

教育部高等学校高职高专环保与  
气象类专业教学指导委员会 **推荐教材**

| 全国 高职高专 规划教材 |

# 水污染控制技术

SHUIWURAN KONGZHI JISHU

张宝军 主编

中国环境出版社



扫描全能王 创建

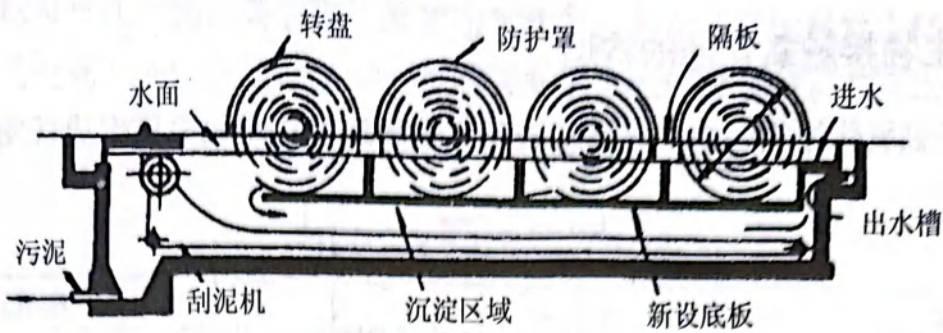


图 7-15 合建式生物转盘

### (三) 活性污泥—生物转盘复合工艺

如图 7-16 所示，在活性污泥曝气池上设生物转盘，以提高原有设备的处理效率。

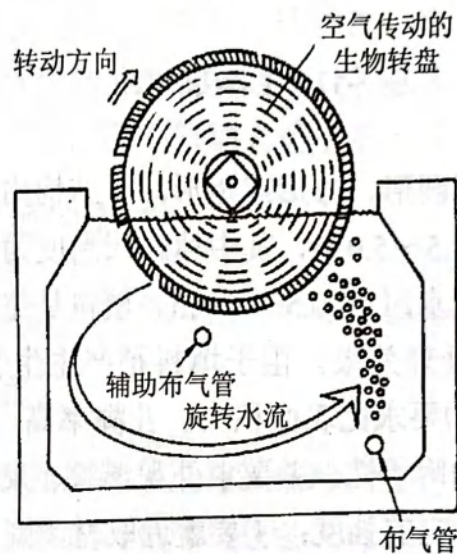


图 7-16 活性污泥—生物转盘复合工艺

## 第四节 生物接触氧化法

生物接触氧化法的反应器为接触氧化池，也称为淹没式生物滤池。于 20 世纪 70 年代在日本首创，近 20 年来，该技术在国内外都取得了长足广泛的发展和应用。生物接触氧化法机理就是：在反应器中填加惰性填料，已经充氧的污水浸没并流经全部惰性填料，污水中的有机物与在填料上的生物膜充分接触，在生物膜上的微生物新陈代谢作用下，有机污染物质被去除。生物接触氧化法处理技术除了上述的生物膜降解有机物机理外，还存在与曝气池相同的活性污泥降解机理，即向微生物提供所需氧气，并搅拌污水和污泥使之混合，因此，这种技术相当于在曝气池内填充供微生物生长繁殖的栖息地——惰性填料，所以此方法又称接触曝气法。





