



# 微生物在污染治理中的应用

同济大学生命科学与技术学院

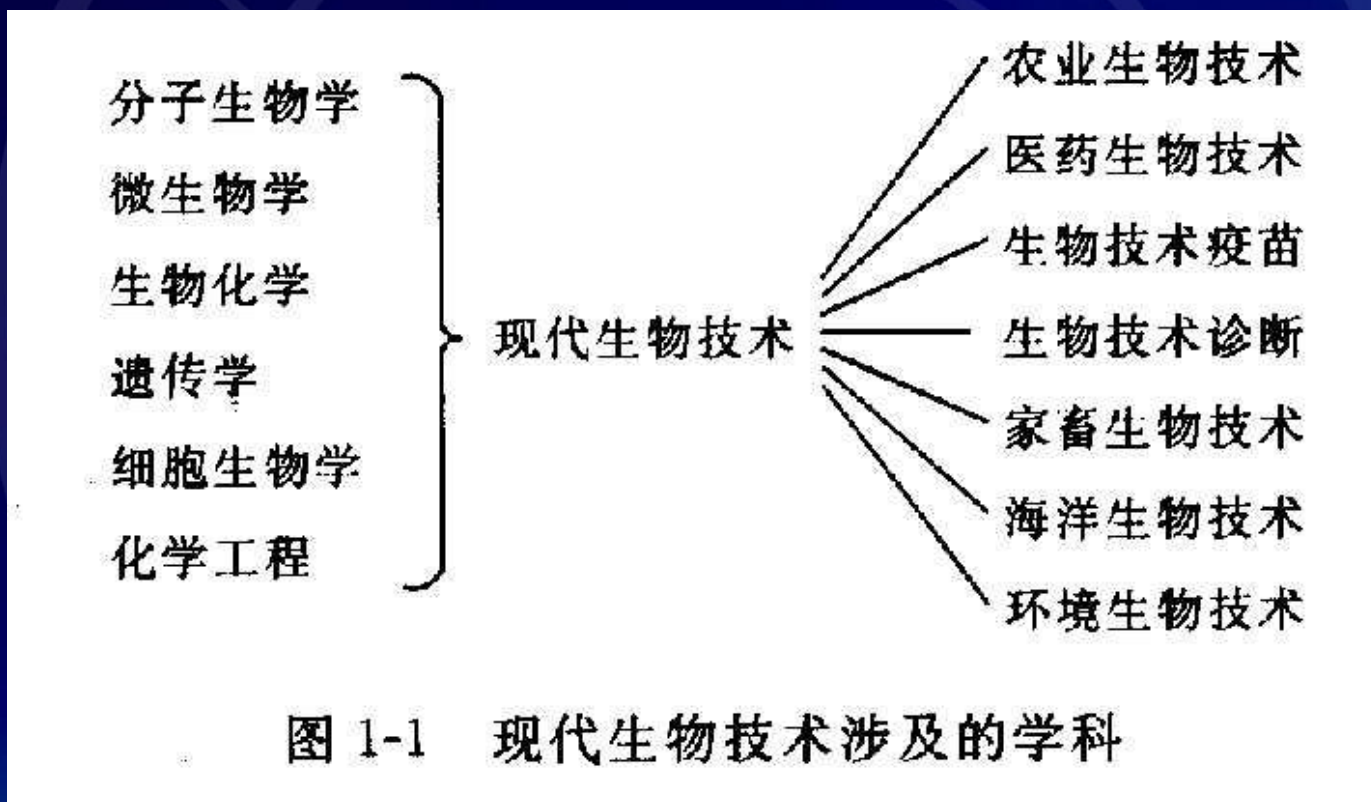
曾新平

电话：13818817178

电子信箱：[zengxp@tongji.edu.cn](mailto:zengxp@tongji.edu.cn)

2023年5月25日 Thursday

现代生物技术是以DNA重组技术的建立为标志的，已是一门多学科纵横交叉的新兴和综合性技术。



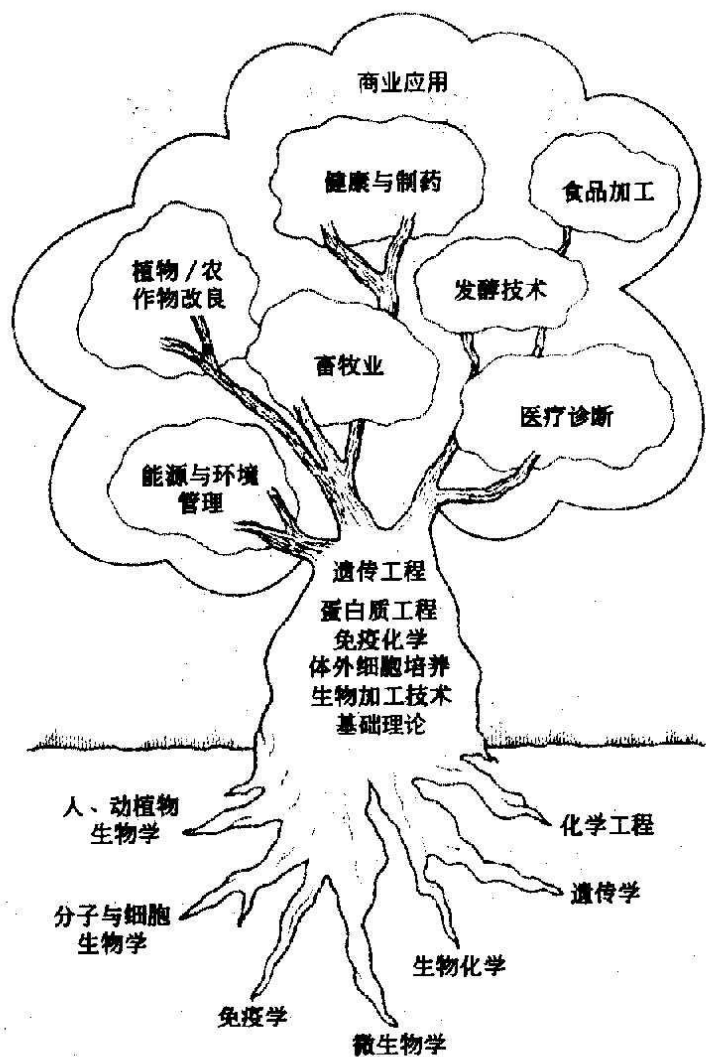


图 1-2 生物技术树形图



# 教 学 内 容 及 安 排

废水生物处理基本概念

水体自净与微生物在水体自净中的作用

工程菌的遗传改造

活性污泥法

生物膜法





## 参考资料

1. 王建龙, 文湘华编著, 现代环境生物技术, 清华大学出版社, 2021 (第三版)
2. 王建龙, 文湘华等译, 环境生物技术原理与应用, 清华大学出版社, 2016



大学环境教育丛书

翻译版

Bruce E. Rittmann Perry L. McCarty

**Environmental Biotechnology**  
**Principles and Applications**

**环境生物技术**  
**原理与应用**

文湘华 王建龙 等 译



清华大学出版社



# 第二章 生物处理的基本概念及微生物的生长规律

## 第一节 概述

- 1.1 水质指标
- 1.2 废水中污染物与废水性质
- 1.3 水处理方法分类

## 第二节 微生物生长的影响及其规律

- 2.1 微生物学概要
- 2.2 微生物的新陈代谢和底物降解
- 2.3 微生物营养
- 2.4 废水的好氧生物处理和厌氧生物处理
- 2.5 微生物的生长规律
- 2.6 环境对微生物的影响
- 2.7 生化反应的动力学方程及其应用

# 第一节 概 述

## 1.1 水质指标

### 1.1.1 物理性质

- ◆ 温度
- ◆ 浊度
- ◆ 色度（两种表示方法）
- ◆ 电导率
- ◆ 氧化还原电位
- ◆ 固体含量
  - 总固体TS、悬浮固体SS、挥发性悬浮固体VSS，可生物降解的BVSS、溶解固体TDS



# 物理指标的监测

## 1. 浊度

### ◆ 浊度

- 悬浮物、胶体物质对光线透过时所产生的阻碍程度
- 影响因素

### ◆ 浊度表示法

- 二氧化硅（高岭土）
- 甲贍聚合物浊度标准液

1.25mg硫酸胍/L和12.5mg六次甲基四胺/L形成甲贍聚合物为1度，测定结果单位FTU。

原理：透射光测定法、散射光测定法、表面散射测定法和透射光－散射光测定法。

表 16.3-2 几种油度仪比较

仪器类型	测定范围, 度	色度影响	线 性	特 点
透射光	0~2    0~1000	大	差	$T \propto k - \lg I_1$
散射光	0~2    0~30	大	好	$T \propto I_1$
表面散射	0~1    0~1000	中	好	$T \propto I_1$
透射光-散射光	0~2    0~20	小	好	$T \propto I_1/I_2$

