物的作用。
10. 废水的可生物处理性与污染物的可降解性有何区别？

11. 评价污染物好氧可生物降解性的方法有哪几种？评价污染物厌氧可生物降解性的方法有哪几种？
12. 影响废水可生物处理性的主要因素是什么？如何评价废水的可生物处理性？
13. 微生物按营养类型分为哪几种？按呼吸类型分为哪几种？厌氧呼吸中的分子内呼吸与分子外呼吸有何不同？
14. 微生物生长曲线分为几个阶段？每个阶段的特征是什么？在废水生物处理中，控制底物量 $F$ 与微生物量 $M$ 的比值（ $F:M$ ）的意义何在？
15. 米门方程式和莫诺方程式的含义是什么？动力学参数 $v_{max}$ 、 $\mu_{max}$ 、 $K_s$ 、 $K's$ 的含义是什么？
16. 微生物比增长速率与微生物比降解速率的关系是什么？