# 一、生物接触氧化池的构造

生物接触氧化池主要由池体曝气装置、填料床及进出水系统组成（图 7-17）

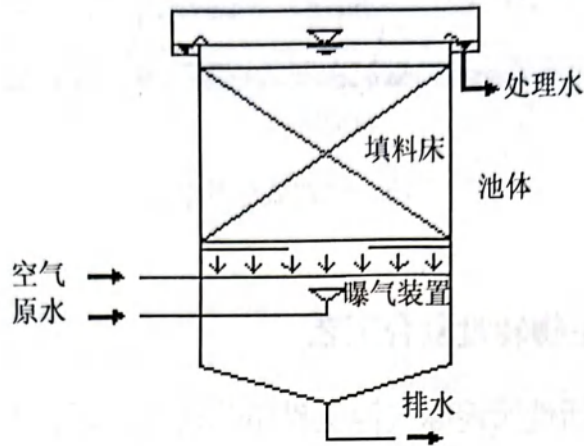


图 7-17 生物接触氧化池

池体的平面形状多采用圆形、方形或矩形，其结构由钢筋混凝土浇注或用钢板焊制。池体的高度一般为 4.5~5.0 m，其中填料床高度为 3.0~3.5 m，底部布气高度为 0.6~0.7 m，顶部稳定水层为 0.5~0.6 m。填料是生物接触氧化池的重要组成部分，它直接影响污水的处理效果。由于填料是产生生物膜的固体介质，所以对填料的性能有如下要求：①要求比表面积大、孔隙率高、水流阻力小、流速均匀；②表面粗糙、增加生物膜的附着性，并要求外观形状、尺寸均一；③化学与生物稳定性较强，经久耐用，有一定的强度；④要就近取材，降低造价，便于运输。

目前，生物接触氧化池中常用的填料有蜂窝状填料、波纹板状填料及软性与半软性填料等（图 7-18）。

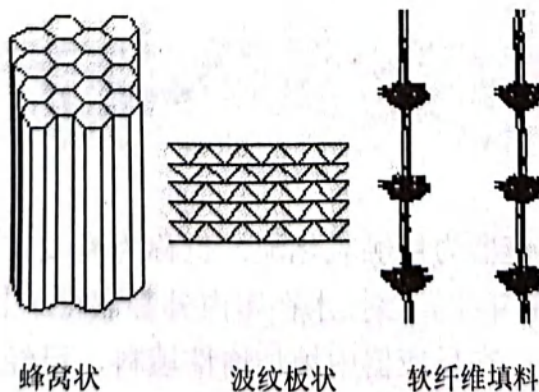


图 7-18 生物接触氧化池中常用填料

曝气系统由鼓风机、空气管路、阀门及空气扩散装置组成。目前常用的曝气装置为穿孔管，孔眼直径为 5 mm，孔眼中心距为 10 cm 左右。布气管一般设在填料



床下部，也可设在一侧。要求曝气装置布气均匀，并考虑到填料发生堵塞时能适当加大气量及提高冲洗能力（表 7-3）。生物接触氧化池的曝气装置亦可采用表面曝气供氧，表面曝气设备详见第六章曝气设备的内容。

表 7-3 填料的有关性能指标

填料种类	材质	比表面积/ (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	孔隙率/%
蜂窝状填料	玻璃钢、塑料	133~360	97~98
波纹板状填料	硬聚氯乙烯	150	95
半软性填料	变性聚乙烯塑料	87~93	97
软性填料	化学纤维	~2 000	~99

进水装置一般采用穿孔管进水，孔眼直径为 5 mm，间距 20 cm 左右，水流出孔流速为 2 m/s。布水穿孔管可设在填料床的下部，也可设在填料床的上部，要求布水均匀。在填料床内，使得污水、空气、微生物三者充分接触，以便生物降解。要考虑填料床发生堵塞时，为冲洗填料加大进水量的可能。

## 二、生物接触氧化池的形式

根据接触氧化池的进水与布气的形式，可将接触氧化池的形式分为以下几种。

### (一) 表面曝气充氧式

如图 7-19 所示，此种接触氧化池与活性污泥法完全混合曝气池相类似。其池中心为曝气区，池上面安装表面机械曝气设备，污水从池底中心配入，中心曝气区的周围充满填料，称之为接触区；处理水自下而上呈上向流，处理水从池顶部出水堰流出，排出池外。