注：T：浊度； $I_1$ ：散射光光强； $I_2$ ：入射光光强。

## 2. 色度

### ◆ 色度

- 表征水和废水的颜色，指去除浊度后的颜色

### ◆ 原理

- 三个特殊的三激励滤光器与专用光源和光电池相结合
- 水样的三激励光透过百分比用三个滤光器分别测定
- 透过值换算成三色系数颜色的特征值

### ◆ 仪器

- 色温为3000° C的钨灯、1cm比色皿、三激励滤光器

### 3. 电导率

#### ◆电导率

- 水溶液传导电流的能力
- 水中盐含量的相对指标, $\mu\text{s}/\text{cm}$ 或 $\text{ms}/\text{m}$

#### ◆应用

- 蒸馏水和去离子水的纯度
- 水体被矿化物污染程度的指标



## ◆原理

- 物体电阻不仅取决于其固有的导电能力，也与其形状、大小有关

$$R=r \cdot L/S=1/K \cdot C$$

式中R为电阻， $\Omega$ ；r为电阻率， $\Omega \cdot \text{cm}$ ；K为电导率， $\text{s/cm}$

## ◆仪器

- 测定电导基本方法为电桥平衡法
- 电导率仪：交流电源、惠斯登电桥、零位指示器、电导池、放大器

## 4. 悬浮物测定

### ◆悬浮物

- 水样在标准膜( $0.45\mu\text{m}$ )过滤后，截留在滤膜上的物质在  $103-105^{\circ}\text{C}$  烘干，冷却后恒重

### ◆悬浮物测定仪原理

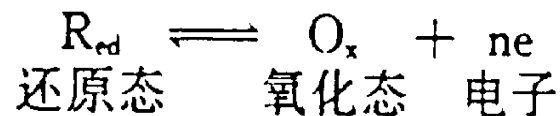
- 光线射入水样，测定透射光和散射光强度换算到悬浮物浓度

### ◆影响因素

- 悬浮物颗粒的大小、水样着色程度

## 5. 氧化还原电位

对于只有一个氧化还原电对的体系，其氧化还原反应可表示为：



该体系的氧化还原电位可用能斯特方程式表示。

$$E = E_{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[O_{\text{x}}]}{[R_{\text{ed}}]} = E_{\circ} + 2.303 \frac{RT}{nF} \lg \frac{[O_{\text{x}}]}{[R_{\text{ed}}]}$$

式中  $E_{\circ}$ ——标准氧化还原电位，mV；

$n$ ——参加反应的电子数；

$R$ ——气体常数，8.3144J/ (K · mol)；

$T$ ——热力学温度，K；

$F$ ——法拉第常数 (96490C/mol)。

### ◆ 仪器

➤ 贵金属作正极，甘汞电极作负极，测量仪器用毫伏计或pH计

## 1.1.2化学性质

无机物和有机物

有机物包括溶解的和非溶解的，又分为生物降解的和难生物降解的

USEPA1977年提出65类129种优先控制污染物, 114种是有机化合物

21 种杀虫剂	26 种卤代脂肪烃	7种卤代醚
12种单环芳烃 16 种多环芳烃	8 种多氯联苯	11 种酚



## ◆ 有机物指标

➤  $BOD_5$ 、 $COD_{cr}$ 、 $COD_{Mn}$  (OC)、TOD、TOC

➤ 一般废水： $TOD > COD_{cr} > BOD_5 > COD_{Mn}$

➤ 生活污水  $B / C = 0.4 - 0.44$ ,

$B / T = 1.35 - 1.40$ ,

$C / T = 3.13 - 3.45$

➤ 含氮化合物（总氮TN、总凯氏氮TKN、氨氮 $NH_3-N$ ）

➤ 含磷化合物、酚类、苯类等其他有机物

# 有机物的分析

## 1. COD测定

### ◆COD

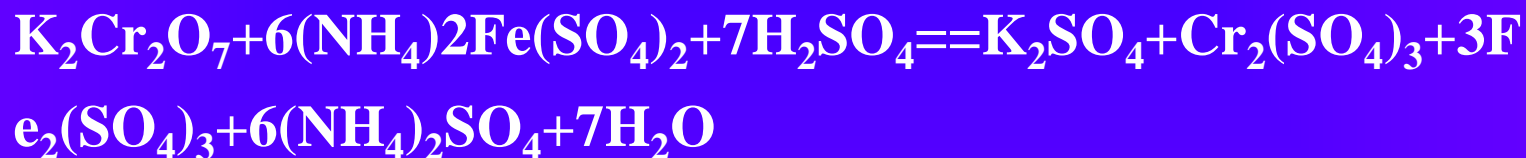
- 用氧化剂氧化水样中无机还原性物质及部分或全部有机物所消耗的氧化剂量，相对应的氧的质量浓度
- 还原性物质主要是有机物

### ◆COD仪器分类

- 分光光度计测定COD的仪器
- 电化学法测定COD的仪器

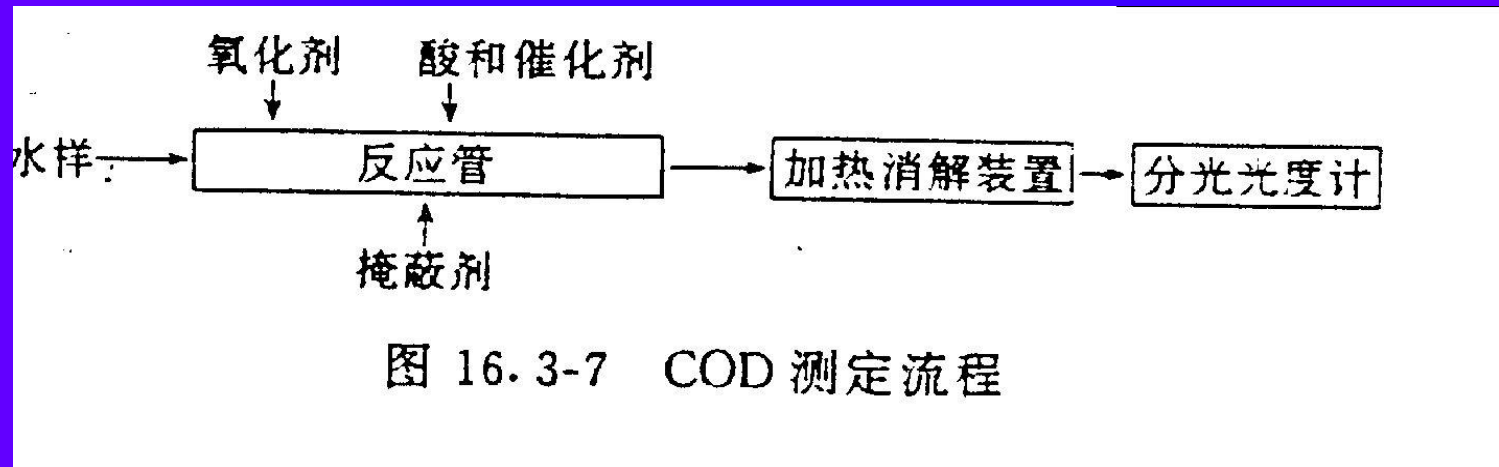
# COD测试的原理

- 在强酸性溶液中，一定量的重铬酸钾氧化水样中还原性物质，过量的重铬酸钾以试亚铁灵作指示剂、用硫酸亚铁铵溶液回滴。根据用量计算出水样中还原性物质消耗氧的量。



- 在一定条件下，经重铬酸钾氧化处理，水样中的溶解性物质和悬浮物所消耗的重铬酸钾，相对应氧的质量浓度。

◆基于分光光度法的COD测定仪测定流程如图



➤影响因素



## ◆恒电流库仑滴定COD测定仪如图所示

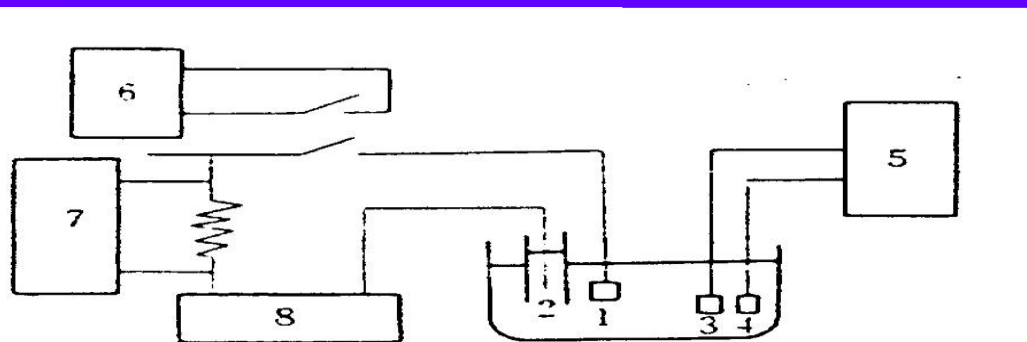


图 16. 3-8 恒电流滴定 COD  
仪系统图

- 1—作用电极；2—对极（隔离）；  
3、4—指示电极；5—指示计终点；  
6—计时装置；7—电位计；  
8—恒电流电源

**原理：**在试液中加入适当物质，以一定强度的恒定电流进行电解，使之在工作电极（阳极或阴极）上电解产生一种试剂（称**滴定剂**），该试剂与被测物质进行定量反应，反应终点可通过电化学等方法指示。**依据电解消耗的电量和法拉第电解定律可计算被测物质的含量。**

**要点：**在空白溶液(蒸馏水加硫酸)和样品溶液(水样加硫酸)中加入同量的重铬酸钾溶液，分别进行回流消解**15分钟**，**冷却后各加入等量的、硫酸铁溶液**，于搅拌状态下进行库仑电解滴定，即 **$\text{Fe}^{3+}$ 在工作阴极上还原为 $\text{Fe}^{2+}$  (滴定剂)**去滴定(还原) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 。

库仑滴定空白溶液中 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 得到的结果为加入重铬酸钾的总氧化量(以 $\text{O}_2$ 计)；  
库仑滴定样品溶液中 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 得到的结果为剩余重铬酸钾的氧化量(以 $\text{O}_2$ 计)。

