

第一篇 废水处理基本原理

第一章 废水的水质水量特性

第一节 废水来源与分类

废水根据来源，可分为生活污水和工业废水两大类。前者是人类生活活动过程中排出的废水；后者是人类工业生产活动过程中排出的废水。此外，由城镇排出的废水，叫做城市污水，其中既包括生活污水也包括工业废水，如图 1-1。

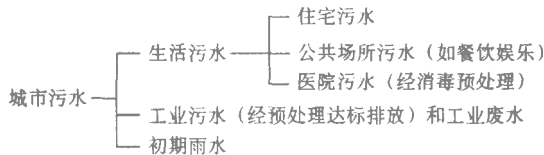


图 1-1 城市污水的来源

工业废水是在工业企业生产区一切生产生活废弃水的总称，主要来源如图 1-2。

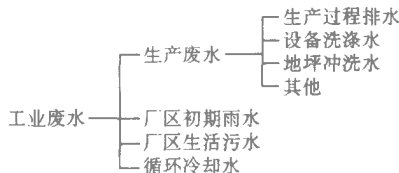


图 1-2 工业废水的来源

工业废水由于生产过程、原料和产品的不同，而具有不同的性质和成分，一种废水往往含有多种成分。根据废水的污染程度，工业废水可分为净废水和浊废水（或称生产污水）两类。净废水来自各种工业设备间接冷却用水，仅水温升高，污染轻微，可经某些简单处理后循环使用或排入水体；浊废水主要来自生产过程中与物料直接接触所排出的废水，污染程度较重，必须经过严格处理才能循环使用或排入水体。根据浊废水中所含成分，又可分为以下四类：

(1) 无机废水。废水中主要污染成分为无机物，来自采矿、冶金、煤炭和建筑材料等行业。

(2) 有机废水。废水中主要污染成分为有机物，来自造纸、酿造、食品加工、石油炼制和化工等行业。

混合废水。废水中同时含有无机和有机污染物，来自炼焦、化肥、橡胶和制药等行业。

(4) 放射性废水。主要来自核电站以及生产或使用放射性物质的有关工业和部门。

生活污水来自城市、医院、工厂生活区和福利区，主要污染成分为生活废料和人的排泄物，一般不含有毒物质，但含有大量细菌和病原体。

第二节 废水水质分析

废水水质一般按物理、化学、生物性质进行分类，其污染指标如下：

一、物理性质及指标

表示废水物理性质的主要指标是水温、色度、臭味、固体含量及泡沫等。

水温：废水的水温对其物理、化学及生物性质有直接影响，并对处理有间接影响，水温过低（如低于 5°C ）或过高（如高于 40°C ）会影响废水生物处理效果。

色度：色度可由悬浮固体、胶体或溶解物质形成，悬浮固体形成的色度称为表色；胶体或溶解物质形成的色度称为真色；水的颜色用色度作为指标。生活污水的颜色常呈灰色。但当污水中的溶解氧降低至零，污水所含有机物腐烂，则水色转呈黑褐色并有臭味。生产废水的色度视工矿企业的性质而异，差别极大，如印染、造纸、农药、焦化、冶金及化工等的生产污水，都有各自的特殊颜色。故色度往往给人以感观不悦。

臭味：生活污水的臭味主要由有机物腐败产生的气体造成。工业废水的臭味主要由挥发性化合物造成。臭味大致有鱼腥臭 [胺类 CH_3NH_2 , $(\text{CH}_3)_3\text{N}$]，氨臭 [氨 NH_3]，腐肉臭 [二元胺类 $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$]，腐蛋臭 [硫化氢 H_2S]，腐甘蓝臭 [有机硫化物 $(\text{CH}_3)_2\text{S}$]，粪臭 [甲基吡啶 $\text{C}_8\text{H}_5\text{NHCH}_3$] 以及某些生产污水的特殊臭味。臭味给人以感观不悦，甚至会危及人体生理，呼吸困难，倒胃胸闷，呕吐等。故臭味也是物理性质的主要指标。

固体含量：固体物质按存在形态的不同可分为：悬浮态 ($>100\text{nm}$)、胶体态 ($1\sim 100\text{nm}$) 和溶解态 ($<1\text{nm}$) 三种；按性质的不同可分为：有机物、无机物与生物体三种；水质分析中把固体物质分为两部分：能透过滤膜（孔径约 $3\sim 10\mu\text{m}$ ）的叫溶解固体 (DS)，不能透过的叫悬浮固体或悬浮物 (SS)，两者合称为总固体 (TS)。固体污染物常用悬浮物和浊度两个指标来表示。

二、废水的化学性质及指标

废水中的污染物质，按化学性质可分为无机物与有机物；按存在的形态可分为悬浮状态与溶解状态。

1. 无机物及指标

无机物污染物包括酸碱污染物、营养性污染物、无机盐类及重金属离子等。

酸碱污染物：用氢离子浓度的负对数 pH 值表示酸碱度，当 pH 值超出 $6\sim 9$ 的范围时，会对人、畜造成危害，酸性废水会对管渠、废水处理构筑物及设备产生腐蚀作用，同时也会对生物处理系统造成影响。

碱度指废水中含有的能与强酸产生中和反应的物质，亦即 H^+ 离子的受体，主要包括三种：氢氧化物碱度，即 OH^- 离子含量；碳酸盐碱度，即 CO_3^{2-} 离子含量；重碳酸盐碱度，即 HCO_3^- 离子含量。废水的碱度可用下式表达：

$$[\text{碱度}] \cdot [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] - [\text{H}^+] \quad (1-1)$$

式中 [] ——浓度, 单位为 $\text{mg} \cdot \text{N}/\text{L}$

废水所含碱度, 对于外加的酸、碱具有一定的缓冲作用, 可使废水的 pH 值维持在适宜于好氧菌或厌氧菌生长繁殖的范围内。例如污泥厌氧消化处理时, 要求碱度不低于 $2000\text{mg}/\text{L}$ (以 pH 计, 即约 $40\text{mg} \cdot \text{N}/\text{L}$), 以便缓冲有机物分解时产生的有机酸, 避免 pH 值降低。

营养性污染物: 氮、磷是植物和微生物的重要营养物质, 主要来源于人类排泄物及某些工业废水。水中氮和磷分别超过 $0.2\text{mg}/\text{L}$ 和 $0.02\text{mg}/\text{L}$, 会导致湖泊、水库、海湾等缓流水体富营养化。含氮化合物有 4 种: 有机氮、氨氮、亚硝酸盐氮与硝酸盐氮, 其中有有机氮与氨氮之和称凯氏氮 (KN), 所有含氮化合物的总量称为总氮 (TN), 这几种含氮化合物的形态可相互转化; 含磷化合物可分为有机磷与无机磷两类, 有机磷的存在形式主要有: 葡萄糖-6-磷酸, 2-磷酸-甘油酸及磷肌酸等; 无机磷都以磷酸盐形式存在, 包括正磷酸盐 (PO_4^{3-}), 偏磷酸盐 (PO_3^-), 磷酸氢盐 (HPO_4^{2-}), 磷酸二氢盐 (H_2PO_4^-) 等, 一般生活污水中有机磷含量约为 $3\text{mg}/\text{L}$, 无机磷含量约 $7\text{mg}/\text{L}$ 。此外, BOD、温度、维生素类物质也能促进和触发营养性污染。