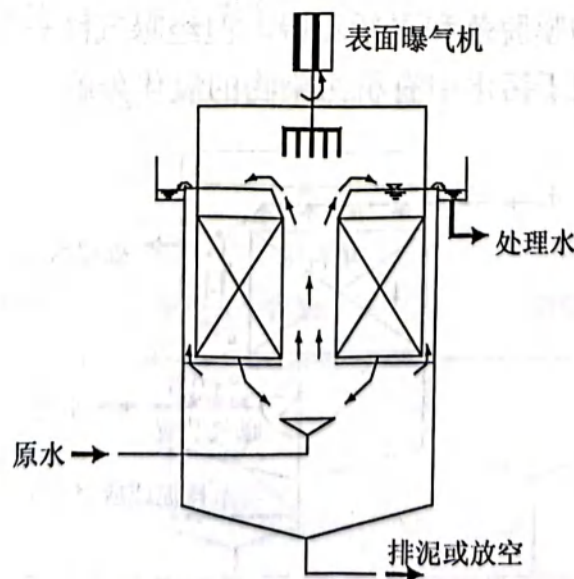


图 7-19 生物接触氧化池的构造





## (二) 采用鼓风曝气、底部进水、底部进空气式

如图 7-20 所示，处理水和空气均从池底部均匀布入填料床上，填料、污水在填料中产生上向流，填料表面的生物膜直接受水流和气流的冲击、搅拌，加速生物膜的脱落与更新，使生物膜保持良好的活性，有利于水中有机污染物质的降解，同时上升流可以避免填料堵塞现象。此外，上升的气泡经填料床时被切割为更小的气泡，使得气泡与水的接触面积增加，氧的转移率增高。

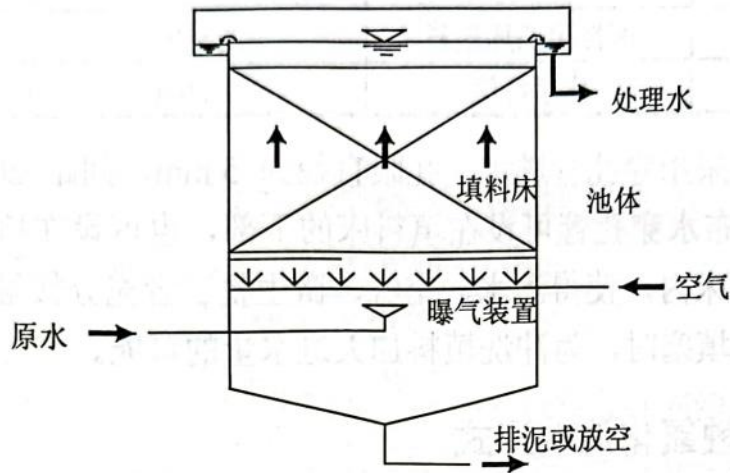


图 7-20 底部进水、进气式生物接触氧化池

## (三) 用鼓风曝气、空气管侧部进气、上部进水式

如图 7-21 所示，填料设在池的一侧，另一侧通入空气为曝气区，原水先进入曝气区，经过曝气充氧后，缓缓流经填料区与填料表面的生物膜充分接触，污水反复在填料区和曝气区循环，处理水在曝气区排出池体。由于空气和污水没有直接冲击填料，填料表面的生物膜脱落和更新较慢，但经曝气区充氧的污水，以相对静态的形式流过填料区，有利于污水中有机污染物的氧化分解。

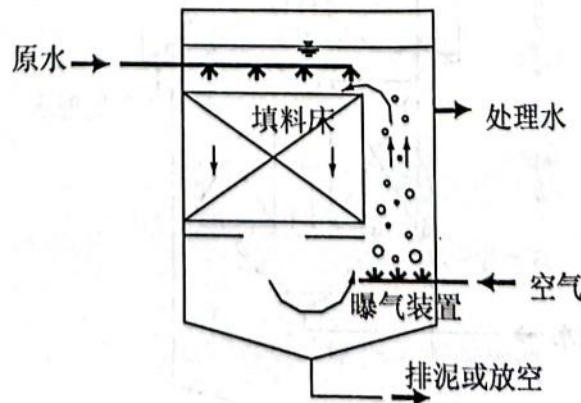


图 7-21 侧部进气、上部进水式生物接触氧化池



### 三、生物接触氧化池的特点

在生物接触氧化池内安装有填料，在充氧的条件下充满污水，填料淹没在污水之中。污水以一定的流速流经填料，由于填料上已经挂有生物膜，污水与生物膜得到充分接触。在生物膜上微生物的新陈代谢作用下，污水中有机物得到去除，污水得到净化。因此，生物接触氧化池又称为淹没式生物滤池。

另外，生物接触氧化处理技术在处理过程中，采用与曝气池相同的曝气方法，提供微生物氧化有机物所需要的氧量，并起搅拌混合作用。这就相当于在曝气池中添加填料，供微生物栖息，所以又可将其称为接触曝气池。

综上所述，生物接触氧化是介于活性污泥法与生物滤池两者之间的处理技术，也可以说生物接触氧化法是具有活性污泥法特点的生物膜法，它综合了曝气池和生物滤池两者的优点。因此，应用广泛，在污水处理领域很受重视。