- 电极系统：两对
  - ❖ 以铂为指示电极，以钨丝内充饱和硫酸锂为参比电极
  - ❖ 铂工作电极，以铂丝内充以 $3\text{mol/L}$ 硫酸为辅助电极

## 2. BOD测定

### ◆ BOD

- 微生物分解水中的某些可氧化物质，特别是有机物所进行的生物化学过程中消耗溶解氧的量
- 地面水水质标准（I类-V类） $< 3-10\text{mg/L}$

## ◆ 仪器法测定BOD类型

- 压力法：测量密封系统中由氧量减少引起的气压变化
- 电量法：在密封系统中，氧的减少由电解来补给，从电解需要的电量求得BOD值
- 电极法：用微生物传感器测定BOD



# ◆压差式 BOD 测定仪

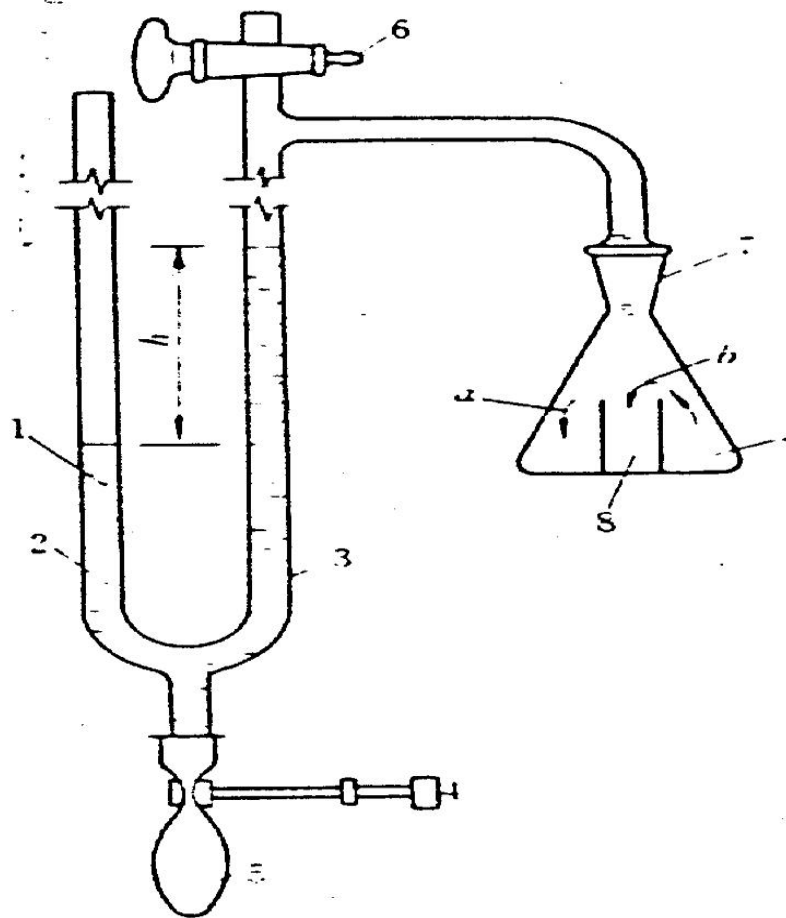
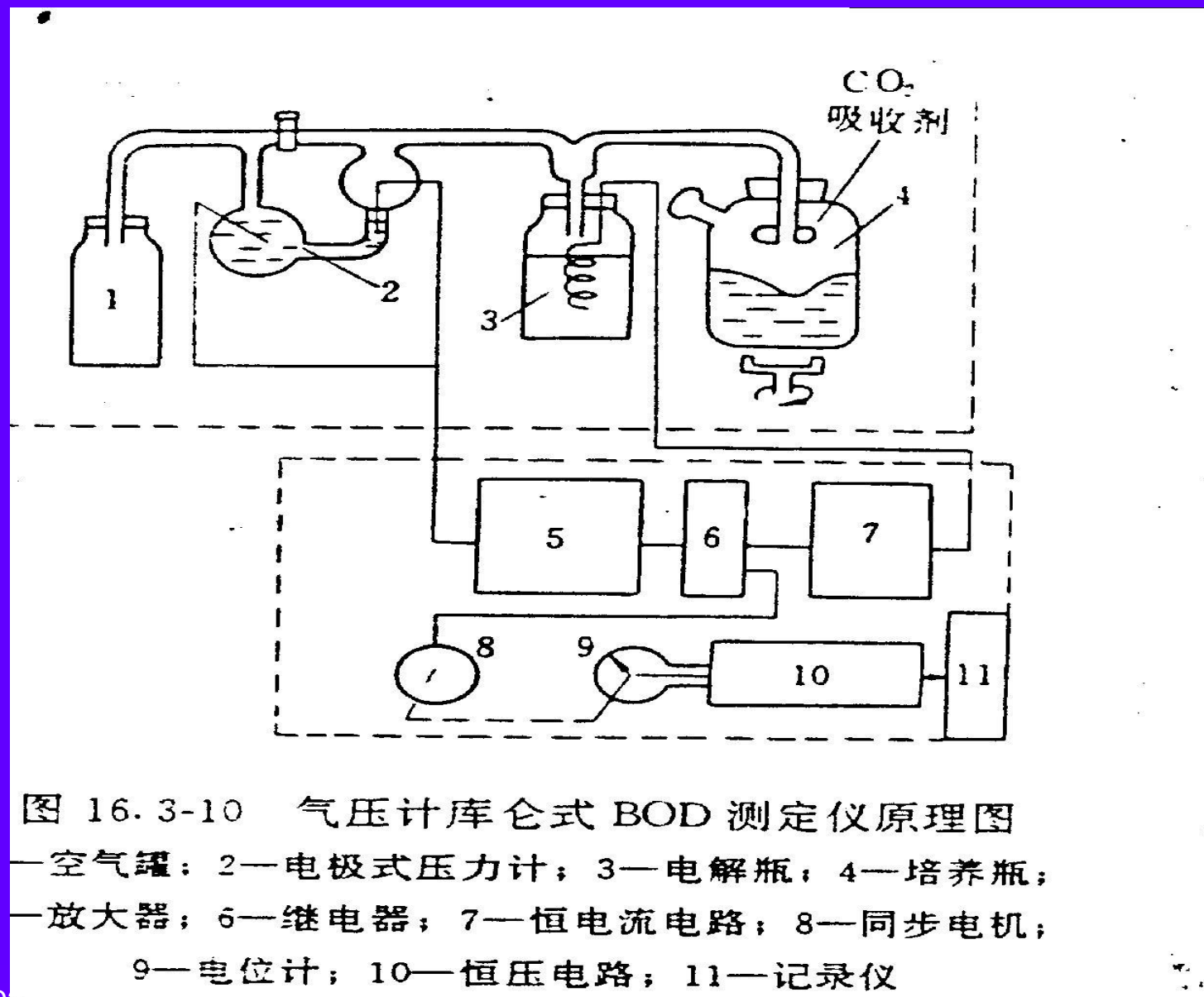


图 16.3-9 压差式 BOD 测定仪示意图

- 1—压力计内液体；2—外管；  
3—内管；4—螺丝夹；5—储液器；  
6—三通旋塞；7—反应瓶；  
8—装置 KOH 的中心槽  
a—消耗氧；b—放出 CO<sub>2</sub>；  
c—培养基或酶

## ◆气压计库仑式BOD测定仪



# 工作原理

- ◆ 装在培养瓶中的水样用电磁搅拌器进行搅拌。
- ◆ 当水样中的溶解氧因微生物降解有机物被消耗时，则培养瓶内空间中的氧溶解进入水样，生成的二氧化碳从水中选出被置于瓶内的吸附剂吸收，使瓶内的氧分压和总气压下降。
- ◆ 用电极式压力计检出下降量，并转换成电信号，经放大送入继电器电路接通恒流电源及同步电机，电解瓶内(装有中性硫酸铜溶液和电解电极)便自动电解产生氧气供给培养瓶，待瓶内气压回升至原压力时，继电器断开，电解电极和同步电机停止工作。
- ◆ 此过程反复进行使培养瓶内空间始终保持恒压状态。根据法拉第定律；由恒电流电解所消耗的电量便可计算耗氧量。仪器能自动显示测定结果，记录生化需氧量曲线。

## ◆ 微生物传感器

测定水中BOD的微生物传感器是由**氧电极和微生物**菌膜构成，其原理是当含有**饱和溶解氧**的样品进入流通池中与微生物传感器接触，样品中溶解性可生化降解的有机物受到微生物菌膜中菌种的作用，**而消耗一定量的氧，使扩散到氧电极表面上氧的质量减少。**

当样品中可生化降解的有机物向菌膜扩散速度(质量)达到恒定时，此时扩散到氧电极表面上氧的质量也达到恒定，因此产生一个**恒定电流**。由于**恒定电流的差值与氧的减少量存在定量关系**，据此可换算出样品中生化需氧量。

