

水污染处理基本工艺流程（P188）

污水处理的基本方法

按处理方法的性质分：

- ❖ **物理方法**：格栅过滤、沉淀法、浮选法、离心分离、膜分离法等
- ❖ **化学方法**：混凝、化学沉淀、中和、萃取、氧化还原、电解等
- ❖ **生物方法**：好氧、厌氧法

按照水质状况及处理后水的去向分：

- ❖ **一级处理：**机械处理（预处理阶段）
- ❖ **二级处理：**主体工艺为生化处理（主体）
- ❖ **三级处理：**控制富营养化和重新回用

污水处理基本工艺流程



图3-21 污水处理基本工艺流程

污水的一级处理

❖ **方法：**物理处理方法

❖ **设备：**格栅、筛网、沉砂池、沉淀池、隔油池等构筑物

❖ **目标污染物：**废水中的悬浮物、浮油，初步调整pH值

❖ **效果：**减轻废水的腐化程度。

污水一级处理的工艺

❖ 调节池

❖ 格栅

❖ 沉砂池

❖ 沉淀池

I. 调节池

- 为了保证后续处理构筑物或设备的正常运行，需对污水的**水量**和**水质**进行调节。
- 酸性污水和碱性污水在调节池内进行混合，可达到**中和**的目的。
- 短期排出的高温污水也可用调节的办法来**平衡水温**。



II. 格栅

➤是由一组平行的金属栅条制成的金属框架，斜置在废水流经的渠道上，或泵站集水池的进口处，用以截阻大块的呈悬浮或漂浮状态的固体污染物，以免堵塞水泵和沉淀池的排泥管。截留效果取决于缝隙宽度和水的性质。



GF回转式格栅除污机



III.沉砂池

1.作用

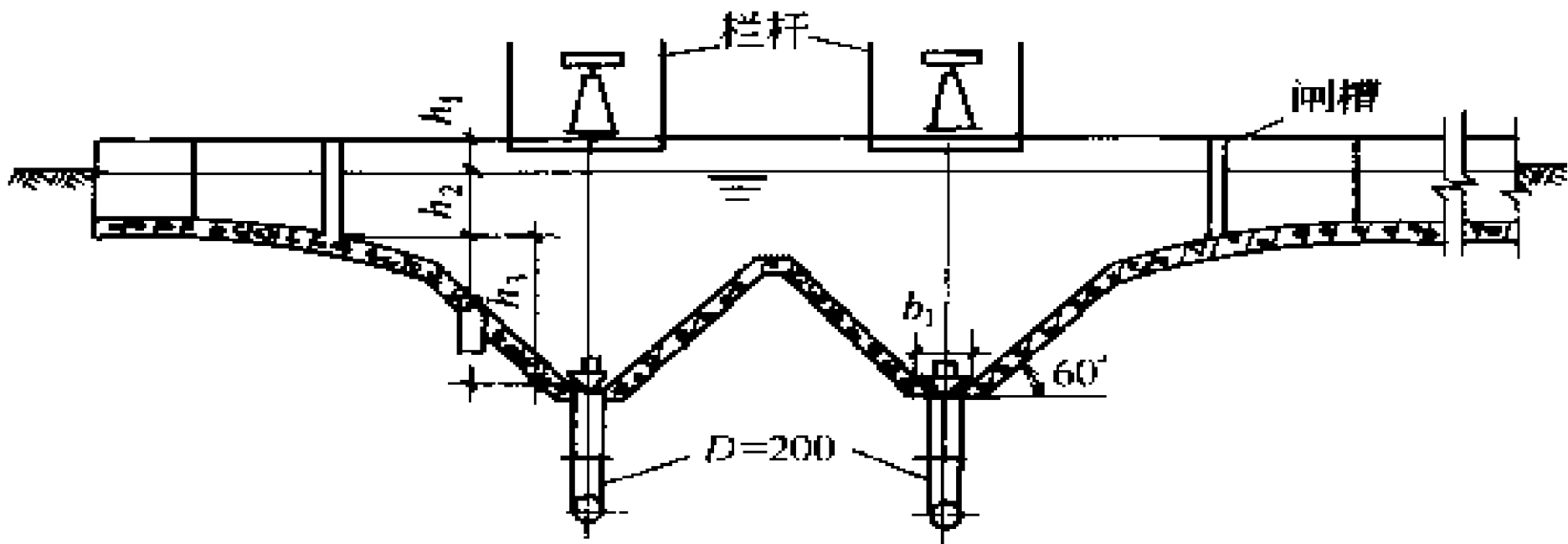
从污水中分离密度较大的无机颗粒，保护水泵和管道免受磨损，缩小污泥处理构筑物容积，提高污泥有机组分的含率，提高污泥作为肥料的价值。

