



水处理工程

第十七讲 生物膜法



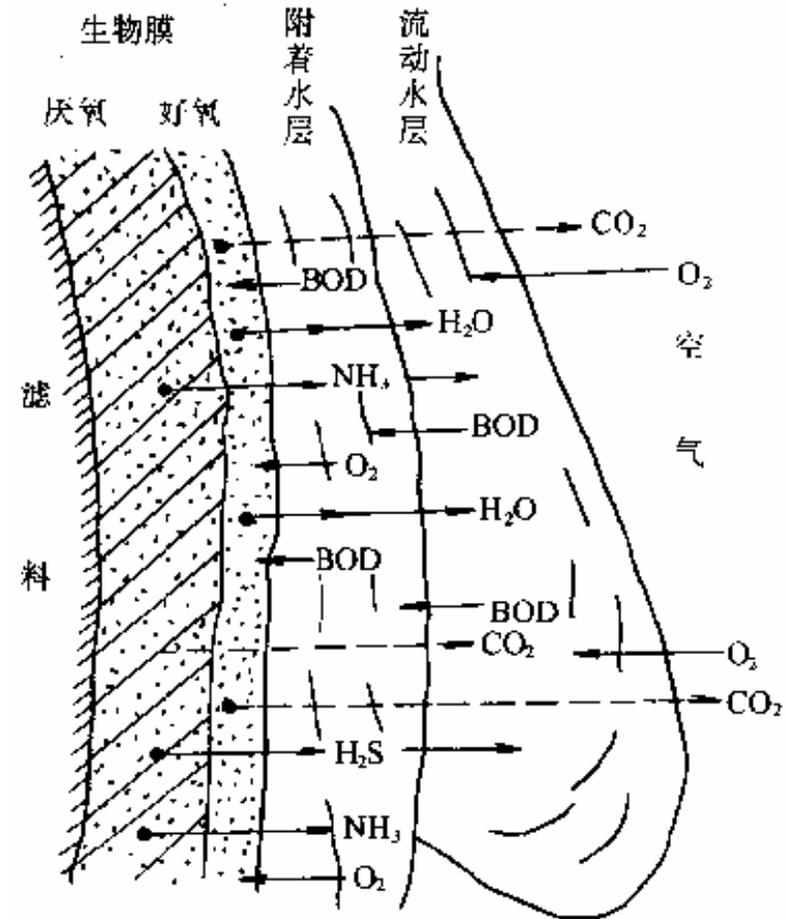


- ① 既是古老的，又是发展中的污水生物处理技术。
 - ② 生物滤池
 - 普通生物滤池
 - 高负荷生物滤池
 - 塔式生物滤池
 - ③ 生物转盘
 - ④ 生物接触氧化
 - ⑤ 生物流化床
-



生物膜的构造及其对有机物的降解

- 从开始形成到成熟，生物膜要经历**潜伏和生长**两个阶段，一般的城市污水，在 20°C 左右的条件下大致需要**30d左右**的时间。
- **好氧层**的厚度一般为**2mm左右**，有机物的降解主要是在好氧层内进行。





生物膜处理法的主要特征

① 微生物相方面的特征

- 参与净化反应微生物多样化
- 生物的食物链长、污泥产量低 (减少1/4)
- 能够存活世代时间较长的微生物
- 分段运行与优势种属

生物膜和活性污泥上出现的微生物在类型、种属和数量上的比较

表 5-1

微生物种类	活性污泥法	生物膜法	微生物种类	活性污泥法	生物膜法
细菌	++++	++++	其他纤毛虫	++	+++
真菌	++	+++	轮虫	+	+++
藻类	-	++	线虫	+	++
鞭毛虫	++	+++	寡毛类	-	++
肉足虫	++	+++	其他后生动物	-	+
纤毛虫缘毛虫	++++	++++	昆虫类	-	++
纤毛虫吸管虫	+	+			



● 处理工艺方面的特征

- 对水质、水量变动有较强的适应性
 - 污泥沉降性能良好，宜于固液分离
 - 能够处理低浓度的污水（ BOD_5 低于 50mg/L ）
 - 易于维护运行、节能
-