还原性无机物: 废水中的亚硫酸盐与硫化物属还原性无机物, 会影响废水 COD 的值。生活污水的硫酸盐主要来源于人类排泄物; 工业废水如选矿、化工、制药、造纸和发酵等工业废水, 含有较高硫酸盐, 浓度可达 $1500 \sim 7500\text{mg}/\text{L}$ 。硫化物主要来源于工业废水 (如硫化染料废水、人造纤维废水等) 和生活污水, 属于还原性物质, 要消耗污水中的溶解氧。

污水中的硫酸盐在缺氧的条件下, 由于硫酸盐还原菌、反硫化菌的作用, 被脱硫、还原成 H_2S , 反应式如下:



在排水管道内, 释出的 H_2S 与管顶内壁附着的水珠接触, 在噬硫细菌的作用下形成 H_2SO_4 , 反应式如下:



H_2SO_4 浓度可高达 7%, 对管壁有严重的腐蚀作用, 可能造成管壁塌陷。污水生物处理的 SO_4^{2-} 允许浓度为 $1500\text{mg}/\text{L}$ 。

氯化物: 生活污水中的氯化物主要来自人类排泄物, 每人每日排出的氯化物约 $5 \sim 9\text{g}$ 。工业废水 (如漂染工业、制革工业等) 以及沿海城市采用海水作为冷却水时, 都含有很高的氯化物。氯化物含量高时, 对管道及设备有腐蚀作用, 如灌溉农田, 会引起土壤板结。氧化钠浓度超过 $4000 \text{mg}/\text{L}$ 时对生物处理的微生物有抑制作用。

非重金属无机有毒物质: 主要有氰化物 (CN) 与砷 (As)。氰化物主要来自电镀、焦化、高炉煤气、制革、塑料、农药以及化纤等工业废水, 在废水中的存在形式是无机氰 (如氢氰酸 HCN, 氰酸盐 CN^-) 及有机氰化物 (称为腈, 如丙烯腈 $\text{C}_2\text{H}_3\text{CN}$), 含氰浓度约在 $20 \sim 80\text{mg}/\text{L}$ 之间。氰化物是剧毒物质, 人体摄入致死量是 $0.05 \sim 0.12\text{g}$ 。砷化物主要来自化工、有色冶金、焦化、火力发电、造纸及皮革等工业废水。废水中的存在形式是无机砷化物和亚砷酸盐 Ascy , 砷酸盐 Asct 、以及有机砷 (三甲基砷), 对人体的毒性排序为有机砷 > 亚砷酸盐 > 砷酸盐。砷会在人体内积累, 属致癌物质 (致皮肤癌) 之一。

重金属离子: 重金属指原子序数在 $21 \sim 83$ 之间的金属或相对密度大于 4 的金属。污水

中重金属主要有汞 (Hg)、镉 (Cd)、铅 (Pb)、铬 (Cr)、锌 (Zn)、铜 (Cu)、镍 (Ni)、锡 (Sn)、铁 (Fe)、锰 (Mn) 等。生活污水中的重金属离子主要来源于人类排泄物；冶金、电镀、陶瓷、玻璃、氯碱和电池等部门排放废水含重金属离子浓度较高。

2. 有机物及指标

生活污水所含有有机物主要来源于人类排泄物及生活活动产生的废弃物、动植物残片等，主要成分是碳水化合物、蛋白质与尿素及脂肪。组成元素是碳、氢、氧、氮和少量的硫、磷、铁等。由于尿素分解很快，故在城市污水中很少发现尿素。食品加工、饮料等工业废水中有机物成分与生活污水基本相同，其他工业废水所含有有机物种类繁多，主要有酚类、有机酸碱类、表面活性剂、有机农药、取代苯类化合物等，已被查明的三致物质（致癌、致突变、致畸形）有聚氯联苯、联苯氨、稠环芳烃等多达 20 多种，疑致癌物质也超过 20 种。

有机物按被生物降解的难易程度，可分为两类 4 种：

第一类是可生物降解有机物，可分为两种：可生物降解有机物，对微生物无毒害或抑制作用；可生物降解有机物，但对微生物有毒害或抑制作用。

第二类是难生物降解有机物，也可分为两种：难生物降解有机物，对微生物无毒害或抑制作用；难生物降解有机物，并对微生物有毒害或抑制作用。

上述两类有机物的共同特点是都可被氧化成无机物。第一类有机物可被微生物氧化；第二类有机物可被化学氧化或被经驯化、筛选后的微生物氧化。

有机物污染指标主要通过生化需氧量 (BOD)、化学需氧量 (COD)、总需氧量 (TOD) 和总有机碳 (TOC) 表示。

生化需氧量 (BOD) 为在有氧条件下，由于微生物的活动，降解有机物所需的氧量。由于 BOD 与温度和时间有关，因此，实际应用中常规定温度为 20℃，5 天作为测定时间作条件，并以 BOD_5 表示。一般 $BOD_5/COD_{Cr} > 0.3$ 适宜生化处理。

化学需氧量 (COD) 为在酸性条件下，用强氧化剂将有机物氧化为 CO_2 和 H_2O 所消耗的氧量。一般按国家标准方法，氧化时间为 2 小时，如采用重铬酸钾作为氧化剂，则以 COD_{Cr} 表示；如采用高锰酸钾作为氧化剂，则以 COD_{Mn} 表示。

总需氧量 (TOD) 为有机物中的主要元素 C、H、O、N、S 等，在高温下燃烧时，将分别产生 CO_2 、 H_2O 、 NO_2 和 SO_2 所消耗的氧量。测定方法为一定数量的水样，注入含氧量已知的氧气流中，再通过以铂钢为触媒的燃烧管，在 900℃ 高温下燃烧，使水样中含有的有机物被燃烧氧化，消耗掉氧气流的氧，剩余的氧量用电极测定并自动记录。氧气流原有含氧量减去剩余含氧量即等于总需氧量 TOD。测定时间仅需几分钟。由于在高温下燃烧，有机物可被彻底氧化，故 TOD 大于 COD。

总有机碳 (TOC) 是目前国内、外开始使用的另一个表示有机物浓度的综合指标。TOC 的测定原理是先将一定数量的水样经过酸化，用压缩空气吹脱其中的无机碳酸盐，排除干扰，然后注入含氧量已知的氧气流中，再通过以铂钢为触媒的燃烧管，在 900℃ 高温下燃烧，把有机物所含的碳氧化成 CO_2 ，用红外气体分析仪记录 CO_2 的数量并折算成含碳量即等于总有机碳 TOC 值。测定时间仅几分钟。TOD 与 TOC 的测定原理相同，但有机物数量的表示方法不同，前者用消耗的氧量表示，后者用含碳量表示。

三、废水的生物性质及指标

污水中的有机物是微生物的食料，污水中的微生物以细菌与病菌为主。生活污水、食品

工业污水、制革污水、医院污水等含有肠道病原菌（痢疾、伤寒、霍乱菌等）、寄生虫卵（蛔虫、烧虫、钩虫卵等）、炭疽杆菌与病毒（脊髓灰质炎、肝炎、狂犬、腮腺炎、麻疹等），如每克粪便中约含有 $10^4 \sim 10^5$ 个传染性肝炎病毒，因此了解污水的生物性质有重要意义。

污水中的寄生虫卵，约有 80% 以上可在沉淀池中沉淀去除。但病原菌、炭疽杆菌与病毒等，不易沉淀，在水中存活的时间很长，具有传染性。

污水生物性质的检测指标有大肠菌群数（或称大肠菌群值）、大肠菌群指数、病毒及细菌总数。

大肠菌群数（大肠菌群值）及大肠菌群指数：大肠菌群数为每升水样中所含有的大肠菌群的数目，以个/L计；大肠菌群指数为查出 1 个大肠菌群所需的最少水量，以毫升（mL）计。大肠菌群数与大肠菌群指数是互为倒数。