2.沉砂池类型

➤ 平流式（重力式）沉砂池

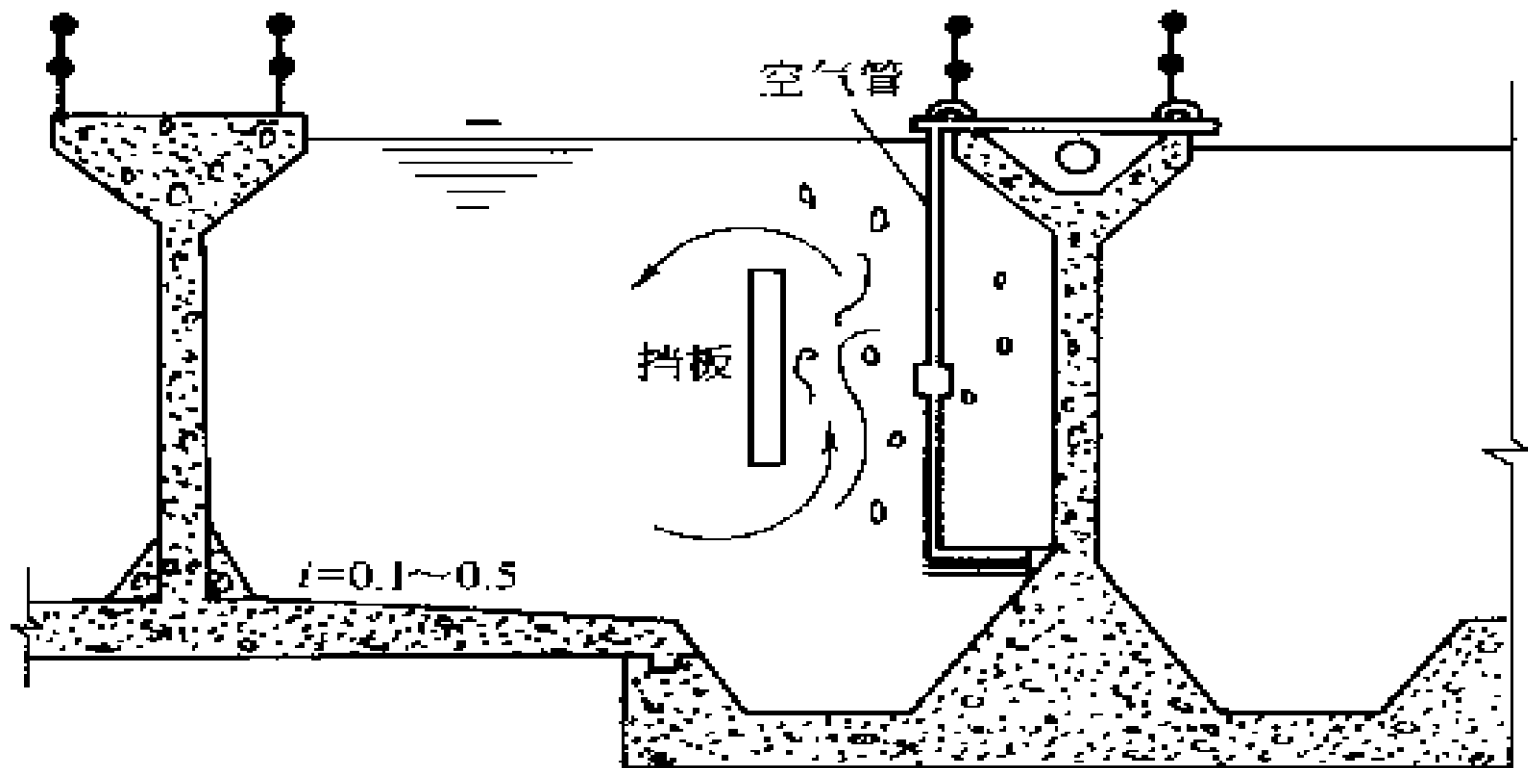
➤ 曝气式沉砂池

A. 平流式沉砂池

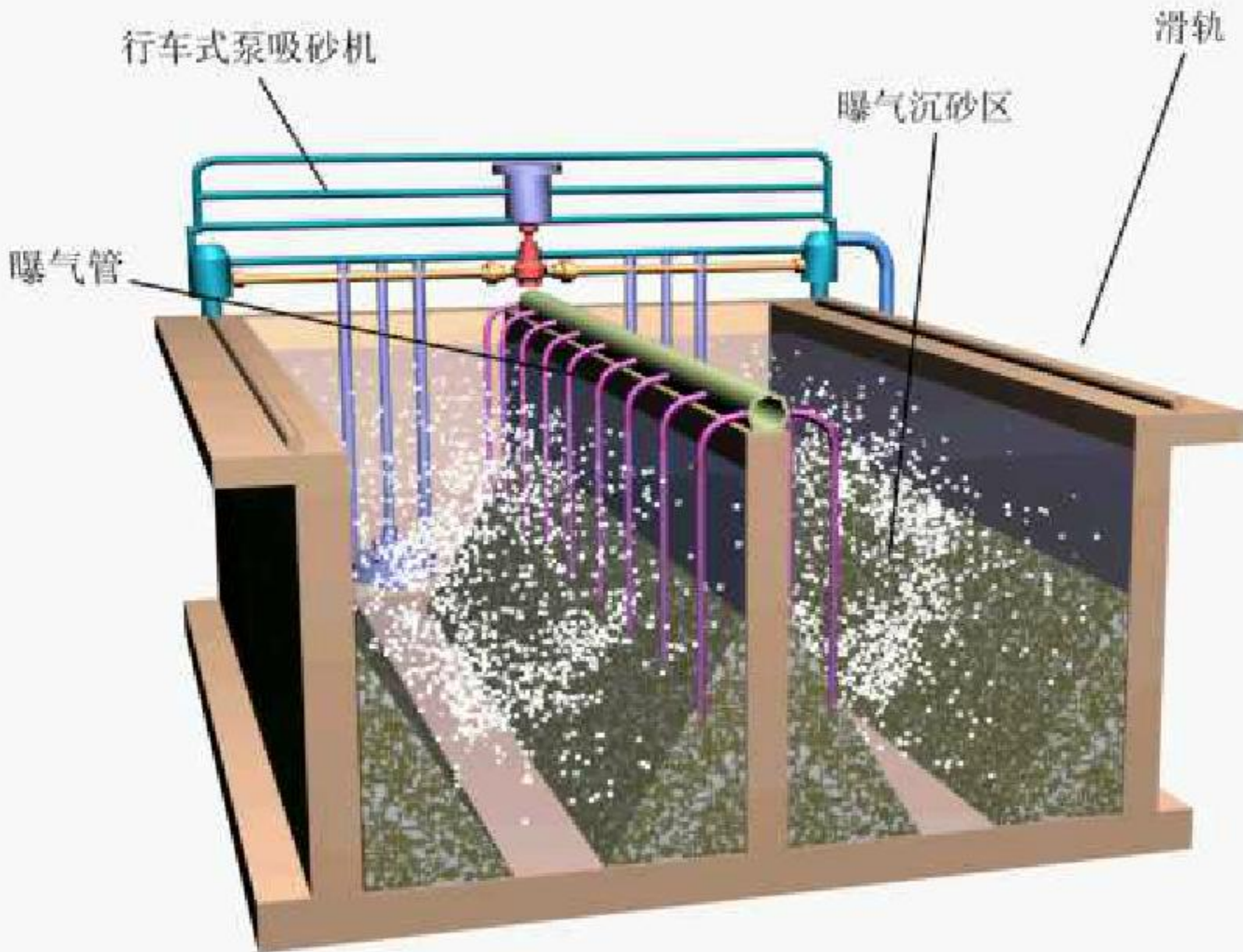


❖ 平流式沉砂池实际上是一个比人流渠道和出流渠道宽而深的渠道，当污水流过时，由于过水断面增大，水流速度下降，废水中夹带的无机颗粒在重力的作用下下沉，从而达到分离水中无机颗粒的目的。

B.曝气沉砂池



- ❖ 曝气沉砂池是在长方形水池的一侧通入空气，使污水旋流运动，流速从周边到中心逐渐减小，砂粒在池底的集砂槽中与水分离，污水中的有机物和从砂粒上冲刷下来的污泥仍呈悬浮状态，随着水流进入后面的处理构筑物。



曝气沉砂池