生物滤池

- 1893年在英国试行取得良好的效果。1900年以后迅速地在欧洲一些国家得到应用。经历了从低负荷发展为高负荷；突破了传统采用的滤料层高度；扩大了应用范围。
- 普通生物滤池
 - 早期出现的生物滤池，负荷低，BOD负荷也仅为 $0.1—0.4\text{kg}/(\text{m}^3\text{滤料}\cdot\text{d})$ 。净化效果好，BOD去除率可达90%—95%。但占地面积大，易堵塞，在使用上受到限制。
- 高负荷生物滤池
 - 采取处理水回流措施，将水量负荷提高10倍以上，BOD负荷也提高到 $0.5—2.5\text{kg}/(\text{m}^3\text{滤料}\cdot\text{d})$ 。将进水BOD浓度限制在 200mg/L 以下，使滤料不断受到冲刷，生物膜连续脱落，不断更新，于是，占地大，易于堵塞的问题得到一定程度的解决。



● 塔式生物滤池

- 50年代，在原民主德国有人按化学工业中的填料塔方式，建造了直径与高度比为1: 6~1: 8，高发达8~24m
 - 由于塑料工业的发展，开始使用由塑料制备的列管式或蜂窝式轻质滤料，促进了生物滤池的发展。
-



普通生物滤池

- 又名滴滤池，是生物滤池早期出现的类型，即第一代的生物滤池。
- 由池体、滤料、布水装置和排水系统等四部分组成（P204，图5-21）
- 池体：多呈方形，应当能够承受滤料的重量，池壁一般用钢筋混凝土建造，池壁一般的底部为池底，污水从池底流入，经滤料过滤后的污水。



布水器及喷嘴



滤料的条件

- ① 质坚、高强、耐腐蚀、抗冰冻。
- ② 较高的比表面积(单位容积滤料所具有的表面积)
- ③ 宜于生物膜固着，也应宜于使污水均匀流动。
- ④ 较大的空隙率(单位容积滤料中所持有的空间所占有的百分率)，当空隙率为45%左右时，滤料的比表面积约为65~100m²。
- ⑤ 就地取材，便于加工、运输。
 - 多采用实心拳状滤料，如碎石、卵石、炉渣和焦炭等。
 - 分工作层和承托层两层充填，总厚度约为1.5~2.0m。
工作层厚1.3—1.8m，粒径介于25~40mm；承托层厚0.2m，滤料径介于70~100mm。



布水装置

- 普通生物滤池传统的布水装置是固定喷嘴式布水装置系统。
 - 固定喷嘴式布水系统是由投配池，布水管道和喷嘴等几部分所组成。（P204，图5-3）
-



排水系统

- 排水系统包括**渗水装置、汇水沟和总排水沟**等。底部空间的高度不应小于0.6m。排水系统设于池的底部，它的作用有二：
 - 一是排除处理后的污水；
 - 二为保证滤池的良好通风。



- 渗水装置的作用是支撑滤料，排出滤过的污水，进入空气。渗水装置上的排水孔隙的总面积不得低于滤池总表面积的20%；渗水装置与池底之间的距离不得小于0.4m。 (P205图5-4)
- 池底以1%—2%的坡度坡向汇水沟，汇水沟宽0.15m，间距2.5—4.0m，并以0.5%—10%的坡度坡向总排水沟，总排水沟的坡度不应小于0.5%，也是为了通风良好，总排水沟的过水断面面积应小于其总断面的50%，沟内流速应大于 $0.7\text{m}/\text{b}$ ，以免发生沉积和堵塞现象。



- BOD容积负荷率：在保证处理水达到要求质量的前提下，每 m^3 滤料在1d内所能接受的BOD量，其表示单位为 $gBOD_5 / (m^3 \text{滤料} \cdot d)$ 。
- 水力负荷率：在保证处理水达到要求质量的前提下，每 m^3 滤料或每 m^2 滤池表面在1日内所能够接受的污水水量(m^3)，其表示单位为 $m^3 / (m^3 \text{滤料} \cdot d)$ 或 $m^3 / (m^2 \text{滤池表面} \cdot d)$ 。
- 处理生活污水或以生活污水为主体的城市污水时，水力负荷值可取 $1 - 3 m^3 / (m^2 \cdot d)$ ，BOD容积负荷为 $0.15 - 0.30 kg / (m^3 \cdot d)$ 。



● 优点是：

- 处理效果良好，矾的去除率可达95%以上；
- 运行稳定、易于管理、节省能源。

● 缺点是：

- 占地面积大、不适于处理量大的污水；
- 滤料易于堵塞、当预处理不够充分、或生物膜季节性大规模脱落时，都可能使滤料堵塞；
- 产生滤池蝇，恶化环境卫生，滤池蝇是一种体型小于家蝇的苍蝇，飞行能力较弱，只在滤池周围飞行；
- 喷嘴喷洒污水，散发臭味。
- 有日渐被淘汰的趋势。