病毒：污水中已被检出的病毒有 100 多种。检出大肠菌群，可以表明肠道病原菌的存在，但不能表明是否存在病毒及其他病原菌（炭疽杆菌），因此还需要检验病毒指标。病毒的检验方法目前主要有数量测定法与蚀斑测定法两种。

细菌总数：大肠菌群数，病原菌，病毒及其他细菌数的总和，以每毫升水样中的细菌菌落总数表示。

细菌总数愈多，表示病原菌与病毒存在的可能性愈大。因此用大肠菌群数、病毒及细菌总数等 3 个卫生指标来评价污水受生物污染的严重程度就比较全面。

第三节 废水的排放标准

自然水体是人类可持续发展的宝贵资源，必须严格保护，免受污染。因此，当污水需要排入受纳水体时，应处理到允许排入受纳水体的排放标准，以降低对受纳水体的不利影响。我国有关部门为此制定了污水综合排放标准，并于 1998 年 1 月开始实施。

目前，广泛使用的是国家《污水综合排放标准（GB 8978—1996）》，该标准根据污水中污染物的危害程度把污染物分为两类。第一类污染物，指能在环境或动植物内累积，通过食物链对人体健康产生不良影响者，含有此类有害污染物质的废（污）水，不分行业和污水排放方式，也不分受纳水体的功能类别，一律在车间或车间处理设施排放口采样；第二类污染物，指其长远影响小于第一类的污染物质，在排污单位总排放口采样。这两种污染物的最高允许排放浓度都应达到国家《污水综合排放标准》的要求。

《污水综合排放标准》把第二类污染物的排放浓度设为一级、二级和三级标准。对水源地、国家自然保护区等特殊保护的 I 类水域，禁止设排污口；对集中式生活饮用水地表水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、仔稚幼鱼的索饵场等 II 类水域，禁止新建排污口，现有排污口应按水体功能要求，削减至保证受纳水体水质符合规定用途水质标准；对集中式生活饮用水地表水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区等渔业水域及游泳区 III 类水域，首先排入受纳水体的废水必须达到一级排放标准，同时要实施污染物总量控制，使受纳水体水质符合水体功能要求；对 IV、V 类水域的受纳水体，污水排放执行二级标准；对排入设置二级污水处理厂的城镇排水系统的污水，执行三级标准。近年来，随着污水资源化利用的兴起，部分污水处理后要求达到回用水质标准。

按照国家综合排放标准与国家行业排放标准不交叉的原则，各行业可执行废水行业排放

标准，行业标准没有的其他水污染物可参照《污水综合排放标准》执行。国家综合排放标准与国家行业排放标准见附录。

上面提到的排放标准都是浓度标准。这类标准存在明显的缺陷，它不论污水接纳水体的大小和状况，不论污染源的大小，都采取同一标准。因此，即使满足排放标准，如果排放总量大大超过接纳水体的环境容量，也会对人体造成不可逆转的严重后果。

第四节 废水的水量及其变化规律

废（污）水流量具有不稳定和不均性，每年、每月、每日、每时都可能不相同。当筹建一座废（污）水处理设施时，掌握现有废（污）水量、未来污水量及其变化是相当重要的。因此应进行水量的测定，若没有这样的测定数据，可做一下估算并对未来废（污）水水量进行适当考虑。以污水的相关理论为基础，并考虑将要处理的废（污）水水质，便可以进行污水处理设施的设计。

废水的水量及变化规律确定分为两种情况：一种是已建项目投产后的废水处理工程或城市已形成规模的污水处理工程，这种情况可对废（污）水的水质水量进行同步的实测，更直接地了解其变化规律；另一种是新建项目的废水处理工程或规划城市的污水处理工程，这种情况可根据类比同类工厂或同类生活习惯和水平的城市确定废（污）水产生量、也可通过水量平衡或规划用水量进行系数折算。

一般城市污水量多采用给水量折算或用与本地区相似条件地区实际统计的生活用水量进行测算。

工业废水水量可按单位产品的废水量计算，或按工艺流程和设备排水量计算，或按实测水量数据计算。工业废水水量变化系数根据生产工艺过程及生产性质确定，如要进行实测，应按生产周期确定监测频率。

工业企业中的生活污水量和淋浴水量的标准及厂内公用建筑物生活污水量的标准参见现行给水排水规范。

生活污水和工业废水的水量也可根据表 1-1 进行估算。

表 1-1 生活污水和工业废水量计算公式

名称	计算公式	符号说明
1. 居住区生活污水设计最大流量/(L/a)	$Q = \frac{qNK_z}{86400}$	q ——每人每日平均污水量定额，L/人·d N ——设计人口数，人 K_z ——总变化系数
2. 工业企业工业废水设计最大流量/(L/a)	$Q = \frac{mMK_g}{3600T}$	m ——生产过程中单位产品的废水量定额，L/单位产品 M ——每日的产品数量 K_g ——总变化系数，根据工艺或经验决定 T ——工业企业每日工作小时数
3. 工业企业生活污水设计最大流量/(L/a)	$Q = \frac{q_1N_1K_z + q_2N_2K_z}{3600T}$	q_1 ——一般车间每班每人淋浴水量定额，一般以 25L/(人·班)计 q_2 ——热车间每班每人污水量定额，一般以 35L/(人·班)计 N_1 ——一般车间最大班工人数，人 N_2 ——热车间最大班工人数 T ——每班工作小时数

(续)

名称	计算公式	符号说明
4. 工业企业淋浴用水设计最大流量/(L/a)	$Q = \frac{q_3 N_3 + q_4 N_4}{3600}$	q_3 ——不太脏车间每班每人淋浴水量定额, 一般以 40L/(人·班) 计 q_4 ——较脏车间每班每人淋浴水量定额, 一般以 60L/(人·班) 计 N_3 ——不太脏车间最大班使用淋浴的人数, 人 N_4 ——较脏车间最大班使用淋浴的人数, 人

表 1-2 生活污水量总变化系数

污水平均日流量/(L/s)	≤5	6	10	15	25	40	70	120	200	400	750	≥1600
总变化系数 K_d	2.3	2.2	2.1	2.0	1.89	1.8	1.69	1.59	1.51	1.40	1.30	1.20

表 1-3 工业废水量总变化系数

行业	冶金工业	纺织工业	皮革工业	化学工业	食品工业	造纸工业
总变化系数 K_g	1.0~1.1	1.2~2.0	1.5~2.0	1.3~1.5	1.5~2.0	1.3~1.8

废(污)水水量可用曲线或图表法(计量)确定。该曲线或图表对城市污水反映了水量昼夜变化情况,为生活污水量、工业废水量、公共设施污水量、入渗水量和渗漏水量的总和。对工业废水反映了生产周期废水的产生量的变化情况,在配合水质水量的同步监测,对瞬时污染物的排放负荷就有较为系统的了解,为废水处理工程设计提供了较为准确的资料,有利于正确的选择处理工艺和技术,做到稳定达标和投资及运行成本经济可行。