净化污水主要靠填料上的生物膜。此外池中尚存在一定浓度、类似活性污泥的悬浮生物量，对污水也起一定的净化作用。

生物接触氧化池的优缺点：

(1) 主要优点：①对冲击负荷有较强的适应能力；②污泥量少，不产生污泥膨胀，出水水质有保证；③不产生滤池蝇，也不散发臭味；④具有一定的脱氮除磷功能，可用于三级处理。

(2) 主要缺点：①若运行或设计不当，填料可能发生堵塞；②布水、布气不易均匀。

### 四、生物接触氧化池工艺设计

#### (一) 生物接触氧化池的工艺流程

对生物接触氧化池的工艺流程，可分为一级处理流程、二级处理流程和多级处理流程。

##### 1. 一级处理流程

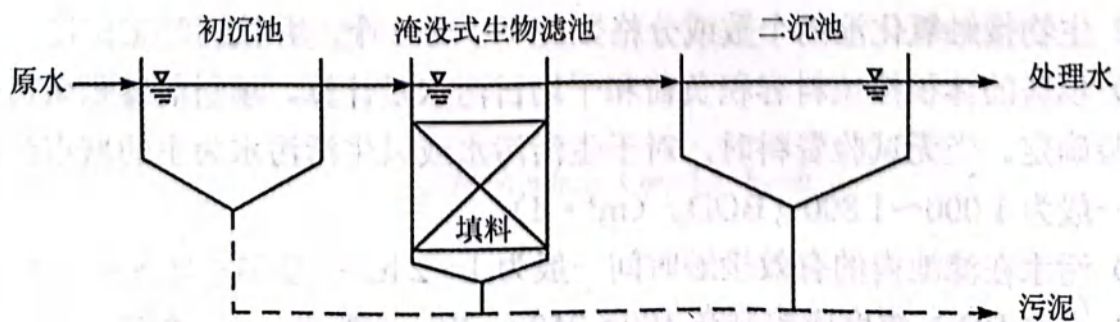


图 7-22 生物接触氧化技术一级处理流程





从图 7-22 可以看出, 原污水先经初次沉淀池处理后进入生物接触氧化池, 经接触氧化后, 水中的有机物被氧化分解, 脱落或老化的生物膜与处理水进入二次沉淀池进行泥水分离, 经沉淀后, 沉泥排出处理系统, 二沉池沉淀后的水作为处理水排放。

## 2. 二级处理流程

如图 7-23 所示, 在二级处理流程中, 两段接触氧化池串联运行, 两个氧化反应池中间的沉淀池可以设也可以不设。在一段接触氧化池内有机污染物与微生物比值较高, 即  $F/M$  大于 2.2, 微生物处于对数增殖期, BOD 负荷率高, 有机物去除较快, 同时生物膜增长亦较快。在后级接触氧化池内  $F/M$  一般为 0.5 左右, 微生物增殖处于减速增殖期或内源呼吸期, BOD 负荷低, 处理水水质提高。

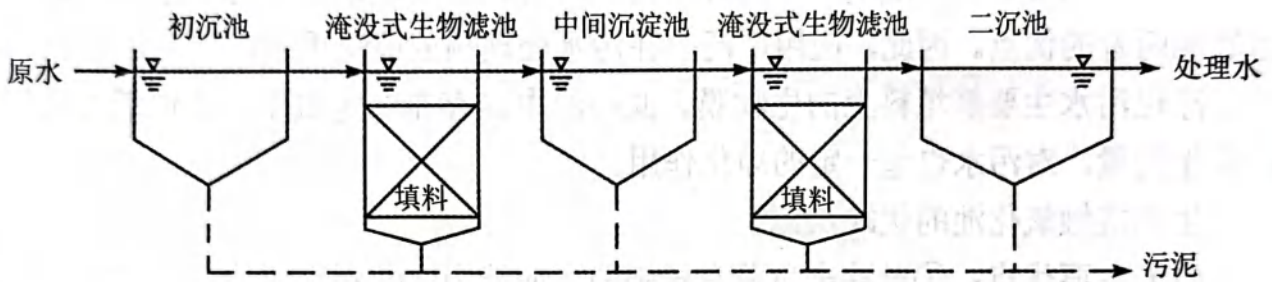


图 7-23 生物接触氧化技术二级处理流程

## 3. 多级处理流程

多级处理流程是连续串联 3 座或多个接触氧化池组成的系统。多级生物接触氧化池, 在各池内的有机污染物的浓度差异较大, 前级池内的 BOD 浓度高, 后级则很低, 因此, 在每个池内的微生物相有很大不同。前级以细菌为主, 后级可出现原生动物或后生动物。这对处理效果有利, 处理水水质非常稳定。另外, 多级接触氧化池具有硝化和生物脱氮功能。