高负荷生物滤池

- 生物滤池的**第二代工艺**
- 首先，大幅度地提高了滤池的负荷率，其BOD容积负荷率高于普通生物滤池6—8倍，水力负荷率则高达10倍。
- 通过限制进水BOD₅值和**在运行上采取处理水回流等技术措施而达到的。**
- **处理水回流可以产生以下各项效应：**
 - 均化与稳定进水水质；
 - 加大水力负荷，及时的冲刷过厚和老化的生物膜，加速生物膜更新，抑制厌氧层发育，使生物膜经常保持较高的活性；
 - 抑制滤池蝇的过度滋长；
 - 减轻散发的臭味。



构造特点

- 在表面上多为圆形。滤料层高一般为2.0m，滤料粒径和相应的层厚度为：**工作层**：层厚1.80m，滤料粒径40~70mm；**承托层**：层厚0.2m，粒径70—100mm。当滤层厚度超过2.0m时，一般应采用人工通风措施。
- 广泛使用由聚氯乙烯、聚苯乙烯和聚酰胺等材料制成的呈波形板状、列管状和蜂窝状等人工滤料。
 - 滤料质轻、高强、耐蚀，每 m^3 滤料重量约43kg左右，表面积可达 $200m^2$ ，空隙率可高达95%



- 多使用旋转式的布水装置，即**旋转布水器**。

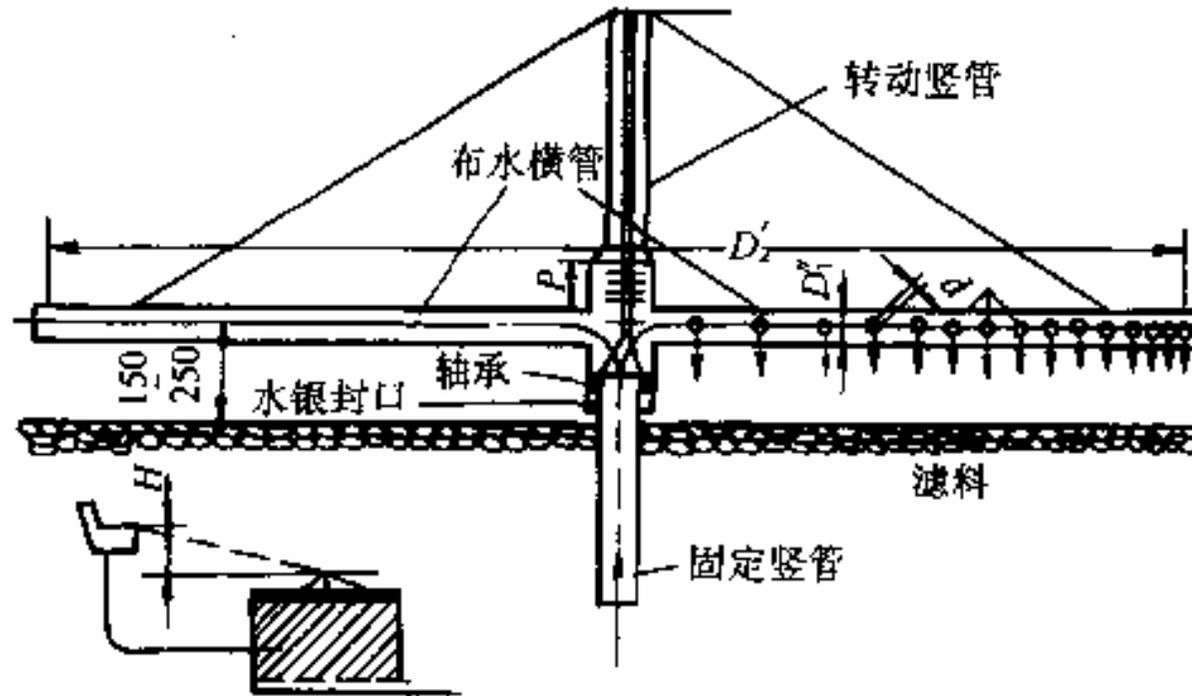


图 5-10 旋转布水器计算示意图



- ④ 污水以一定的压力流入位于池中央处的固定竖管，再流入布水横管，横管有2根或4根，横管中轴距滤池池面0.15~0.25m，横管绕竖管旋转。
- ④ 在横管的同一侧开有一系列间距不等的孔口，中心较疏，周边较密，须经计算确定。污水从孔门喷出，产生反作用力，从而使横管按与喷水相反的方向旋转。
- ④ 所需水头较小，一般介于0.25—0.8m之间，也可以使用电力驱动。