参 考 文 献

- 1 (丹麦)汉斯,M等著。污水生物与化学处理技术。国家城市给水排水工程技术中心译。北京:中国建筑工业出版社,1999
- 2 韩洪军主编。污水处理构筑物设计与计算。哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002
- 3 卜秋平等主编。城市污水处理厂的建设与管理。北京:化学工业出版社,2002
- 4 杨丽芬,李友琥主编。环保工作者实用手册。北京:冶金工业出版社,2001
- 5 冯生华编著。城市中小型污水处理厂的建设与管理。北京:化学工业出版社,2001
- 6 李国欣,李旭东。污水资源化利用技术现状及其应用实例。给水排水,2001,27(5):15~18

第二章 废水生物处理原理

废水生物处理是指利用微生物的代谢作用去除废水中有机污染物的一种方法。其基本原理为在废水构筑物中，通过微生物酶的作用，将废水中的污染物分解。在好氧条件下污染物最终被分解成 CO_2 、 H_2O 和各种无机酸盐；在厌氧条件下污染物最终形成 CH_4 、 CO_2 、 H_2S 、 N_2 、 H_2 和 H_2O 以及有机酸和醇等。主要以分散的悬浮污泥如活性污泥（activated sludge）、厌氧颗粒污泥（anaerobic granular sludge）和生物膜（biomembrane）的形式存在。

第一节 废水生物处理过程基本原理

一、好氧生物处理

废水好氧生物处理是向装有好氧微生物的容器或构筑物中不断地供给足够量氧的条件下，利用好氧微生物分解废水中的污染物质。一般是通过机械设备往曝气池中连续不断地充入（压缩）空气，亦可采用氧气发生设备提供纯氧，并使氧溶解于废水中，这种过程称为曝气，处理废水的构筑物称为曝气池。曝气的过程除供氧外，还起搅拌混合作用，保持活性污泥在混合液中呈悬浮状态，同时增加微生物（以活性污泥或生物膜形式存在）与基质污染物的碰撞几率，使其与废水充分接触混合。其代谢途径包括 EMP 途径、 β -氧化、TCA 循环等，糖、脂类、蛋白质等三大类有机物以及其他有机化合物的好氧分解的彻底氧化离不开这些途径，只是中间转化途径不同（中心是 TCA 循环），微生物的类群不同。另外，废水水质不同，微生物的种类和数量也有很大差别。如在生活废水处理过程中，微生物种类复杂多样，几乎多种微生物类群都存在，如病毒、立克次氏体、细菌、放线菌、霉菌、酵母菌、单细胞藻类、原生动物和后生动物。而在工业废水处理过程中，微生物种类比较单纯，自然界中的微生物大部分都无法在其中生存，只有少数种类可生长。当然，就废水处理过程中起主要作用的类群而言，细菌仍占主要地位。好氧生物处理原理如图 2-1。

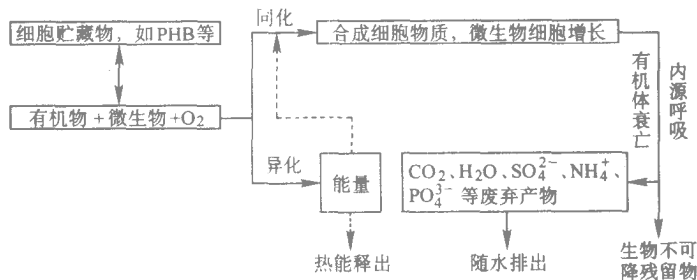


图 2-1 好氧生物处理过程原理

好氧生物处理曝气方式主要有：鼓风曝气、表面加速曝气和射流曝气。由于好氧生物处

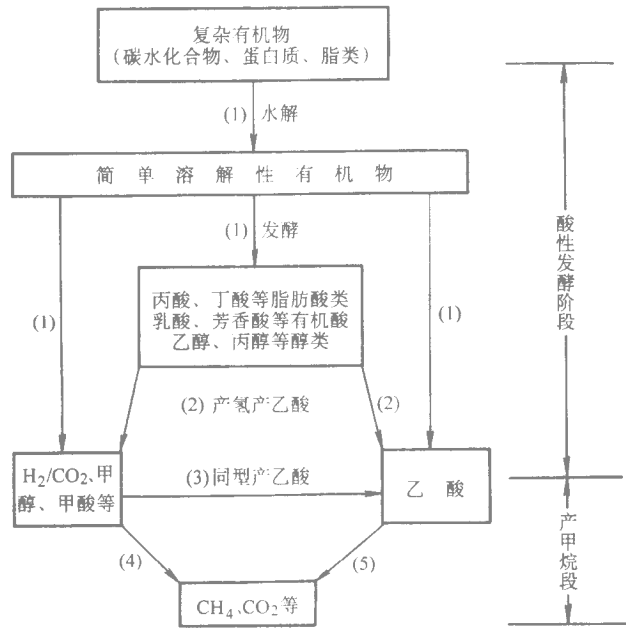
理运行费用主要为电耗，所以提高曝气过程空气中氧的利用率，增加单位电耗充氧量一直是曝气设备和技术开发的重点。

好氧处理主要方法有：活性污泥法、SBR、生物接触氧化法、生物转盘、生物滤池、氧化沟、氧化塘等。好氧生物处理主要适用于 COD₁₅₀₀mg/L 以下废水的处理。

二、厌氧生物处理

厌氧生物处理法具有节能、运转费低、能产生沼气等特点，因而在处理高浓度有机废水中被普遍采用。厌氧处理废水是在无氧条件下进行的，是由厌氧微生物作用的结果。厌氧微生物在生命活动过程中不需要氧，有氧还会抑制或杀死这些微生物。这类微生物分两大类群，即发酵细菌（产酸菌）和产甲烷菌废水中的有机物在这些微生物联合作用下，通过酸性发酵阶段和产甲烷阶段，最终被转化生成 CH₄、CO₂ 等气体，同时使废水得到净化。

酸性发酵阶段是指微生物在分解有机物过程中产生大量的有机酸，主要是挥发性脂肪酸（VFA）和醇，使发酵环境中 pH 值下降，呈现酸性。产甲烷阶段是指微生物在这一阶段中，分解第一阶段产生的有机酸和醇，通过无氧呼吸产生 CH₄、CO₂、H₂S 等，使发酵环境中 pH 值上升，此时，水中的 pH 值可提高至 7~8。参与第二阶段的细菌为严格厌氧菌，主要是产甲烷细菌。因产甲烷细菌代谢速度很慢，故第二阶段需要较长的时间。有机物分解厌氧发酵过程示意图如图 2-2。



- (1) 发酵性细菌，(2) 产氢产乙酸细菌，(3) 同型产乙酸菌
(4) 利用 H₂ 和 CO₂ 的产甲烷菌，(5) 分解乙酸的产甲烷菌

图 2-2 有机物分解厌氧发酵过程示意图

厌氧生物处理可直接接纳 COD>2000mg/L 以上的高浓度有机废水，而这种高浓度废水若采用好氧生物处理法必须稀释几倍甚至几百倍，致使废水处理的运行费很高。对于酒精工业、食品工业、啤酒厂、屠宰场等废水都适宜用厌氧处理法。但厌氧法处理后的出水 COD 和 BOD₅ 仍很高，达不到排放标准的要求，因而，欲达到国家排放标准，后续常接好氧生物

处理工艺，即常称的 A/O 法。

近年来的研究和实践表明，处理高浓度有机废水，先采用厌氧法处理，使废水中的 COD 和 BOD₅ 大幅度降低，然后再用好氧法进行处理，可取得比较好的效果，特别是用来处理某些含难降解物质浓度高的有机废水，如制药、酒精、屠宰、化工、轻纺等高浓度废水，因为厌氧微生物对某些有机物有特异分解能力。