- ❖ **普通沉砂池的最大缺点**就是在其截留的沉砂中夹杂有一些有机物，这些有机物的存在，**使沉砂易于腐败发臭**，夏季气温较高时尤甚，这样对沉砂的处理和周围环境产生不利影响。普通沉砂池的另一缺点是对有机物包裹的砂粒截留效果较差。
- ❖ **曝气沉砂池的优点**是除砂效率稳定，受进水流量变化的影响较小。水力旋转作用**使砂粒与有机物分离效果较好**，从曝气沉砂池排出的沉砂中，有机物只占**5%左右**，长期搁置也**不会腐败发臭**。曝气沉砂过程的同时，还能起到**气浮油并吹脱挥发性有机物**的作用和**预曝气充氧并氧化部分有机物**的作用。

IV.沉淀池



- ❖ 沉淀池是利用重力沉降作用将密度比水大的悬浮颗粒从水中去除的处理构筑物。
- ❖ 结构（水区、沉淀区、污泥区、缓冲区和出水区）
 1. 进水区和出水区：使水流均匀地流过沉淀池，避免短流和减少紊流对沉淀产生的不利影响，同时减少死水区、提高沉淀池的容积利用率
 2. 沉淀区也称澄清区，即沉淀池的工作区：沉淀颗粒与废水分离的区域
 3. 污泥区：是污泥贮存、浓缩和排出的区域
 4. 缓冲区：是分隔沉淀区和污泥区的水层区域，保证已经沉淀的颗粒不因水流搅动而再行浮起。

沉淀池和沉砂池的区别

- ❖ **沉砂池**一般是设在污水处理厂生化构筑物之前的泥水分离的设施。分离的沉淀物质多为颗粒较大的砂子，沉淀物质比重较大，无机成分高，含水量低。污水在迁移、流动和汇集过程中不可避免会混入泥砂。污水中的砂如果不预先沉降分离去除，则会影响后续处理设备的运行。最主要的是磨损机泵、堵塞管网，干扰甚至破坏生化处理工艺过程。
- ❖ **沉淀池**一般是在生化前或生化后泥水分离的构筑物，多为分离颗粒较细的污泥。在生化之前的称为**初沉池**，沉淀的污泥无机称为较多，污泥含水率相对于二沉池污泥低些。位于生化之后的沉淀池一般称为**二沉池**，多为有机污泥，污泥含水率较高。