- **BOD容积负荷率**，每 m^3 滤料在每日内所能接受的BOD值，以 $\text{gBOD}_5 / (\text{m}^3 \text{滤料} \cdot \text{d})$ 计，此值一般不宜高于 $1200 \text{gBOD} / (\text{m}^3 \text{滤料} \cdot \text{d})$ ；
- **BOD面积负荷率**，每 m^2 滤池表面在每日所能够接受的 BOD_5 值，以 $\text{gBOD} / (\text{m}^2 \text{滤池面积} \cdot \text{d})$ 计，一般取值介于 $1100—2000 \text{gBOD} / (\text{m}^2 \text{滤池面积} \cdot \text{d})$ 。
- **水力负荷率**，每平方米滤池表面每日所能够接受的污水量，一般介于 $10 \sim 30 \text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间。



塔式生物滤池

- 20世纪50年代初由前民主德国环境工程专家应用气体洗涤塔原理所开创的。属**第三代生物滤池**。
- 在构造上由塔身、滤料、布水系统以及通风及排水装置所组成。
- 一般**高达8—24m**，**直径1—3.5m**，径高比介于1:6—1:8左右，呈塔状。在平面上塔式生物滤池多呈圆形。

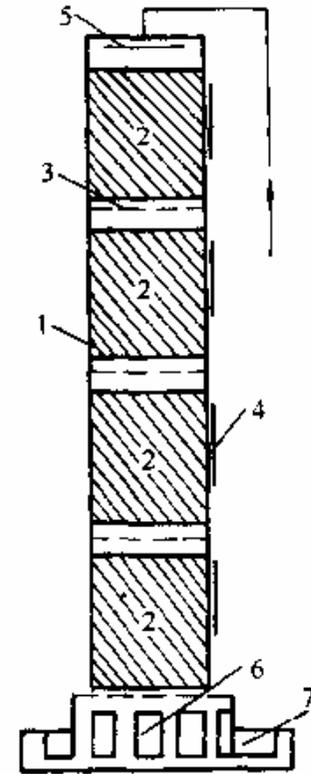


图 5-11 塔式生物滤池构造示意图

1—塔身；2—滤料；3—格栅；4—检修口；5—布水器；6—通风孔；7—集水槽



工艺特征

- 水力负荷率可达 $80—200\text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，为一般高负荷生物滤池的2—10倍，BOD容积负荷率达 $1000-2000\text{gBOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ，较高负荷生物滤池高2-3倍。
- 将进水的 BOD_5 值控制在 500mg/L 以下，否则需采取处理水回流稀释措施。
- 塔滤滤层内部存在着明显的分层现象，在各层生长繁育着种属各异，但适应流至该层污水特征的微生物群集，有助于微生物的增殖、代谢等生理活动，更有助于有机污染物的降解、去除。



曝气生物滤池

- 气液在滤料间隙充分接触，**氧的转移率高**，动力消耗低；
- 自身具有截留原污水中悬浮物与脱落的生物污泥的功能，因此，**勿需设沉淀池**，占地面积少。
- 以**3—5mm的小颗粒**作为滤料，比表面积大，微生物附着力强。
- 池内能够保持大量的生物量，由于截留作用，污水处理效果良好。
- **勿需污泥回流**，也无污泥膨胀之虑，如反冲洗全部自动化，则维护管理也非常方便。

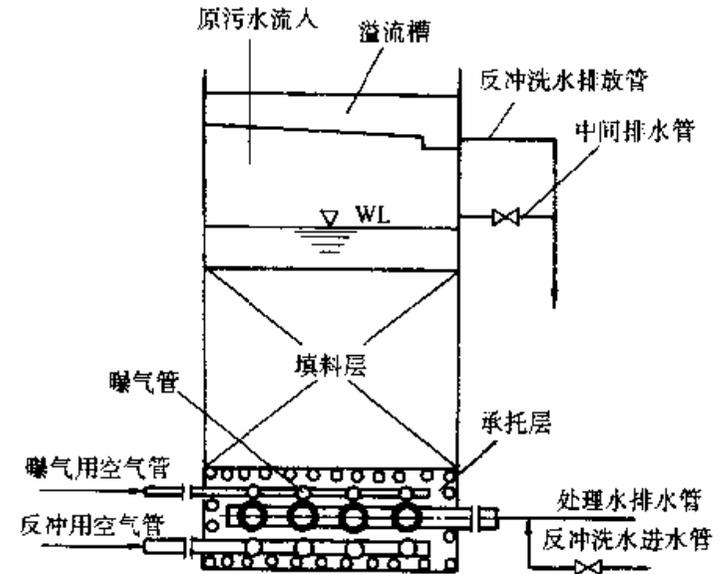


图 5-15 曝气生物滤池构造示意图



生物转盘

- 60年代在原联邦德国所开创的一种污水生物处理技术，是一种净化效果好、能源消耗低的生物处理技术。
- 生物转盘处理系统中，除核心装置生物转盘外，还包括污水预处理设备和二次沉淀池。
- 由盘片、轴、槽、进水管、出水管、刮泥器等组成。转盘面面积的40%出槽内水面10—25cm