三、废水生物处理基本过程

废水生物处理过程可归纳为四个连续进行的阶段，即絮凝作用（在生物膜法中称做挂膜）、吸附作用、氧化作用和沉淀作用。下面以活性污泥法为例说明这四个作用。

1. 絮凝作用

在废水生物处理中，细菌常以絮凝体（floc）形式存在。废水进入生物反应池后，废水中的产荚膜细菌可分泌出粘液性物质，并相互粘连形成菌胶团。菌胶团又粘连在一起，絮凝成活性污泥或粘附在载体上形成生物膜。据资料介绍，纤毛类原生动物亦可分泌出多糖及粘蛋白（mucoprotein），可促进絮凝体的形成。所以，活性污泥或生物膜是微生物群体（包括细菌、真菌、放线菌、原生动物等）存在的形式，并在废水生物处理中具有重大的生态学意义。

2. 吸附作用

吸附作用是发生在微小粒子表面的一种物理化学的作用过程。微生物个体很小，并且细菌也具有胶体粒子所具有的许多特性，如细菌表面一般带有负电荷，而废水中有机物颗粒常带正电荷，所以它们之间有很大的吸引作用。活性污泥的表面积介于 $2000 \sim 10000 \text{m}^2/\text{m}^3$ ，其表面附有的粘性物质对废水中的有机物颗粒、胶体物质有较强吸附能力，而对溶解性有机物的吸附能力很小。对于悬浮固体和胶体含量较高的废水，吸附作用可使废水中的有机物含量减少 70%~80% 左右。

废水中的重金属离子，铁、铜、铬、镉、铅等也可被活性污泥和生物膜吸附，废水中大约有 30%~90% 的重金属离子可通过吸附作用去除。

吸附作用是一种物理化学作用，所以它的总吸附量有一个极限，达到此极限后，吸附作用就基本结束。吸附的速度在初期最大，随着时间的推移，吸附速度越来越小。根据活性污泥法的运行经验，在充分混合曝气的条件下，大约经过 20~40d 即可完成这个吸附过程。从废水处理的角度看，颗粒的和胶体的有机污染物一旦粘附于活性污泥，即可通过固液分离的方法，将这些污染物从废水中清除出去

3. 氧化作用

氧化作用是发生在微生物体内的一种生物化学的代谢过程。被活性污泥和生物膜吸附的大分子有机物质，在微生物胞外酶的作用下，水解为可溶性的有机小分子物质，然后透过细胞膜进入微生物细胞内。这些被吸收到细胞内的物质，作为微生物的营养物质，经过一系列生化反应途径，被氧化为无机物 CO₂ 和 H₂O 等，并释放出能量；与此同时，微生物利用氧化过程中产生的一些中间产物和呼吸作用释放的能量，合成细胞物质。在此过程中微生物不断繁殖，有机物也就不不断地被氧化分解。

微生物对吸附的有机物氧化分解需要较长的时间，有的需要几小时甚至十几个小时才能完成。在微生物吸附有机物的同时，尽管氧化分解作用以相当高的速率进行着，但由于吸附时期较短，氧化分解掉的有机物仅占总吸附量的一小部分，大部分被吸附的有机物需要更长

的时间才能全部氧化分解。

4. 沉淀作用

废水中有机物质在活性污泥或生物膜的氧化分解作用下无机化后，处理后水往往排至自然水体中，这就要求排放前必须经过泥水分离。

活性污泥，特别是生物膜具有良好的沉降性能，使泥水分离，澄清水排走，污泥沉降至池底，这是废水生化处理必须经过的步骤，也是非常重要的步骤。若活性污泥或脱落的生物膜不能与水分离，则这两种生物处理技术就不可能实现。若泥水不经分离或分离效果不好，由于活性污泥本身是有机体，进入自然水体后将造成二次污染。

根据废水生物处理中微生物对氧的要求，可把废水生物处理分为好氧处理和厌氧处理两大类。根据微生物存在的状态分为活性污泥法、生物膜法及自然处理技术。但不论是何种处理工艺，污染物均有三个去向：微生物的增长和细胞物质积累；产生代谢产物和能量；残存物质。

废水生化处理对微生物的要求主要有：能够代谢废水中的有机物；能与处理后的水彻底分离（这对于厌氧生物处理更为重要，因为它既是保证出水水质，又是使处理能持续下去的必要条件）。

同一种有机污染物在好氧和厌氧条件下转化的特点不同。共同点：微生物以有机污染物作为营养物质通过合成代谢组成细胞物质，通过分解代谢产生能量和代谢产物。不同点：转化条件不同，好氧转化在有氧条件下进行，厌氧转化在无氧或缺氧条件下进行；有机污染物的降解途径不同；代谢过程中的最终电子受体（受氢体）不同，好氧转化的受氢体是分子氧，厌氧转化的受氢体是代谢过程中产生的有机物（如：小分子有机酸、醇）或含氧的无机物（如： NO_2^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 等）；代谢的终产物不同，好氧转化的产物为最终的氧化产物（如： CO_2 、 H_2O 、 NO_2^- 、 SO_4^{2-} 等），厌氧转化的产物为小分子有机物或相应的还原产物（如：有机酸、醇、 N_2 、 NH_3 、 H_2S 、 CH_4 等）；物质代谢的速率不同，好氧代谢速率高于厌氧代谢；细胞生长速率不同，好氧转化过程积累的细胞物质量高于厌氧转化过程。

第二节 废水生物处理过程中主要微生物种群

生物的种类群和与之适配的生物反应器是废水的生物处理系统的核心。以微生物为主体的各种生物类群构成的废水生物处理生态系统中，微生物对有机物质转换的效率之高是任何天然水体生态系统所不可比拟的，其种群、数量及其活性会直接影响处理效率和出水的好坏。活性污泥和生物膜中存在的微生物，几乎包括了微生物的各个类群，其中属于原核生物的有细菌、放线菌、蓝细菌，属于真核生物的有多细胞的微型动物、酵母菌、丝状真菌以及单细胞藻类等，此外，还有病毒和立克次氏体。在多数情况下，主要微生物类群是细菌，特别是异养型细菌占优势。

一、活性污泥中主要生物类群

1. 细菌

组成活性污泥的细菌一般通过显微镜确认。根据许多报道，活性污泥絮体中生物种群的变化较大，如1919年 Russel 和 Bartow 所分离的13个不同菌株中，有4株是好氧性芽孢杆菌；1927年 Harris 等发现在活性污泥中有61%的菌为产气气杆菌（*Aerobacter aerogenes*），