# 3. TOC测定

## ◆ TOC

- 表征含碳有机污染物污染程度

## ◆ 原理

- 水样中的有机物催化燃烧或湿法化学氧化后生成二氧化碳，利用非分散红外检测器测定二氧化碳

## ◆ 测定方法

- 催化燃烧氧化
- 湿法化学氧化

## ◆ 催化燃烧氧化法的TOC测定仪系统流程

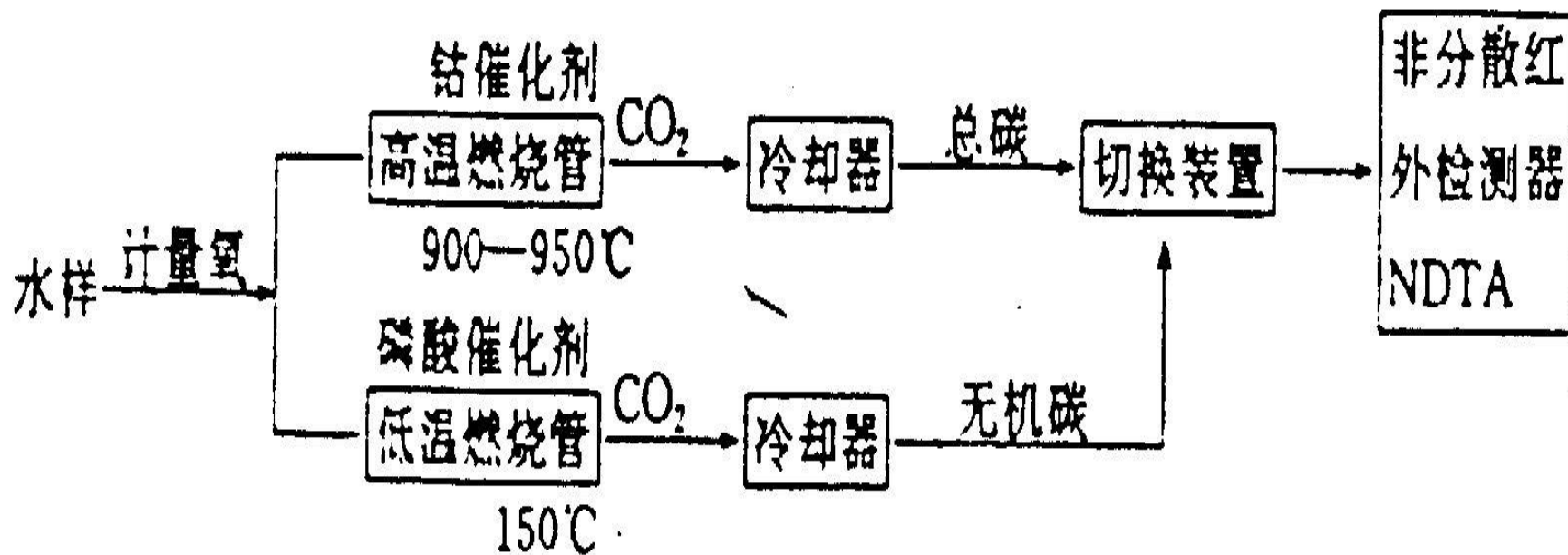


图 16.3-12 TOC 测定仪系统流程

## ◆ 湿化化学氧化法

- 总碳：紫外/过硫酸盐于95°C氧化分解处理水样
- 总无机碳：水样酸化至pH小于或等于2，样品中碳酸盐生成二氧化碳

## 4. TOD测定

### ◆ TOD

- 水中能被氧化的物质，如有机碳氢化合物、含硫、含氮、含磷等化合物燃烧生成稳定的氧化物所需氧量

### ◆ 测定仪

- 氧透过装置、高温电炉、氧检测器和数据处理系统



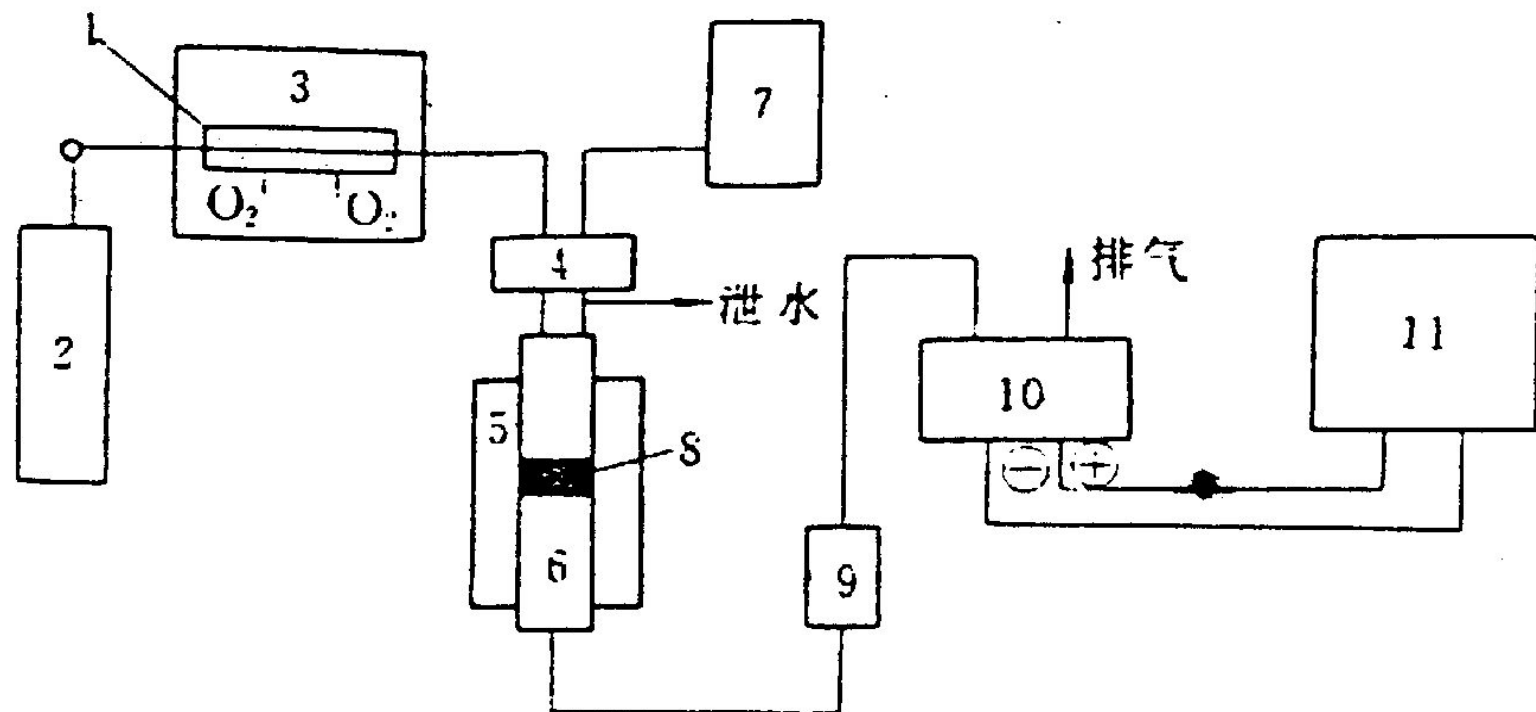


图 16.3-13 TOD 测定仪系统图

1—硅橡胶贮器；2—氮气瓶；3—恒温室（40℃）；

4—样品计量阀；5—电炉（900~950℃）；6—燃烧管；

7—水样储器；8—铂网；9—洗净器；10—氧气检测器；11—记录仪

# 测试原理

- 将少量水样与含一定氧气的惰性气体(氮气)一起送入装有铂催化剂的高温燃烧管中(900℃)，水样中的还原性物质在900℃温度下被瞬间燃烧氧化，测定惰性气体中氧气的浓度，根据氧的减少量求得水样的TOD值。

## ◆ 无机指标

- 金属及其化合物、盐、酸、碱、PH值、碱度（氢氧化物碱度、碳酸盐碱度和重碳酸盐碱度）、硫酸盐、氯化物、氰化物、重金属

### 1.1.3 生物指标

- ◆ 细菌总数： 医院排放污水<500个/毫升；生活饮用水<100个/毫升
- ◆ 大肠菌群数（卫生学指标）： 生活饮用水<3个/升

# 1.2 废水中污染物与废水性质

## 1.2.1 污染物类型及性质

### 1、污染物在水中的形态

- 1) 无机悬固体
- 2) 浮游生物
- 3) 微生物
- 4) 胶体
- 5) 低分子化合物
- 6) 无机离子
- 7) 溶解性气体

## 2、污染物按危害特征分类

◆好氧有机物

◆难降解有机物：有机氯、有机胺、有机重金属及多环有机物

◆植物性营养物：使水体富营养化

◆重金属：不降解，低浓度时有毒性

◆无机悬浮物

◆放射性污染物

◆石油类

◆酸碱、热污染、病原体

## 1.2.2 有机物的生物降解性

### 1、生物降解的含义

◆ 指在微生物的作用下，使物质改变原有的物理、化学性质，在物质结构上引起变化的程度，可分为：

- 初级降解
- 环境可接受的降解
- 完全降解

## 2、有机污染物的生物降解

- ◆能够生物降解的有机污染物
- ◆能够生物降解，但有毒害的有机污染物
- ◆难于生物降解的，但对微生物无毒害的有机污染物
- ◆难于生物降解的，同时对微生物有毒害的有机污染物

## 1.2.3 废水的可生化性

### 1、B / C比

- ◆ 初步评介废水的可生化性
- ◆  $BOD_5/COD$  越大，表示生化需氧量在总的耗氧量中占的比例越大，则废水中能生化的污染物越多，越容易用生化法处理，即“可生化性”越好
- ◆  $BOD_5/COD$  数值不是绝对的，各人的看法也有所不同