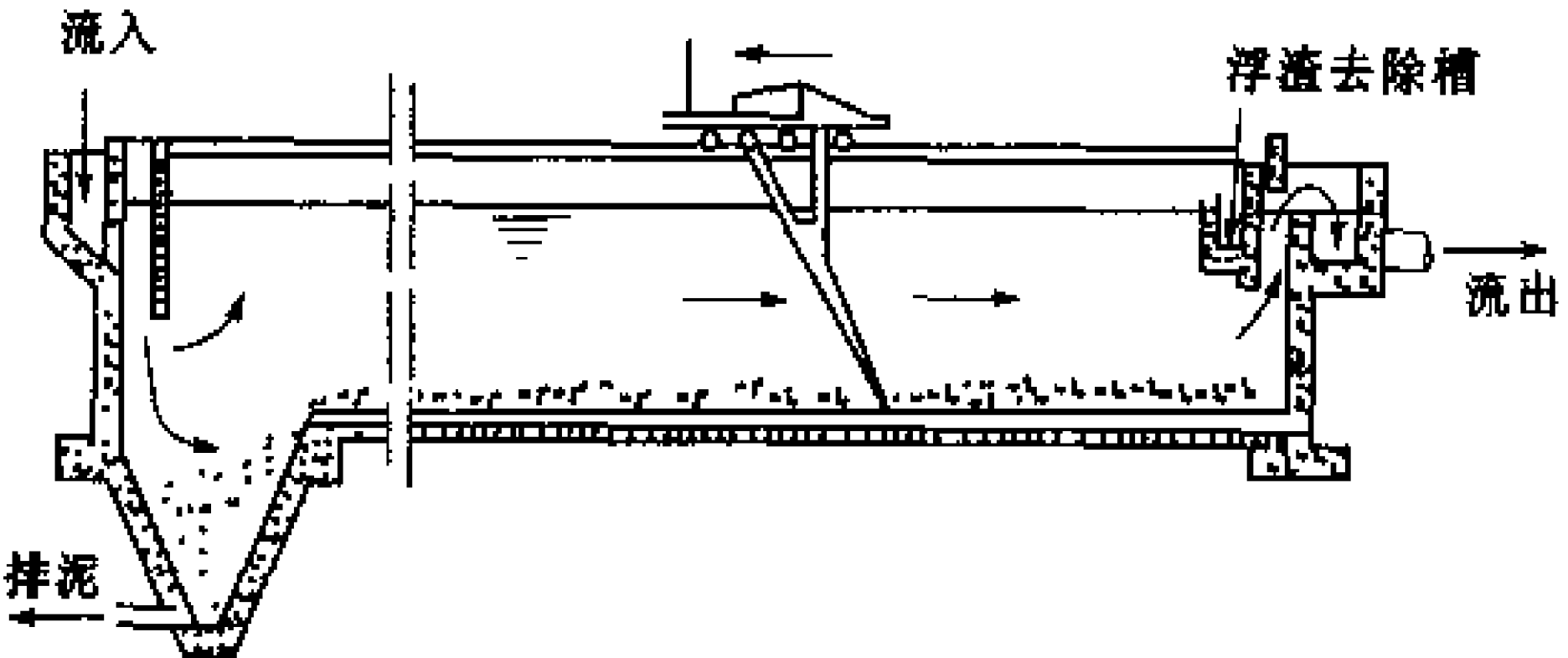
沉淀原理

- ◆沉淀池是利用水流中悬浮杂质颗粒向下沉淀速度大于水流向下流动速度、或向下沉淀时间小于水流流出沉淀池的时间时能与水流分离的原理实现水的净化。