38%为变形菌属 (Proteus); 1940 年 Allen 发现活性污泥中大多数细菌为革兰氏阴性杆菌, 属于假单胞菌属、黄杆菌属和无色杆菌属, 并指出只有少量大肠菌类和好气性芽胞杆菌出现; 1952年 Mckinney 和 Horwood 在自己设计+的曝气池中, 用 1/10 浓度的营养肉汤作为人工废水来驯化活性污泥, 从中分离到能形成菌胶团絮凝体的细菌有: 生枝动胶菌 (Zoogloea ramigera)、蜡状芽胞杆菌 (Bacillus cereus)、中间埃希氏菌 (Escherichia intermedium)、粪产气副大肠杆菌 (Paracolobactrum)、放线形诺卡氏菌 (Nocardia actinomorphya) 和黄杆菌属 (Flavobacterium) 等; 1956年 Jasewica 和 Dorges 在研究牛奶废水活性污泥时, 分离得到菌株中产碱杆菌属 (Alcaligenes) 占 26%、黄杆菌属占 34%、微球菌属占 14%、假单胞菌属占 16%; 1964 年 Dias 等进行了有关活性污泥细菌相研究, 其中丛毛单胞菌属和动胶菌属占优势, 分别为 24%~65%, 19%~61%; 同年 Gils 对 2 个污水处理厂的活性污泥和由人工合成污水培育成熟的活性污泥的细菌相进行了调查研究, 调查结果说明在污水处理厂的活性污泥中是以产碱杆菌属、纓滴虫属、无色杆菌属、黄杆菌属等占优势, 而在人工合成污水的活性污泥中则以球菌占多数; 1965 年 Dias 等人进一步对那些被认为在活性污泥中不占优势的蛭弧菌属、大肠杆菌、噬菌体等进行了试验, 并对它们在活性污泥中的净化功能进行了探讨; 1975 年 Pike 收集整理了大量有关活性污泥细菌的文献, 并汇总了在分类学上已有报道的主要细菌, 其中, 报道得最多的是假单胞菌属、黄杆菌属, 无色杆菌属、球衣菌属、动胶杆菌属等。1976 年中国科学院水生生物研究所资料报道, 他们从武汉印染厂染色废水活性污泥中分离到 25 株菌种, 其中有 22 株属于动胶菌属 (Zoogloea)。

通过以上研究分析, 活性污泥中占优势的细菌见表 2-1。

表 2-1 活性污泥中主要细菌的属名

中 文	英 文	中 文	英 文
假单胞菌属	Pseudomonas	丛毛单胞菌属	Comamonas
纓滴虫属	Lophomonas	亚硝化单胞菌属	Nitrosomonas
动胶菌属	Zoogloea	球衣菌属	Sphaerotilus
大形丝状菌		固氮菌属	Azotobacter
色杆菌属	Chromobacterium	无色杆菌属	Achromobacter
黄杆菌属	Flavobacterium	大肠杆菌	E. coli
产碱菌属	Alcaligenes	微球菌属	Micrococcus
葡萄球菌属	Staphylococcus	芽胞杆菌属	Bacillus
节杆菌属	Arthrobacter	棒状杆菌属	Corynebacterium
诺卡氏菌属	Nocardia	分枝杆菌属	Mycobacterium
埃希氏菌属	Escherichia	蛭弧菌属	Bdellovibrio
噬菌体	Bacteriophage	气杆菌属	Aerobacter
变形菌类	Proteus	链球菌属	Streptococcus
短杆菌属	Brevibacterium	柄细菌属	Caulobacter
贝氏硫菌属	Beggiatoa	噬纤维菌属	Cytophaga
螺菌属	Spirillum	粪产气副大肠杆菌	Paracolobactrum aerogenoides

废水处理曝气池中活性污泥不但细菌种类多, 数量也非常大, 活菌数约 $10^7 \sim 10^9$ 个/mL。干污泥中细菌数量可达到 10^{10} 个/g

2. 其他生物

真菌类在正常的活性污泥中不占优势，但是在细菌繁殖受到抑制的环境里，真菌代替细菌而繁殖。因而，某些含碳较高或 pH 值较低的工业废水处理系统中或者大量接受工业废水的城市污水的活性污泥中产生真菌类的情况还是比较多的。活性污泥中常见真菌有：头孢霉属（*Cephalosporium*）、芽枝霉属（*Cladosporium*）、青霉属（*Penicillium*）、假丝酵母属（*Candida*）、红酵母属（*Rhodotryula*）、球拟酵母属（*Torulopsis*）、丝胞酵母属（*Trichosporon*）、毛霉属（*Mucor*）、根霉属（*Rhizopus*）、曲霉属（*Aspergillus*）、镰刀霉属（*Fusarium*）、漆斑霉属（*Myrothecium*）、粘帚霉属（*Gliocladium*）、瓶霉属（*Phialophora*）、短梗霉属（*Aurebasidium*）、木霉属（*Trichoderma*）等。一方面活性污泥中的丝状真菌可使污泥的沉降性能恶化，引起污泥膨胀；也有研究报道由地霉属（*Geotrichum*）真菌占优势的膨胀污泥情况。另一方面酵母用于高浓度有机废水处理也能快速分解某些有机物生成可作为饲料的酵母蛋白实现资源化；同时特殊的酵母如假丝酵母、丝胞酵母等分解杀虫剂和酚，茄病镰刀霉等真菌也能分解氰等。

原生动物不仅是和细菌一起在污水净化中起主要作用的生物，而且是可反映处理过程是否良好的一种重要的指示性生物。活性污泥中会出现各种各样的原生动物，主要有植鞭毛虫类（*Phytomastigina*）、动鞭毛虫类（*Zoomastigina*）、变形虫类（*Sarcodina*）、游动型纤毛虫类、匍匐型纤毛虫类、固着纤毛虫类和吸管虫类（*Suctorina*），但经常出现的是纤毛虫类。对处理水质极其良好时的活性污泥生物相研究表明，钟虫是经常出现的原生动物，其个体数也很多，在活性污泥中占压倒优势。在 1mL 正常活性污泥的混合液中，一般存活着 5000~20000 个原生动物，其中 70%~90% 为纤毛虫类。通过对活性污泥中出现频率高的重要的原生动物调查，最重要的原生动物是小口钟虫、沟钟虫和有肋盾纤虫等三种。活性污泥中出现的原生动物和生物滤池中出现的原生动物相比，活性污泥中出现的纤毛虫的种类比生物滤池多得多。在 1973 年对活性污泥中出现的原生动物进行了详细的分类学和生态学方面的研究，还记载了以缘毛类为中心的将近 200 种原生动物。对大范围工业废水活性污泥处理法调查表明，废水的性质不同而出现的原生动物也不同，钟虫是在各种工业废水的活性污泥中出现频率很高的一种原生动物，这是因为钟虫的种类很多的缘故。原生动物在废水处理中的作用主要有：促进菌胶团絮凝作用；吞噬游离细菌和微小颗粒；分解代谢废水中的有机物；作为废水处理出水水质和运行情况的指示生物。

后生动物在活性污泥中出现的主要为轮虫（*Rotifers*）类和线虫（*Rhabdolaimus*）类，但是个体数不多；有时也偶尔出现腹毛类，寡毛类和甲壳类等。这些后生动物占优势情况甚少，但是在低负荷活性污泥，特别是延时曝气法的活性污泥中有时轮虫类和寡毛类能够成为优势种属。后生动物的沉淀效率都非常高。普通活性污泥中轮虫类的个体数，在 1mL 混合液中约为 100~200 个，只不过是生物总数的 5% 而已。轮虫在系统正常运行时期有机物含量较低、一般出水水质良好时才会出现，故轮虫的存在说明处理效果较好。

藻类是含有光合色素的一类生物，在光照下能进行光合作用，利用无机的 CO_2 、氮和磷酸盐来合成藻体（有机物），在活性污泥中数量及种类较少，大多为单细胞种类；沉淀池边缘、出水槽等阳光暴露处较多见，甚至可见附着成层生长。在氧化塘及氧化沟等类占地大、空间开阔的构筑物中数量及种类较多，呈藻、菌共生状态，还可出现丝状、甚至更大型的种类。在污水处理厂曝气池混合液中，观察到 20 多种藻类，其中属于蓝细菌（蓝藻）的有席藻、颤藻、粘球藻、隐球藻、蓝球藻、节旋藻、林氏藻、分须藻、扁藻、微囊藻等 10 种；