图 5-17 生物转盘构造图



- 在转盘上附着的生物膜与污水以及空气之间，除有机物 (BOD、COD) 与 O_2 外，还进行着其他物质，如 CO_2 、 NH_3 等的传递。
- 生物膜逐渐增厚，在其内部形成厌氧层，并开始老化。老化的生物膜在污水水流与盘面之间产生的剪切力的作用下而剥落，剥落的破碎生物膜在二次沉淀池内被截留，生物膜脱落形成的污泥，密度较高、易于沉淀。

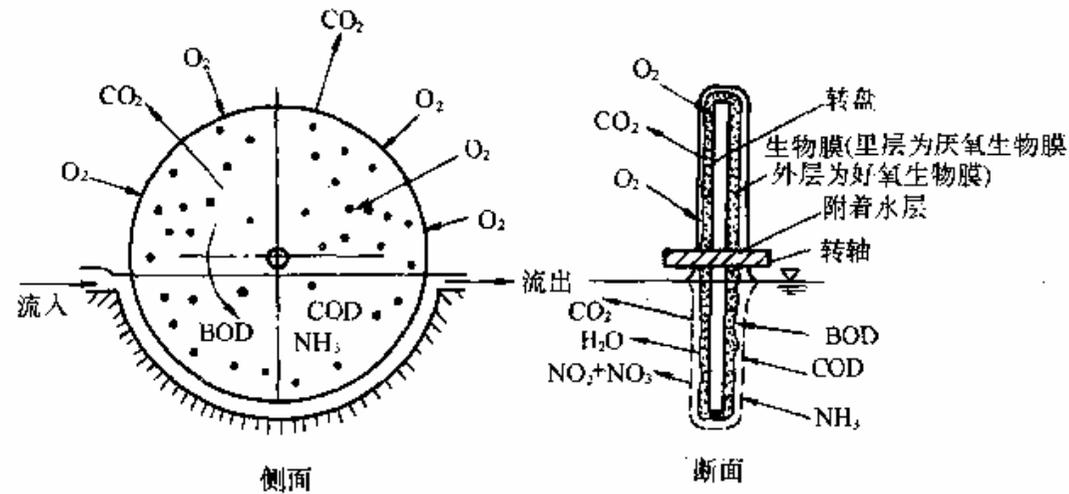


图 5-18 生物转盘净化反应过程与物质传递示意图



工艺特征

- ① 微生物浓度高，特别是最初几级的生物转盘，转盘上的生物膜量如折算成曝气池的MLVSS，可达40000—60000mg/L，F/M为0.05—0.1。
- ② 生物相分级，在每级转盘生长着适应于流入该级污水性质的生物相，对微生物的生长繁育，有机污染物降解非常有利。
- ③ 污泥龄长，在转盘上能够增殖世代时间长的微生物，如硝化菌等，因此，生物转盘具有硝化、反硝化的功能。
- ④ 耐冲击负荷，对BOD值达10000mg/L以上的超高浓度有机污水到10mg/L以下的超低浓度污水可以采用生物转盘进行处理。
- ⑤ 微生物的食物链较长，产生的污泥量较少，约为活性污泥处理系统的1/2左右，在水温为5—20℃的范围内，BOD去除率为90%的条件下，去除1kgBOD的污泥产量约为0.25kg。



- 接触反应槽不需要曝气，污泥也无需回流，因此，动力消耗低，每去除1kgBOD的耗电量约为0.7kwh。
- 便于维护管理，不需要经常调节生物污泥量，不存在产生污泥膨胀的麻烦，复杂的机械设备也比较少。
- 设计合理、运行正常的生物转盘，不产生滤池蝇、不出现泡沫也不产生噪声，不存在发生二次污染的现象。
- 生物转盘的流态，从一个生物转盘单元来看是完全混合型的，在转盘不断转动的条件下，接触反应槽内的污水能够得到良好的混合，但多级生物转盘又应作为推流式，因此，生物转盘的流态，应按完全混合—推流来考虑。