### (二) 设计计算

#### 1. 生物接触氧化池的设计参数

- (1) 生物接触氧化池的个数或分格数应不少于 2 个, 并按同时工作设计。
- (2) 填料的体积按填料容积负荷和平均日污水量计算。填料的容积负荷一般应通过试验确定。当无试验资料时, 对于生活污水或以生活污水为主的城市污水, 容积负荷一般为  $1\ 000\sim 1\ 800\ \text{g BOD}_5/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。
- (3) 污水在滤池内的有效接触时间一般为  $1\sim 2\ \text{h}$ 。
- (4) 进水  $\text{BOD}_5$  浓度应控制在  $100\sim 250\ \text{mg/L}$ 。
- (5) 填料层总高度一般为  $3\ \text{m}$ 。当用蜂窝填料时, 一般应分层装填, 每层高



为 1 m, 蜂窝孔径应不小于  $\phi 5$  mm。

(6) 生物接触氧化池中的溶解氧含量一般应维持在 2.5~3.5 mg/L, 气水比为 15~20:1。

(7) 为保证布水、布气均匀, 每格滤池面积一般应不大于 25 m<sup>2</sup>。

## 2. 生物接触氧化池的计算

与其他生化处理构筑物类似, 仍采用负荷率法。

(1) 生物接触氧化池的有效容积 (填料体积)

$$V = \frac{Q(L_a - L_c)}{N} \quad (7-19)$$

式中:  $V$ ——滤池有效容积, m<sup>3</sup>;

$Q$ ——平均日污水量, m<sup>3</sup>/d;

$L_a$ ——进水 BOD<sub>5</sub> 浓度, mg/L;

$L_c$ ——出水 BOD<sub>5</sub> 浓度, mg/L;

$N$ ——容积负荷, g BOD<sub>5</sub> / (m<sup>3</sup> · d)。

(2) 滤池总面积

$$F = V/H \quad (7-20)$$

式中:  $F$ ——滤池总面积, m<sup>2</sup>;

$H$ ——填料总高度, m, 一般  $H=3$  m。

(3) 滤池格数

$$n = F/f \quad (7-21)$$

式中:  $n$ ——滤池格数 (个),  $n \geq 2$  个;

$f$ ——每格滤池面积, m<sup>2</sup>,  $f \leq 25$  m<sup>2</sup>。

(4) 校核接触时间

$$t = \frac{nfH}{Q} \quad (7-22)$$

式中:  $t$ ——滤池有效接触时间, h。

(5) 滤池总高度

$$H_0 = H + h_1 + h_2 + (m-1)h_3 + h_4 \quad (7-23)$$

式中:  $H_0$ ——滤池总高度, m;

$h_1$ ——超高, m,  $h_1=0.5 \sim 0.6$  m;

$h_2$ ——填料上水深, m,  $h_2=0.4 \sim 0.5$  m;





$h_3$ ——填料层间隙高, m,  $h_3=0.2\sim 0.3$  m;

$m$ ——填料层数, 层;

$h_4$ ——配水区高度, m, 当采用多管曝气时, 不考虑进入检修者,  $h_4=0.5$  m;  
考虑进入检修者,  $h_4=1.5$  m。

#### (6) 需氧量

$$D=QD_0 \quad (7-24)$$

式中:  $D$ ——需气量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;

$D_0$ ——每立方米污水需气量,  $\text{m}^3/\text{m}^3$ 。

**【例 7-3】** 已知某居民区污水量  $Q=2\,500\text{ m}^3/\text{d}$ , 污水  $\text{BOD}_5$  浓度  $L_a=100\sim 150\text{ mg/L}$ 。拟采用生物接触氧化池处理, 出水  $\text{BOD}_5$  浓度  $L_e\leq 20\text{ mg/L}$ 。试设计生物接触氧化池。