属于绿藻的有衣藻、绿球藻、小球藻、栅列藻、盘星藻、原球藻、月牙藻、十字藻、毛枝藻等；属于硅藻的有菱形藻属、舟形藻属和针杆藻属等。在氧化塘等处理系统中，可用适当的方法采收藻类，以达到去氮除磷的目的。藻类光合作用释放的氧又可提供污泥中的细菌氧化分解有机物之用。据报道，在氧化塘类处理系统中，除了可去除 BOD 外，氮去除率可达 90%~95%，磷去除率达 50%~70%。在某些特殊情况下，有的单细胞藻类可降解废水中的有机物。

二、生物膜中主要生物类群

生物膜主要是由微生物及其胞外多聚物所组成，这些只有在光学显微镜下才能观察到具体形态的微生物，形态迥异，种类繁多但归纳起来主要有细菌、真菌、藻类（在有光条件下）、原生动物和后生动物等，此外还有病毒。与生物膜有关的生物群和活性污泥中的生物群几乎没有什么差别。生物滤池表面受到日光照射的地方会出现藻类。丝状真菌和丝状细菌大量出现；线虫类、轮虫类，寡毛虫类，昆虫类等后生动物出现较多；这些都是生物膜的特征。构成生物膜的生物种类的数量要比活性污泥多得多。图 2-3 所示是活性污泥和生物膜食物链的比较。从中可见生物膜生物的食物链比活性污泥的长而且复杂。

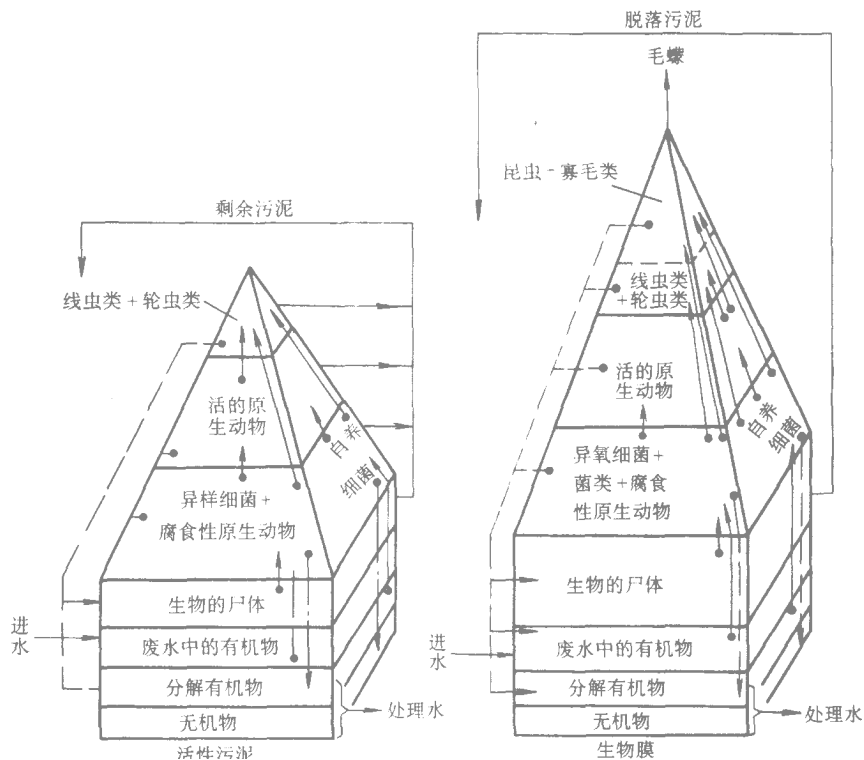


图 2-3 活性污泥和生物膜食物链的比较

1. 细菌、真菌及藻类

细菌是生物膜的主体，可分为无机营养型的自养菌和有机营养型的异养菌。异养菌是生物膜中的主要细菌类型，有好氧型异养菌、厌氧呼吸型异养菌、厌氧异养菌和兼性厌氧菌 4 类，这些不同菌种随生物膜厚度的变化有一定的分布，例如上层多为异养菌，而下层则多为

各种自养菌。细菌是生物膜中对有机物氧化分解起重要作用的微生物，细菌类中有生枝动胶菌、浮游球衣菌、白色贝氏硫细菌、球衣菌、动胶菌、硫杆菌属、无色杆菌属、产碱杆菌属、黄杆菌属、假单胞菌属、诺卡氏菌属、色杆菌属、八叠球菌属，粪链球菌、埃希氏大肠杆菌，副大肠杆菌属、亚硝化单胞菌属，硝化杆菌属等。

生物膜上的真菌类和活性污泥情况不同，繁殖得快。在营养及生活环境方面和细菌有竞争关系，真菌的种群数量大增，这是由于当采用活性污泥法处理某些工业废水，易出现大量丝状微生物（如真菌、放线菌），因而常采用生物膜法。生物膜中通常能见到的丝状菌有：瘤孢属、灿烂微重真菌、红色浆霉、水镰刀霉、白地霉、皮状丝胞酵母等。此外，有时也出现茎点霉属、乳节水霉、纤细腐霉、红酵母属、毛霉属、水霉属等。由于真菌对某些有机物的代谢能力高于细菌，因而利用存在大量真菌的生物膜法是有一定优越性。但丝状菌、霉菌所形成的过量生物膜不易脱落，会造成生物滤池滤层的孔隙堵塞问题，故应在设计和运行中考虑。

生物滤池、生物转盘、淹没式生物滤池等在受到阳光照射的部分都会生长藻类。生物滤池中经常出现的藻类有小球藻属、绿球藻属、席藻属、颤藻属、毛枝藻属、环丝藻属等，另外还有衣藻属、卵胞藻属、眼虫藻属、直链藻属等。尽管藻类不是生物膜主要的微生物类群，但藻类作为水生环境中生产者却是受阳光照射下水体中的生物膜微生物的主要构成部分，由于出现藻类的地方只限于生物膜反应器中表层很小部分，因而对污水净化作用不大。

2. 原生动物及后生动物

在生物膜中，原生动物大量出现，而且其种类比活性污泥中还多。据调查，生物膜中最重要的纤毛虫类是缘毛目和裸口目，把这些纤毛虫类按其出现频率的秩序排列如下：微盘盖虫、螳状独缩虫、沟钟虫、钩刺斜管虫、集盖虫、巧盖虫、八条纹钟虫、有肋盾纤虫、珍珠映毛虫。在鞭毛虫类中气球屋滴虫、圆珠背沟虫、粗袋鞭虫、尾波豆虫、粗尾波虫、侧弹跳虫、活泼锥滴虫等出现频率很高。肉足类中以变形虫属、简便虫属、表壳虫属等出现频率很高。原生动物在成熟的生物膜中不断捕食生物膜表面的细菌，使生物膜更新，因而在保持生物膜细菌处于活性物理状态方面起着积极作用。

生物膜中出现的后生动物有轮虫类、线虫类、寡毛虫类、昆虫类等，它们对移去多余的生物膜有很重要的作用。

三、厌氧处理中主要生物类群

在废水厌氧生物处理过程中，参与净化的微生物类群无论从种类和数量上都不如好氧处理的微生物类群多。主要为细菌，分为兼性厌氧菌和专性厌氧菌两大类，也可分为水解、产氢产酸、产甲烷菌。通过水解菌将大分子物质转化为可溶性小分子物质，再通过产氢产乙酸菌分解为 H_2 和乙酸，进一步在产甲烷菌的作用下生成甲烷和 CO_2 。厌氧消化器中 4 种主要营养类代表菌的生理学特征见表 2-2。