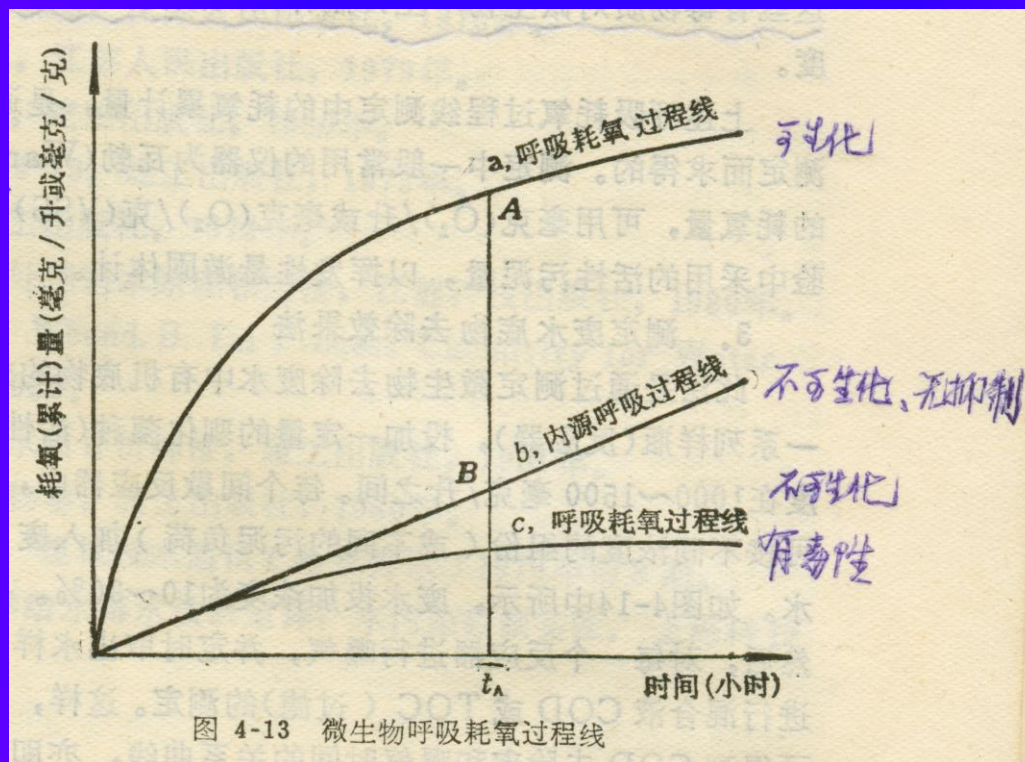
## 一般

- $BOD_5/COD \geq 0.4$  可生化性较好，适合于用生化处理
- $BOD_5/COD = 0.3-0.4$  可生化性一般，可以用生化处理
- $BOD_5/COD = 0.2-0.3$  可生化性较差，需驯化后用生化处理
- $BOD_5/COD < 0.2$  可生化性很差，不适合于用生化处理

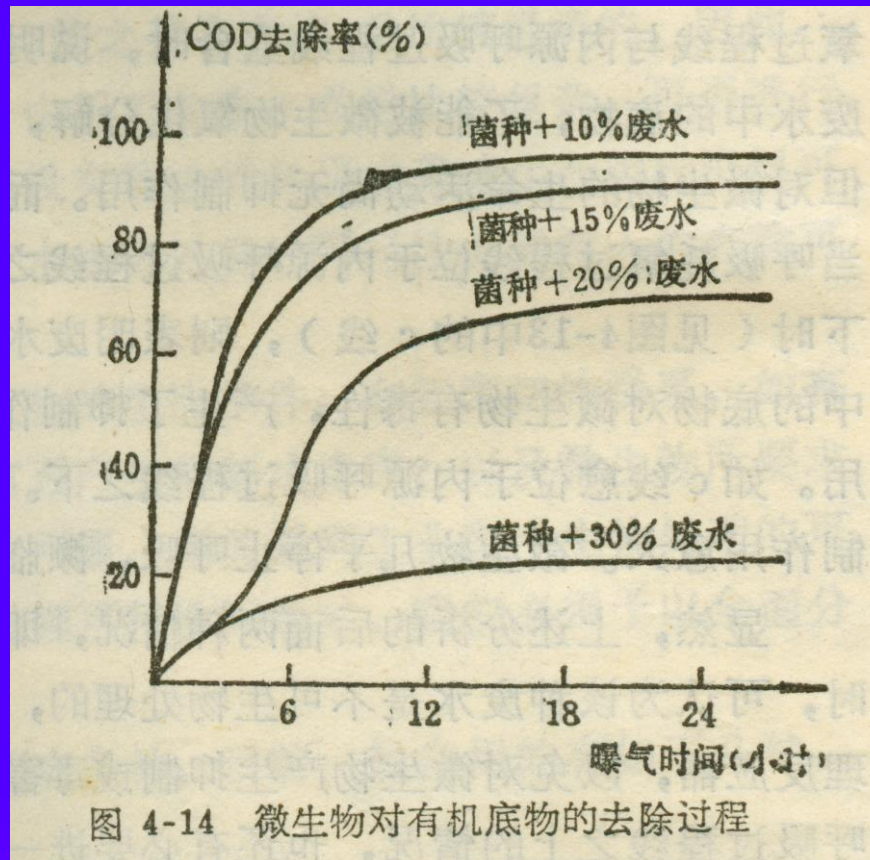
这种方法并不十分准确，影响的因素较多

## 2、测定微生物呼吸耗氧过程法（三种曲线）

废水中的底物与微生物接触后，微生物对底物进行代谢，同时呼吸耗氧。



### 3、测定底物（有机物）去除效果法



# 1.3 水处理方法分类

## 1.3.1 物理法

- 调节
- 均质
- 重力沉淀
- 气浮
- 离心
- 格栅
- 筛网

### 1.3.2 物化法

- 混凝沉淀
- 离子交换
- 吸附
- 过滤
- 吹脱
- 萃取
- 膜分离技术（微滤、超滤、反渗透、电渗析、液膜分离）

### 1.3.3 化学法

- 化学沉淀
- 中和
- 化学氧化、还原
- 催化氧化
- 湿式空气氧化
- 电催化氧化
- 光催化氧化等高级氧化技术

## 1.3.4 生物法

### ◆ 按供氧

- 好氧、缺氧、厌氧

### ◆ 按微生物生长方式

- 活性污泥法、生物膜法

### ◆ 按构筑物

- 自然净化、人工净化

## 第二节 废水生物处理的基本概念和生化反应动力学

◆ 动力学——研究反应速率和各种关系的学说

◆ 生化反应动力学

是研究污水生物处理中有机物降解速率和微生物增长速率的动力学模式，用数学模式将生物处理动力学过程公式化。包括

- 有机物降解动力学关系
- 微生物增长动力学关系
- 需氧量公式



# 2.1 微生物学概要

## 2.1.1 微生物学的类群与形态

### ◆ 病毒：烈性噬菌体、温和噬菌体

病毒的繁殖：吸附→侵入→生物合成→装配→释放

### ◆ 原核微生物

#### 1) 细菌：

细菌的分类

#### ➤ 球菌

单球菌

双球菌

链球菌

四联菌

八迭菌

葡萄球菌

➤ 杆菌：长杆菌、短杆菌

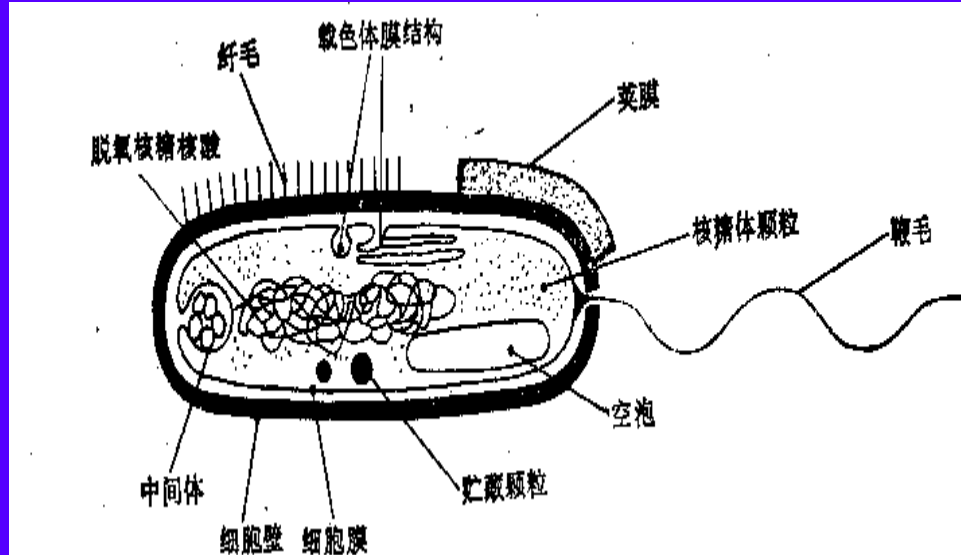
➤ 产芽孢杆菌

➤ 螺旋菌

呈螺旋弯曲状一个弯的叫弧菌

回转的叫螺菌

## 细菌的结构



①细胞壁②细胞膜③细胞核④质粒⑤核糖体⑥细胞质⑦颗粒状内含物⑧荚膜⑨鞭毛⑩芽孢

## 细菌的繁殖

核分裂→形成隔膜→横隔膜的形成→细胞分裂

(少数细菌是出芽繁殖)