构造特点

① 盘片

- 盘片直径。一般多介于2.0~3.6m之间，甚至可达5.0m。
- 盘片间距的标准值为30mm。
- 盘片材料大多由塑料制成：聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚酯玻璃钢

② 接触反应槽

- 不小于盘片直径的35%浸投于接触反应槽的污水中。
- 盘片边缘与槽内面应留有不小于100mm的间距。
- 槽底应设放空管，两侧设有进出水设备，多采用锯齿形溢流堰。
- 对多级生物转盘，接触反应槽分为若干格，格与格之间设导流槽。



④ 转轴

- 支承盘片并带动其旋转。两端安装在固定在接触反应槽两端的支座上。
- 一般采用实心钢轴或无缝钢管。
- 长度一般应控制在0.5—7.0m之间，其直径一般介于50—80mm。
- 转轴中心与接触反应槽液面的距离一般不应小于150mm，。转轴中心与槽内水面的距离(b)与转盘直径(D)的比值 (b/D) 在0.05—0.15之间。一般取值0.06—0.1。

④ 驱动装置

- 动力设备有电力机械传动、空气传动及水力传动等。



- 宜于采用多级处理方式 (P226-227图)
 - 单级单轴
 - 单轴多级
 - 多轴多级
-



生物接触氧化

- 起源于20世纪20年代、30年代，**发展于70年代。**
- 又称为“**淹没式生物滤池**”——相当于在曝气池内充填供微生物栖息的填料
- 微生物丰富，除细菌和多种种属原生动物和后生动物外，还能够生长氧化能力较强的球衣菌属的丝状菌，而无污泥膨胀之虑。在生物膜上能够形成稳定的生态系统与食物链。
- 填料表面全为生物膜所布满，形成了生物膜的主体结构，由于丝状菌的大量滋生，有可能形成一个呈立体结构的密集的生物网，污水在其中通过起到类似“过滤”的作用，能够有效地提高净化效果。
- 能够保持较高浓度的活性生物量，据实验资料，每 m^2 填料表面上的活性生物膜量可达 $125g$ ，如**折算成MLSS**，则**达 $13g/L$**



运行方面的特征

- 对冲击负荷有较强的适应能力对排水不均匀的企业，更具有实际意义。仍能够保持良好的处理效果。
 - 操作简单、运行方便、易于维护管理，勿需污泥回流，不产生污泥膨胀现象，也不产生滤池蝇。
 - 污泥生成量少，污泥颗粒较大，易于沉淀。
 - 处理工艺流程：P243 - 244
-



生物接触氧化池的构造

● 池体、填料、支架及曝气装置、进出水装置、排泥管道等

● 池体

- 多呈圆形和矩形或方形，用钢板焊接制成或用钢筋混凝土浇灌砌成。池内填料高度为30—35m；底部布气层高为0.6—0.7m；顶部稳定水层0.5—0.6m，总高度约为4.5—5.0m。

● 填料 (P245-246)