常见的几种沉淀池类型

- 平流式沉淀池
- 竖流式沉淀池
- 幅流式沉淀池
- 斜流式沉淀池

A. 平流式沉淀池



- 构造简单，沉淀效果较好，但占地面积较大，排泥存在的问题较多，目前大、中、小型污水处理厂均有采用。

B. 竖流式沉淀池

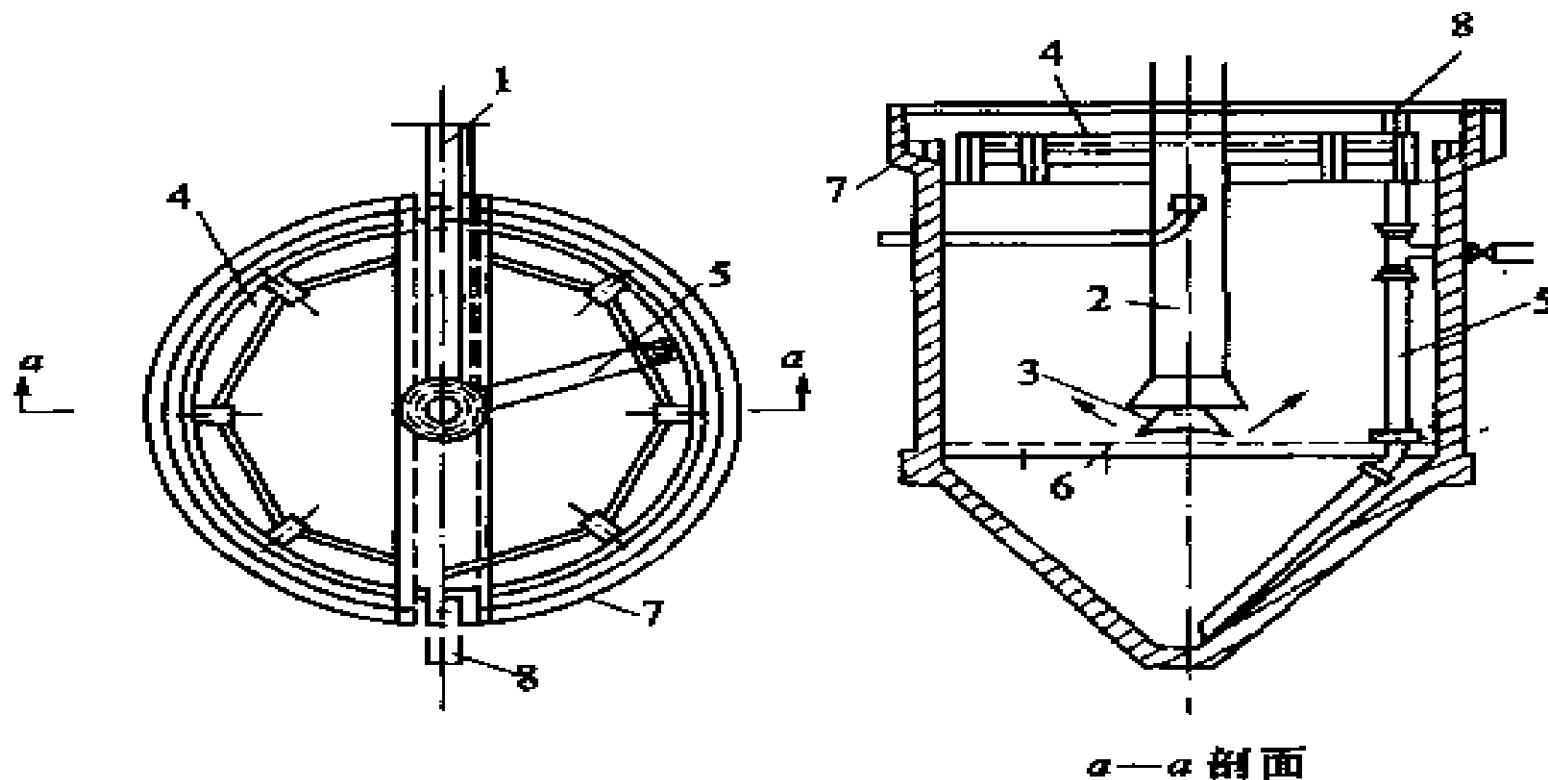
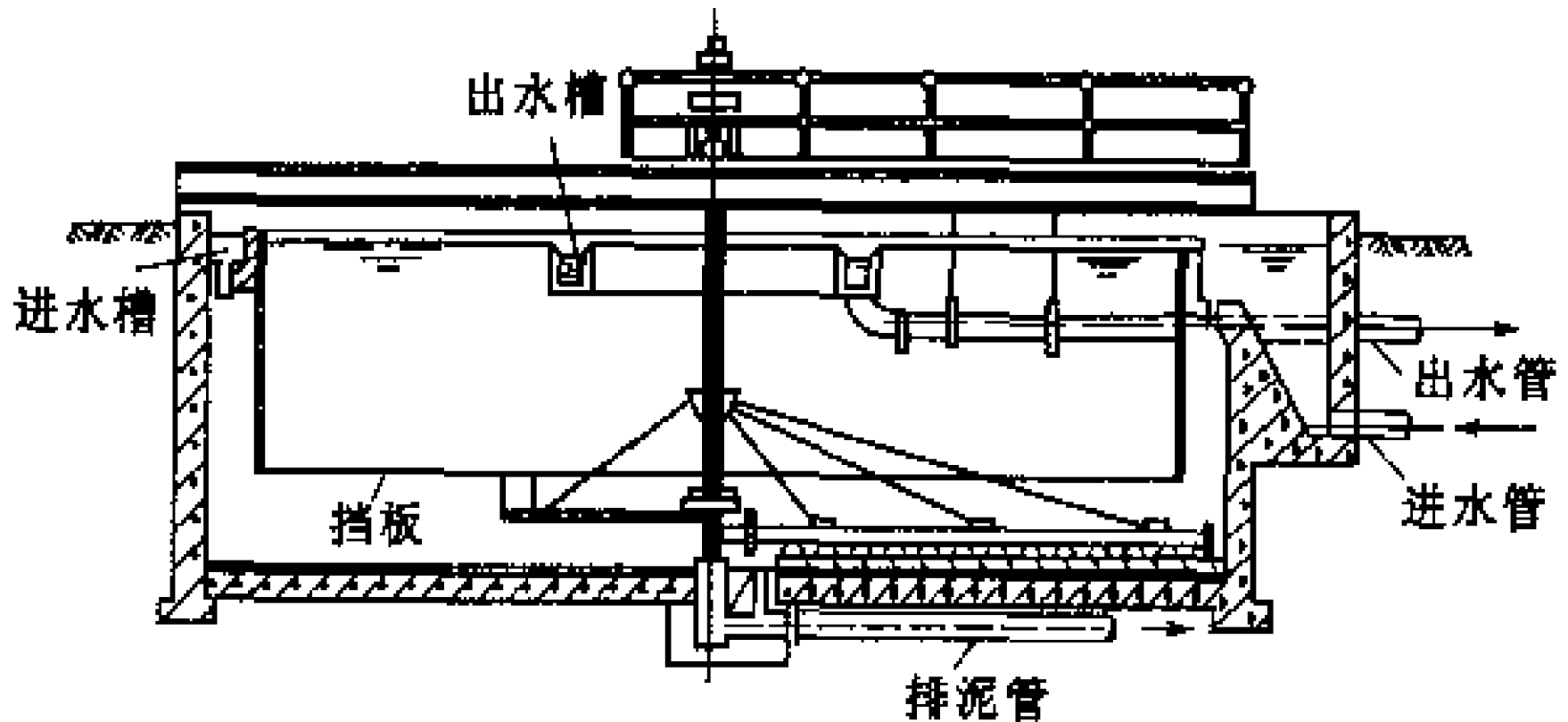