2023/5/25 Thursday

## 2) 立克次氏体、支原体、衣原体(细菌与病毒之间)

### ◆ 真核微生物

霉菌、酵母菌(真菌)

藻类

进行光合作用的低等植物，利用光能、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 产生新细胞、放出氧气。

## 2.1.2 微生物的遗传与变异

- ◆ 基因突变
- ◆ 染色体畸变
- ◆ 营养缺陷
- ◆ 突变与育种过程
- ◆ 基因工程

基因分离→体外重组→载体转移→复制→表达→筛选繁殖

## 2.2 微生物的新陈代谢和底物降解

### 2.2.1 微生物代谢与底物的降解

◆ 分解代谢

◆ 合成代谢

◆ 生物体的新陈代谢体系图

污水生物处理中的新陈代谢即为污染物的分解代谢和微生物的合成代谢（含微生物的自身分解代谢—内源呼吸）

## ◆ 底物的降解

废水中可被微生物代谢的物质，经微生物利用、转化，使的原来复杂的高分子分解为简单的低分子。

被降解的物质有大部分有机物和部分无机物，称为底物或基质。

## 2.2.2 微生物的呼吸

好氧呼吸

厌氧呼吸

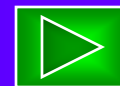
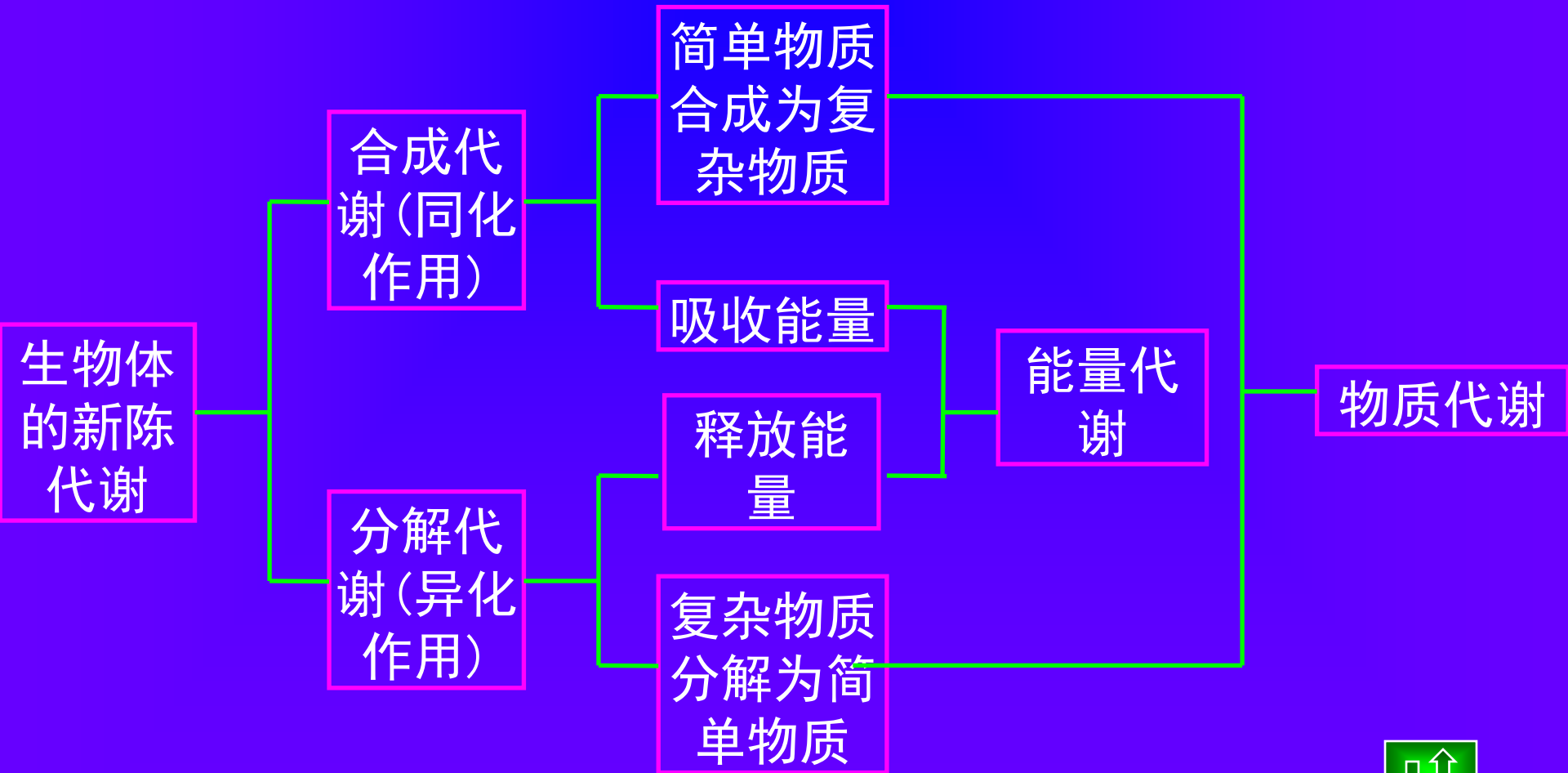


图 生物体的新陈代谢体系





## 2.3 微生物营养

### 2.3.1 微生物营养

◆ 碳源：构成微生物细胞的含碳物质和供给能量

#### 无机营养微生物

光能自养菌：CO<sub>2</sub>作碳源，利用光能生长；

化能自养菌：利用CO<sub>2</sub>、碳酸盐作碳源，能量来自无机物的氧化

#### 有机营养微生物

光能异养菌：有机物作碳源，利用光能生长

化能异养菌：利用有机物作碳源，能量来自有机物的氧化

#### 混合营养微生物

## ◆ 氮源: 提供微生物合成蛋白质的原料

固氮微生物: 能够还原分子态氮为氨态氮的微生物

利用无机氮作为氮源的微生物

需要某种氨基酸作为氮源的微生物

从分解蛋白质中取得铵盐或氨基酸的微生物

## ◆ 磷源作用

微生物细胞合成核酸、核蛋白、磷脂及其他含磷化合物的元素；  
辅酶Ⅰ、辅酶Ⅱ、辅酶A、辅羧化酶、各种磷酸腺苷等的组分；  
糖代谢磷酸化过程中起着关键作用；  
磷酸腺苷中的高能磷酸键在能量贮存和传递中的作用；  
磷酸盐是重要的缓冲剂，能调节pH；  
磷酸盐可促进巨大芽孢杆菌的芽孢发芽和发育；

**碳、氮、磷（BOD<sub>5</sub>：N：P=100：5：1）**

其它：无机盐、水、生长因子、维生素

## 2.3.2物质运输

- 扩散
- 促进扩散:与扩散相同, 但需要载体蛋白参与
- 主动运输:好氧来自呼吸能、厌氧来自化学能、光合菌来自光能
- 基团转位:通过单向性的磷酸化作用而实现的。细胞质膜对大多数磷酸化的化合物有高度的**不渗透性**。磷酸化的糖一旦形成就被截留在细胞内, 故细胞内的糖浓度比细胞外高得多。

## 2.4 废水的好氧生物处理和厌氧生物处理

### 2.4.1 好氧生物处理

#### 好氧生物处理简图

特点：

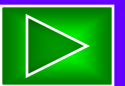
- 反应速度较快，所需时间较短，反应器容积较小
- 臭气少
- 对中低浓度的有机废水有经济合理的处理效果
- 得到广泛应用