- 蜂窝状填料
- 波纹板状填料
- 软性填料
- 半软性填料
- 屑形填料
- 不规则粒状填料
- 球形填料

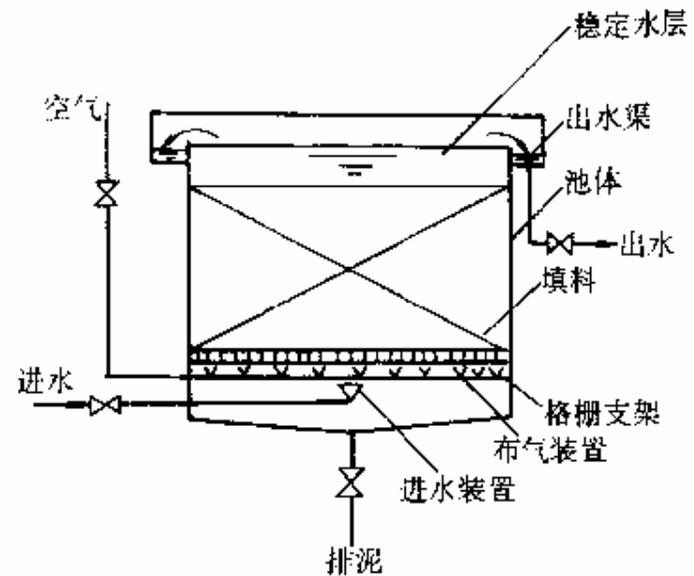


图 5-43 接触氧化池的基本构造图



接触氧化池的形式

- 按曝气装置的位置，分为分流式与**直流式**；按水流循环方式，又分为填料内循环与外循环式。（P247-248）

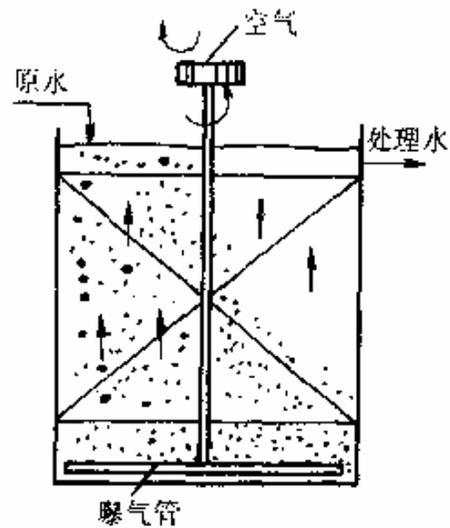


图 5-51 鼓风曝气直流式接触氧化池

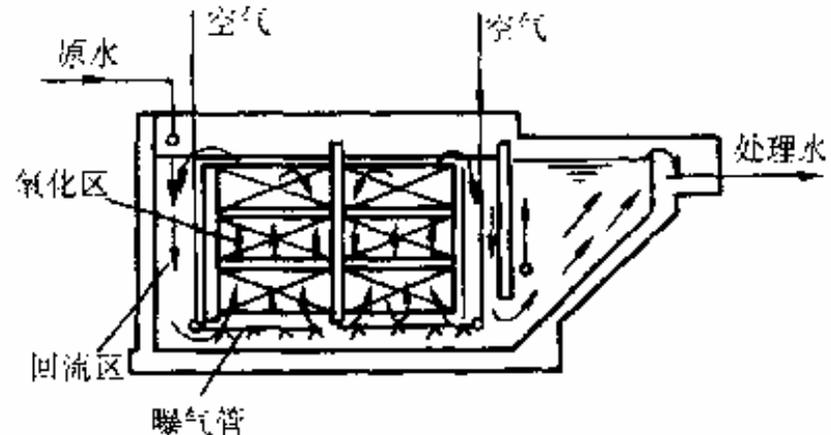


图 5-52 外循环直流式接触氧化池



- ① 70年代出现的生物流化床
- ② 提高处理设备单位容积内的生物量
 - 扩大微生物栖息、繁殖的表面积，提高生物膜量，同时还相应的提高对污水的充氧能力。
- ③ 强化传质作用，加速有机物从污水中向微生物细胞的传递过程。
 - 强化生物膜与污水之间的接触，加快污水与生物膜之间的相对运动。



- 生物流化床是由床体、载体、布水装置、充氧装置和脱膜装置等部分组成
- 是以砂、活性炭、焦炭一类的较小的惰性颗粒为载体充填在床内，载体表面被附着生物膜，其质变轻，随水以一定流速从下向上流动，使载体处于流化状态。
- 总体的表面积大(每 m^3 载体的表面积可达2000-3000 m^2)，以MLSS计算的生物量高于任何一种的生物处理工艺。



液流动力流化床（二相流化床）

- ① 在流化床内只有污水液相)与载体(固相)相接触。而在单独的充氧设备内对污水进行充氧。
- ② 载体上的老化生物膜应及时脱除，为此，在流程中另设脱膜装置，脱膜装置间歇工作，脱除老化生物膜的载体再次返回流化床，脱除下来的生物膜作为剩余污泥排出系统外。