解:

#### (1) 确定设计参数

① 平均时污水量:  $Q=2\,500\text{ m}^3/\text{d}=2\,500/24=104\text{ m}^3/\text{h}$

② 进水  $\text{BOD}_5$  浓度:  $L_a=150\text{ mg/L}$

③ 出水  $\text{BOD}_5$  浓度:  $L_e=20\text{ mg/L}$

④  $\text{BOD}_5$  去除率:  $\eta = \frac{L_a - L_e}{L_a} = \frac{150 - 20}{150} = 0.867 = 86.7\%$

⑤ 根据试验资料确定:

a. 填料容积负荷  $N=1.5\text{ kgBOD}_5/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$

b. 有效接触时间  $t=2\text{ h}$

c. 气水比  $D_0=15\text{ m}^3/\text{m}^3$

#### (2) 生物接触氧化池计算

① 有效容积  $V = \frac{Q(L_a - L_e)}{N} = \frac{2\,500(150 - 20)}{1\,500} = 216.7\text{ m}^3$

② 滤池总面积 设  $H=3\text{ m}$ , 分 3 层, 每层高 1 m, 故  $F=V/H=216.7/3=72.2\text{ m}^2$

③ 每格滤池面积 采用 4 格滤池, 每格滤池面积:

$$f = F/4 = 72.2/4 = 18\text{ m}^2 < 25\text{ m}^2$$

每格滤池尺寸  $L \times B = 4.5\text{ m} \times 4\text{ m}$

④ 有效接触时间:  $t = \frac{\eta f H}{Q} = \frac{4 \times 18 \times 3}{104} = 2.08\text{ h}$

⑤ 滤池总高度:  $H_0 = H + h_1 + h_2 + (m - 1)h_3 + h_4$

其中取  $H=3.0\text{ m}$ ,  $h_1=0.5\text{ m}$ ,  $h_2=0.5\text{ m}$ ,  $h_3=0.3\text{ m}$ ,  $m=3$ ,  $h_4=1.5\text{ m}$



$$H_0=3.0+0.5+0.5+2\times 0.3+1.5=6.1\text{ m}$$

⑥污水在池内实际停留时间:

$$t'=\frac{nf(H_0-h_1)}{Q}=\frac{4\times 18\times(6.1-0.5)}{104}=3.88\text{ h}$$

⑦选用 5 mm 蜂窝形玻璃钢填料, 所需填料总体积:

$$V=nfH=4\times 18\times 3=216\text{ m}^3$$

⑧采用多孔管鼓风机曝气供氧, 所需空气量:

$$D=QD_0=2\ 500\times 15=37\ 500\text{ m}^3/\text{d}$$

⑨每格滤池所需空气量:

$$D_1=D/n=D/4=0.25\times 37\ 500=9\ 375\text{ m}^3/\text{d}=390.6\text{ m}^3/\text{h}$$

⑩空气管路计算略。

## 第五节 生物流化床

进一步强化生物处理技术, 加强微生物群体降解有机物的功能, 提高生物处理设备处理污水的效率, 其关键的技术条件是: ①提高处理设备单位容积内的生物量; ②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。

对第一项条件采取的技术措施, 是扩大微生物栖息、繁殖的表面积, 提高生物膜量, 同时还相应地提高对污水的充氧能力。

对第二项条件采取的技术措施, 是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。

生物膜法发展过程, 就是对这两项条件采取的具体技术措施的发展过程。

20 世纪 70 年代出现的生物流化床, 为这两项条件, 提供了实现的可能。

流化床是用于化工领域的一项工艺, 从 20 世纪 70 年代初期开始, 一些国家将这一技术应用于污水生物处理领域, 开展了多方面的科学研究工作。结果, 这种工艺的应用进一步提高了污水生物处理效果, 因此, 受到污水生物处理领域专家们的重视, 并被认为是污水生物处理技术的发展方向。

流化床以砂、活性炭、焦炭一类的较小的惰性颗粒为载体充填在床内, 由于载体表面被覆着生物膜, 其质变轻, 污水以一定流速从下向上流动, 使载体处于流化状态。载体颗粒小, 总体的表面积大(每立方米载体的表面积可达  $2\ 000\sim 3\ 000\text{ m}^2$ ),