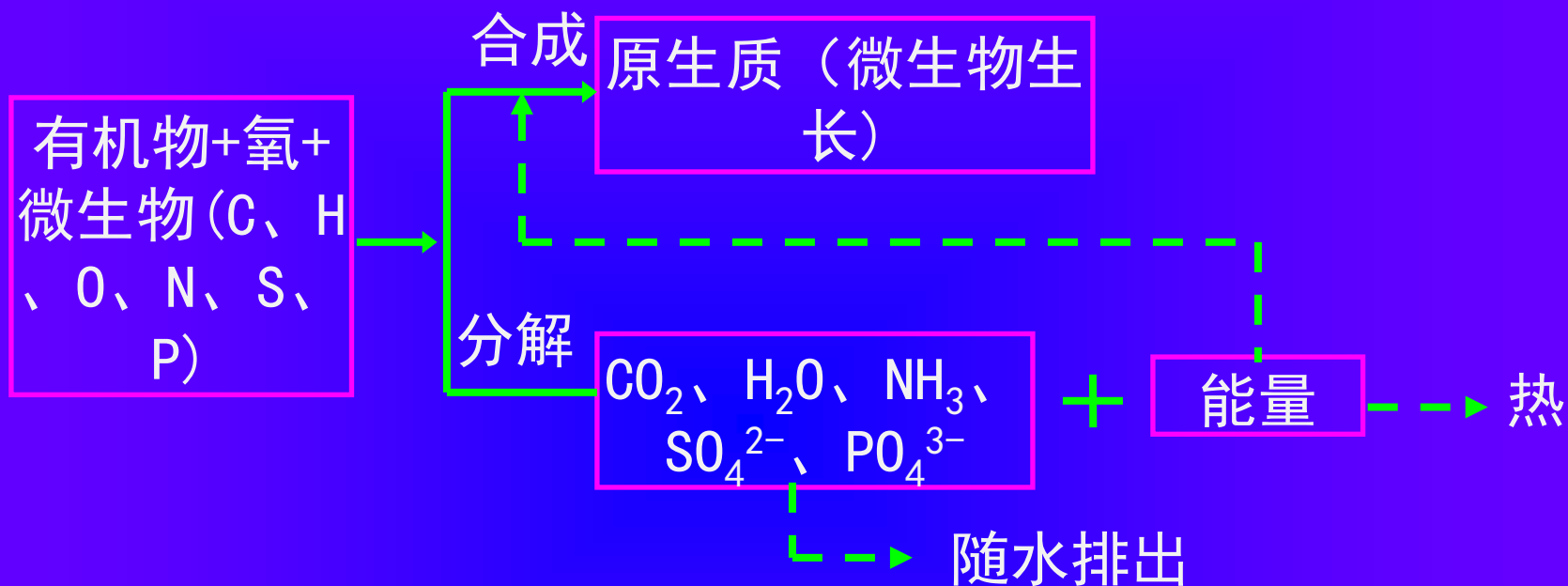
## 2.4.2 厌氧生物处理

### 厌氧生物处理简图

特点：

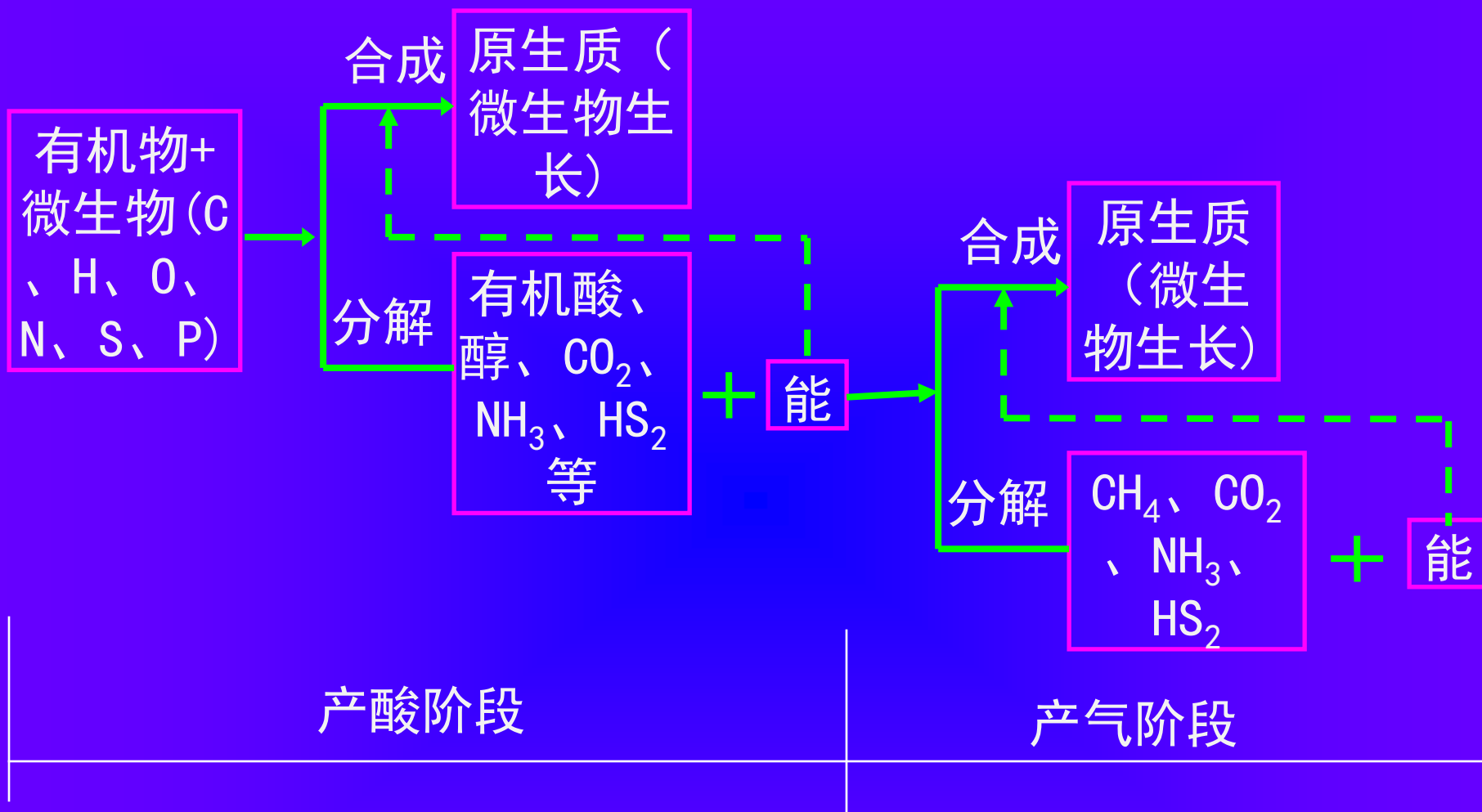
- 不需氧源，运行成本较低
- 但反应时间长，反应器容积大
- 管理要求高，一般用于高浓度有机废水和污泥处理
- 应用较少，部分技术还欠成熟





废水好氧生物处理过程示意图





废水厌氧生物处理过程示意图

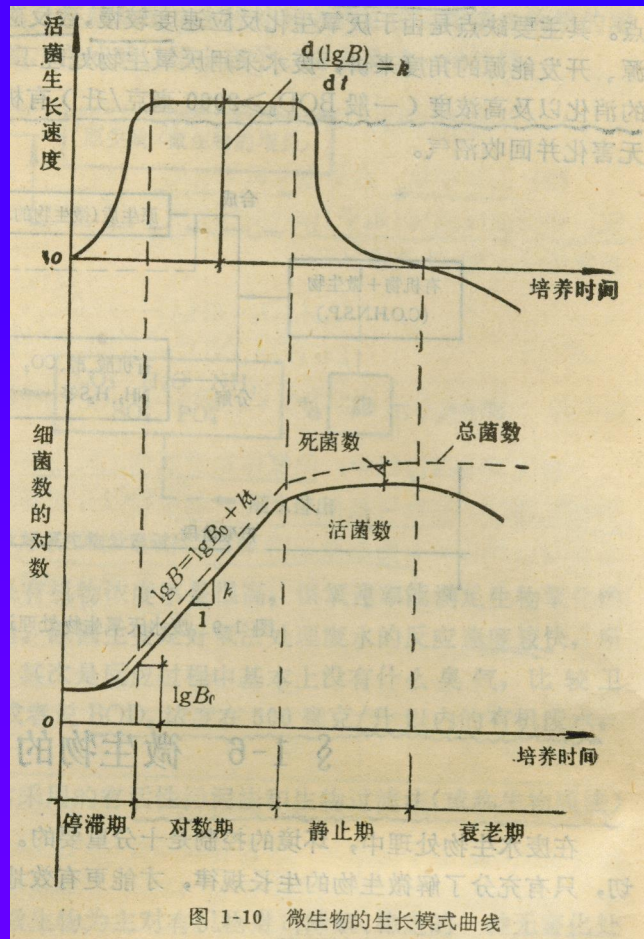




## 2.5 微生物的生长规律

### 2.5.1 微生物的生长曲线

停滞期，对数期，静止期，衰老期。



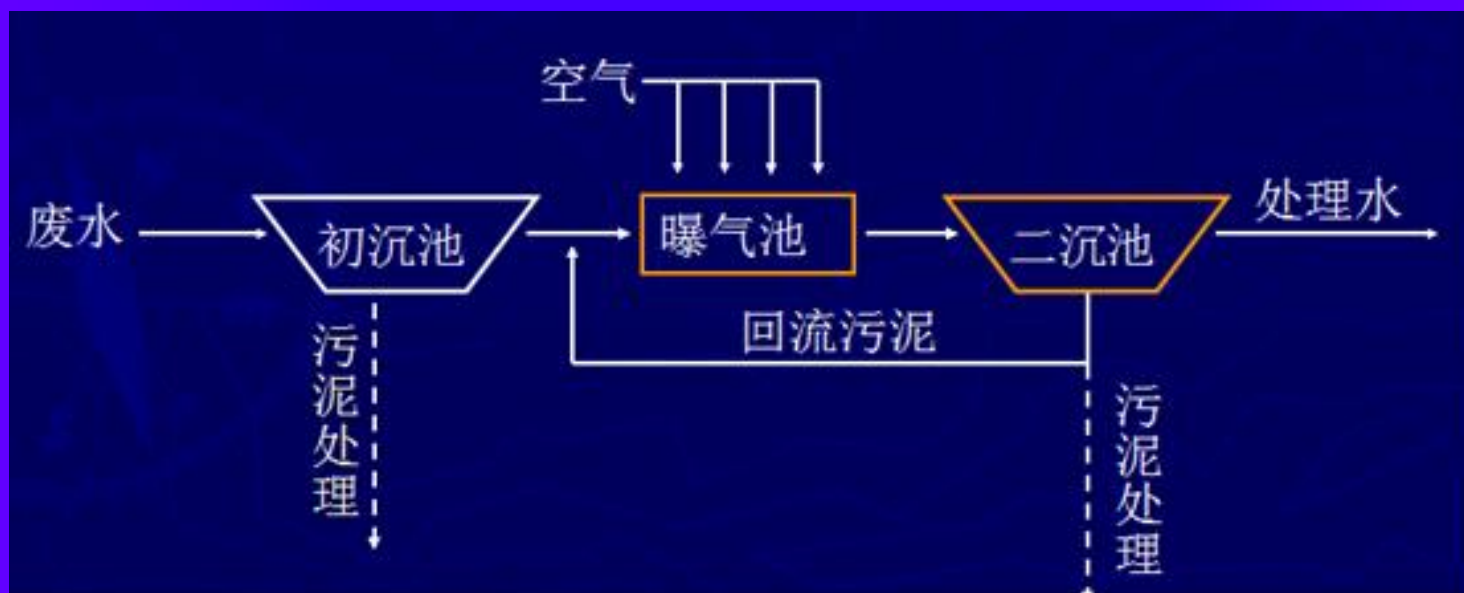
1. 停滞期：**初期**，一部分细菌适应环境，另一部分死亡，细菌总数下降。  
**末期**，存活细菌的细胞物质增加，菌体体积增大，细胞代谢能力强，细胞中RNA含量高、嗜碱性强，对不良环境条件较敏感，其呼吸速度、核酸及蛋白质的合成速度接近对数期细胞，并**开始细胞分裂**。
2. 对数增长期：营养丰富，细胞代谢力最强，合成新细胞物质的速度最快，细菌生长旺盛。**细胞数量**不但以几何级数增加，而且细胞每**分裂一次的时间间隔**最短。