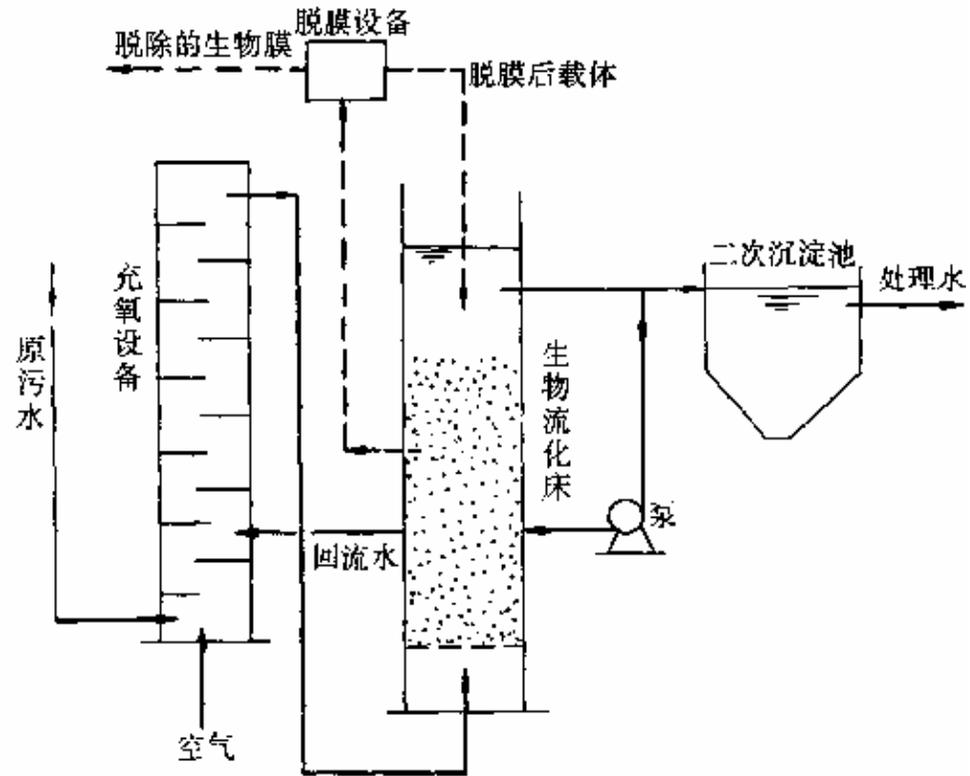


图 5-56 液流动力流化床(二相流化床)



气流动力流化床（三相生物流化床）

- 由三部分组成的，在床体中心设**输送混合管**，其外侧为**载体下降区**，其上部则为**载体分离区**。
- 空气由**输送混合管**的底部进入，在管内形成气、液、固混合体，空气起到空气扬水器的作用，混合液上升，气、液、固三相间产生强烈的混合与搅拌作用，载体之间也产生强烈的摩擦作用，外层生物膜脱落，**输送混合管**起到了**脱膜作用**。

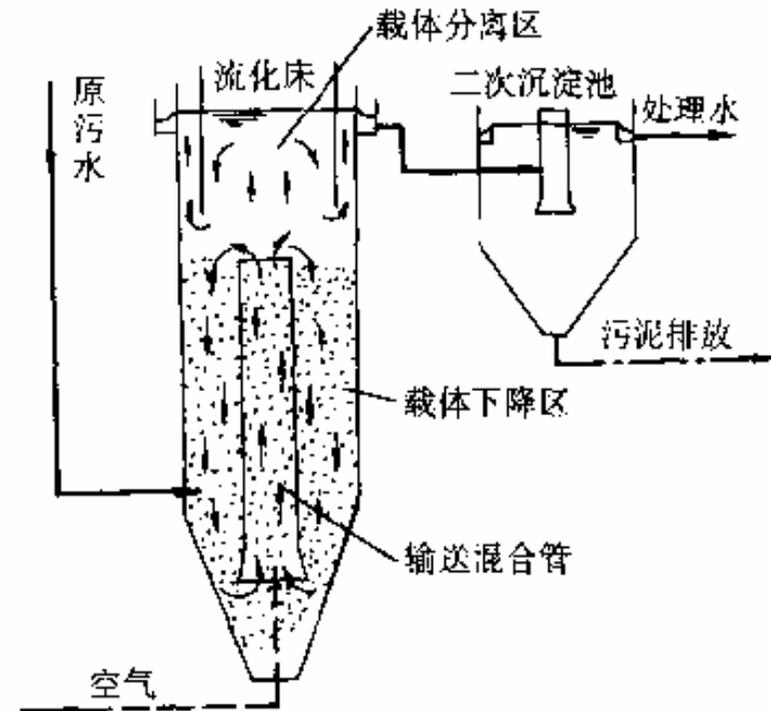


图 5-57 气流动力流化床(三相流化床)



- 又称**悬浮粒子生物膜处理工艺**
- 池内分为反应室与固液分离室两部分，池中央接近于底部安装有叶片搅动器，由安装在池面上的电动机驱动转动以带动载体，使其呈流化悬浮状态。充填的载体为粒径为0.1—0.4mm之间的砂、焦炭或活性炭，粒径小于一般的载体。采用一般的空气扩散装置充氧。



思考题

- ① 生物膜法的工作原理和主要特征是什么？
 - ② 结合生物膜法工艺的演变，分析哪些是其发展要考虑的关键因素？
-



谢谢!