1. 厌氧水解菌

消化过程分为水解、挥发性脂肪酸的生成和甲烷生成三个阶段。污泥的主要成分有脂肪、蛋白质、多糖类，由于水解细菌的作用下脂肪变为甘油和长链脂肪酸，蛋白质变为氨基酸，多糖类则变为单糖类和二糖类。主要的水解菌有：蛋白水解细菌梭菌属、拟杆菌属、弧菌属等。

2. 产氢产酸菌

表 2-2 厌氧消化器中 4 种主要的营养类群代表菌的生理学特征

有机体	营养类群	营养 ^①	代谢基质 ^②	增殖时间 ^③ (h)	发酵产物 ^④
热纤梭菌	水解菌	异养	纤维素	7	H ₂ /CO ₂ , 乙醇
S 有机体	产氢产乙酸菌	+	纤维二糖	2	乙酸, 乳酸
		异养	丙酮酸	—	H ₂ /CO ₂ , 乙醇
Acetobacterium woodii	同型乙酸菌	+	乙醇	—	“H ₂ ”, 乙酸
		混合营养	果糖, 乳酸	6	乙酸
热自养甲烷杆菌	产甲烷菌	+	H ₂ /CO ₂	24	乙酸
		—	H ₂ /CO ₂	2~4	CH ₄ , CO ₂
巴氏甲烷八叠球菌	产甲烷菌	—	CO	30	
		混合营养	H ₂ /CO ₂	10~12	CH ₄ , CO ₂
		—	CH ₃ OH CH ₃ NH ₂ CH ₃ COOH	>24	

(+) 需要生长因子; (-) 不需要生长因子

所示基质不是被个别菌种代谢的唯一能源。

最适生长条件下的增殖时间。

④ 列举的主要终产物。

废水处理厌氧消化池中存在的大多数的细菌都具有水解和酸生成的两种功能。因此, 消化池中的大多数细菌可以说都参与酸的生成过程。主要的产氢产酸菌有: 棒杆菌(属)、乳杆菌属、枝杆菌属、放线菌属、双性杆菌属、运动性杆菌、真细菌属、梭菌属、拟杆菌属、产球菌属、棱形杆菌属、弧菌属、螺菌属、消化球菌属、韦荣氏球菌属、丙酮丁醇梭菌等。将水解产物中单糖类, 二糖类、甘油、氨基酸等成为这些细菌的碳源, 最终转化为 H₂、乙酸、CO₂。

3. 产甲烷菌

产甲烷菌将产氢产酸段的产物作为底物, 通过产甲烷菌生成甲烷和 CO₂。主要的产甲烷菌有: 甲烷球菌属的马氏甲烷球菌、万尼氏甲烷球菌等; 甲烷八叠球菌属的巴氏甲烷八叠球菌、甲酸甲烷八叠球菌等; 甲烷杆菌属的反刍甲烷杆菌、甲酸甲烷杆菌、热自养甲烷杆菌、条纹甲烷杆菌、索氏甲烷杆菌、喜树甲烷杆菌、奥氏甲烷杆菌、孙氏甲烷杆菌、甲烷杆菌等; 甲烷螺菌属的亨氏甲烷螺菌等。

第三节 废水处理微生物的选育

一、废水处理中微生物的驯化

微生物经过长期与受到不容易生物降解有机物污染的自然环境接触, 污染物开始不发生降解或降解很慢, 但经过一段时间以后污染物会迅速降解。这种在一定时间内, 环境中的微生物种群进行缓慢的调整, 逐渐适应环境的变化, 微生物降解污染物的能力从很差到逐步上升趋于相对稳定的过程称为微生物的驯化通过驯化, 能从自然界筛选出许多高效降解的环

境微生物功能菌。

在处理工业废水时，首先需要对活性污泥进行驯化，否则活性污泥无法适应废水中的有毒质物。驯化开始时，先使用少量工业废水和大量生活污水，使污泥能够慢慢适应工业废水的有机养分和毒物，然后逐渐提高工业废水的比例，减少生活污水的比例，最后完全由工业废水所取代，活性污泥仍可正常发挥功能，达到了驯化的目的。

在科学研究和菌种筛选中，采用驯化即定向选育的方法，通过人工措施使微生物逐步适应某种特定的条件，最后获得具有较高耐受力 and 代谢活性的菌株。最通常的方法是以靶标化合物为唯一碳源或主要碳源来培养微生物，逐步提高该化学品的浓度，最后获得高效降解菌。如果此法不成功，可以添加类似基质，然后再逐渐减少类似基质至最后只剩下靶标化合物。不管是有机物还是无机物都可以用这种方法驯化，如图 2-4。

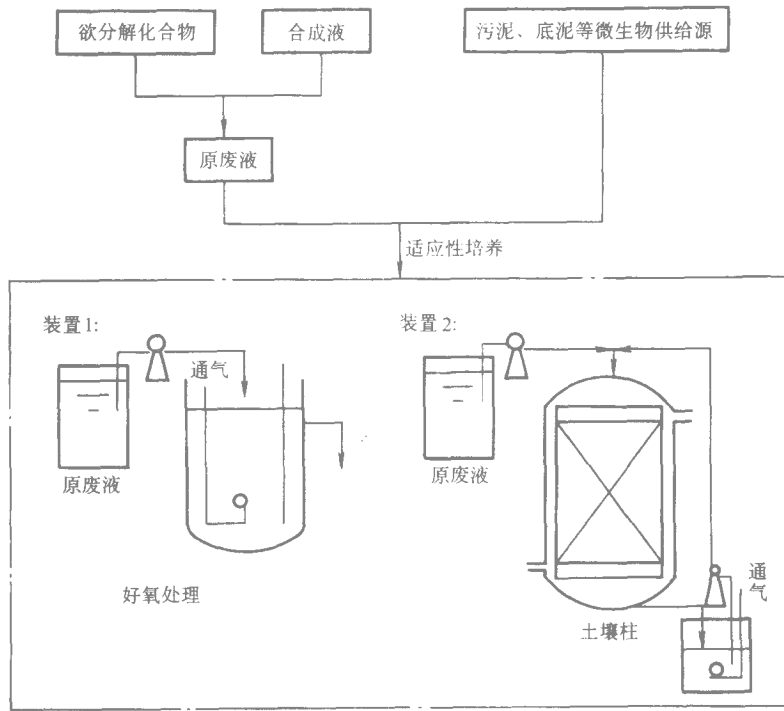


图 2-4 难分解性化合物的分解微生物适应性驯养

对特定的难分解性化合物的分解必须考虑以下三个方面：一是环境要点，能补给碳源和营养源；二是物理上要点，同基质的接触效果（分散剂和光效果）；三是生物上要点，微生物（群）的存在。尤其是合成化合物，不少还参与辅氧化作用（*tooxidation*），通过营养源的补给，基质的低浓度供给或采用已同对象化合物长期接触的土壤、污泥等自然环境材料作为微生物供给源等都是有效的。另外，为维持特定微生物群，连续供给比半连续供给更有效。

二、废水处理中微生物的培养

废水生物处理的净化效果与降解污染物的微生物和与之匹配的高效生物反应器密切相关。废水净化高效微生物是环境领域十分重要的生物资源之一，从自然界获得的有用微生物（群）中获得抗逆境的高效降解菌株接种于废水生物处理系统能提高效率。迄今应用的强化生物处理过程的功能微生物多采用纯培养方式，即一种菌单独培养以获其有用物质，但在自