3. 减速增长期：细菌生长繁殖迅速，**消耗了大量营养物质**。同时代谢产物大量积累对菌体本身产生**毒害**，pH氧化还原电位等均有所改变，溶解氧供应不足。使细菌的生长速率逐渐下降甚至到零，死亡速率渐增，进入静止期。
4. 衰亡期，细菌因**缺乏营养**而利用贮存物质进行**内源呼吸**。此期细菌**少繁殖或不繁殖**，或自溶。活菌数在一个阶段以几何级数下降。

废水处理中常种用**减速生长期或内源呼吸初期**。为什么？

对数生长期微生物生长繁殖快，代谢强，能大量去除废水中的有机物，但相应要求进水有机物浓度高，则出水有机物的**绝对值**也相应提高，不易达到排放标准；

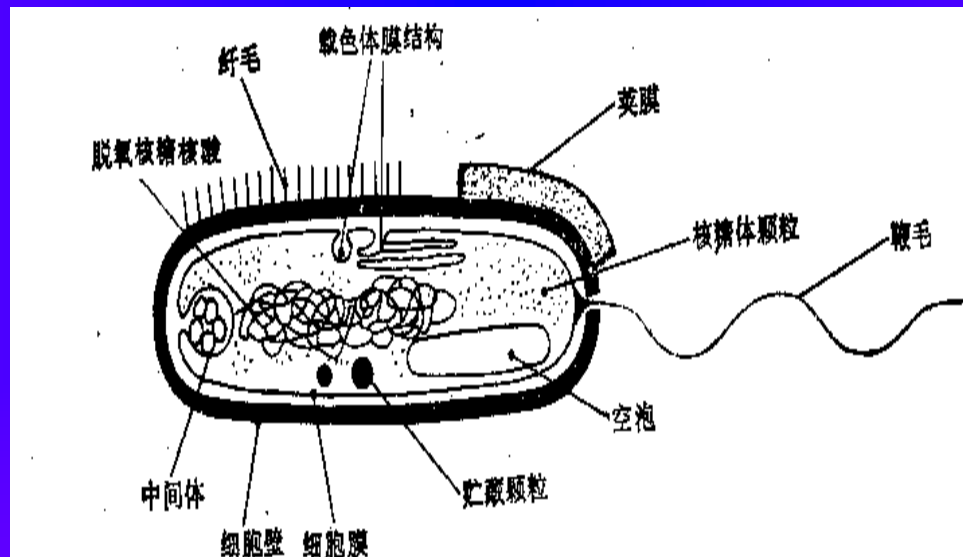
对数期的微生物生长繁殖旺盛，细胞表面的粘液层和荚膜尚未形成，不易自行**凝聚成菌胶团**，沉淀性能差，使出水水质差；



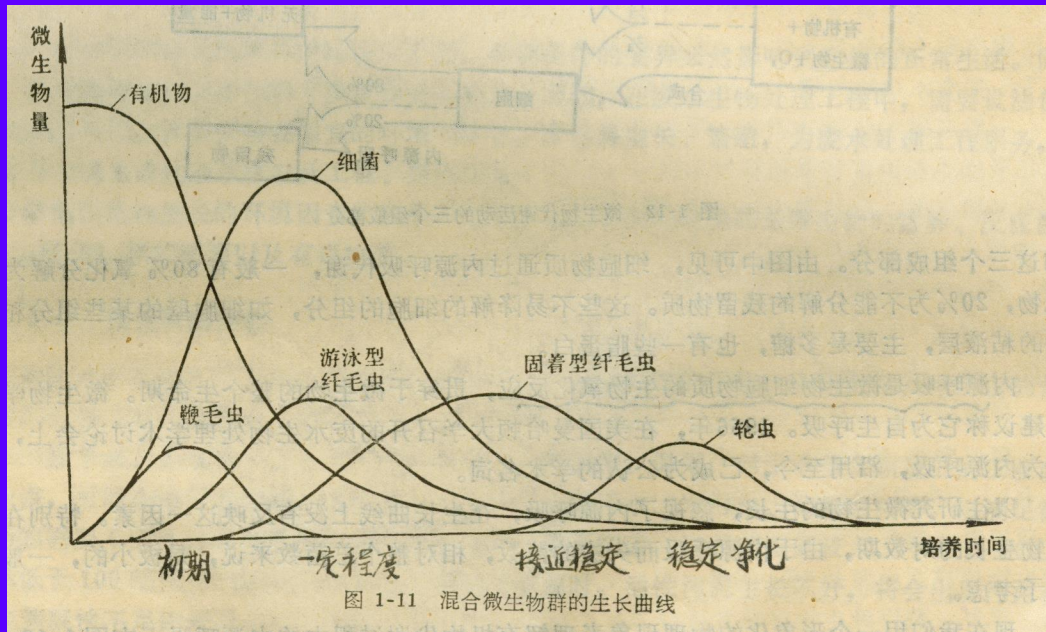
处于静止期的微生物**代谢活力**虽然比对数生长期的差，但仍有相当的代谢活力，去除有机物的效果仍然较好。

其最大特点是体内积累了大量**贮存物**，如**异染粒**，**聚 $\beta$ -羟基丁酸**、**粘液层和荚膜等**，强化了微生物的生物吸附能力，自我絮凝、聚合能力强，在二沉池中**泥水分离效果好**，出水水质好。

$F / M$ （生物负荷率）：底物量（F）与微生物量（M）的比值 $F/M$ ），控制 $F / M$ 相当于控制微生物生长期。



## 2.5.2混合微生物群的生长曲线



微生物均有自己的生长规律和曲线

- ◆ 有机物多时，细菌占优势
- ◆ 细菌多时，出现原生动物
- ◆ 细菌少时，出现以细菌及原生动物为食的后生动物
- ◆ 出现轮虫，水质已得到净化而且很稳定

## 2.6 环境对微生物的影响

### 2.6.1 营养

碳、氮、磷（BOD5：N：P=100：5：1）及无机盐

### 2.6.2 温度（最低、最适、最高）

在适宜的温度范围内，温度每升高10度，酶促反应速度提高1-2级，微生物的代谢速率和生长速率均相应提高；

嗜冷菌、嗜中温菌、嗜热菌及嗜超热菌；

废水生物处理中微生物的适宜温度在20—37度，最适温度为20—30度（厌氧有中温33—38和高温52—57度）；



### 2.6.3 PH

污水生物处理的pH宜维持在6.5-8.5，pH在6.5以下的酸性环境不利于细菌和原生动物生长，尤其对菌胶团细菌不利，反而对霉菌及酵母有利。

### 2.6.4 溶解氧

好氧微生物（专性好氧微生物和微量好氧微生物）、兼性厌氧微生物及厌氧微生物

氧对好氧微生物的作用：

- 1) 作为微生物好氧呼吸的最终电子受体；
- 2) 参与甾醇类和不饱和脂肪酸的生物合成；

**最佳4毫克 / L，不低于2毫克 / L**

专性厌氧微生物环境中绝对不能有氧，因为：

1) 有氧存在时，代谢产生的还原型辅酶 I (  $\text{NADH}_2$  ) 和  $\text{O}_2$  反应生成  $\text{H}_2\text{O}_2$  和  $\text{NAD}$ ，而**专性厌氧微生物**不具有**过氧化氢酶**，它将被生成的过氧化氢杀死；

2)  $\text{O}_2$  还可产生游离的  $\text{O}_2$  离子，**专性厌氧微生物**不具破坏  $\text{O}_2$  离子的超氧化物歧化酶 (SOD) 而被  $\text{O}_2$  离子杀死；

3) **耐氧的厌氧微生物**虽具有超氧化物歧化酶，能耐  $\text{O}_2$  离子，然而它们缺乏**过氧化氢酶**，仍会被过氧化氢杀死；

## 2.6.5有毒物质

### 毒阈浓度

#### 废水生物处理的毒物容许浓度

毒物名称	容许浓度 (mg/L)	毒物名称	容许浓度 (mg/L)	毒物名称	容许浓度 (mg/L)
锌	5-20	亚砷酸盐	5	苯	100
铜	5-20	砷酸盐	20	酚	100
铅	1	游离氯	0.1-1	甲醛	100-150
铬酸盐	5-20	氯苯	100	丙酮	9000
氰	5-20	硝酸根	5000	油脂	30-50
硫	10-30	硫酸根	5000		
氨	100-1000	醋酸根	100-150		