图 3.18 圆形竖流式沉淀池

1— 进水槽；2— 中心管；3— 反射板；4— 挡板；5— 排泥管；6— 缓冲层；7— 集水槽；8— 出水管

- 占地面积小，排泥较方便，且便于管理，然而池深过大，施工困难，造价高，因此一般仅适用于中小型污水处理厂使用

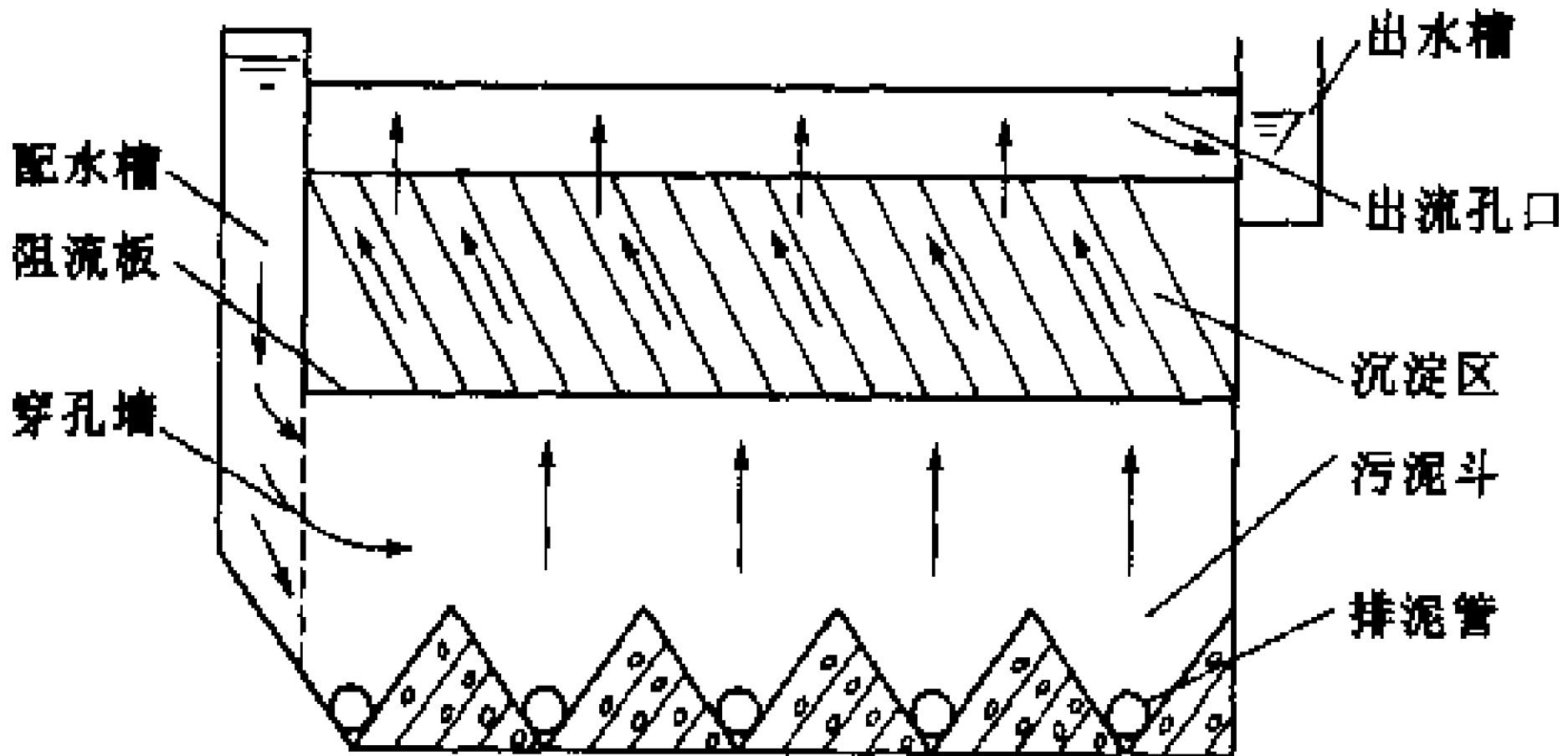
C.幅流式沉淀池



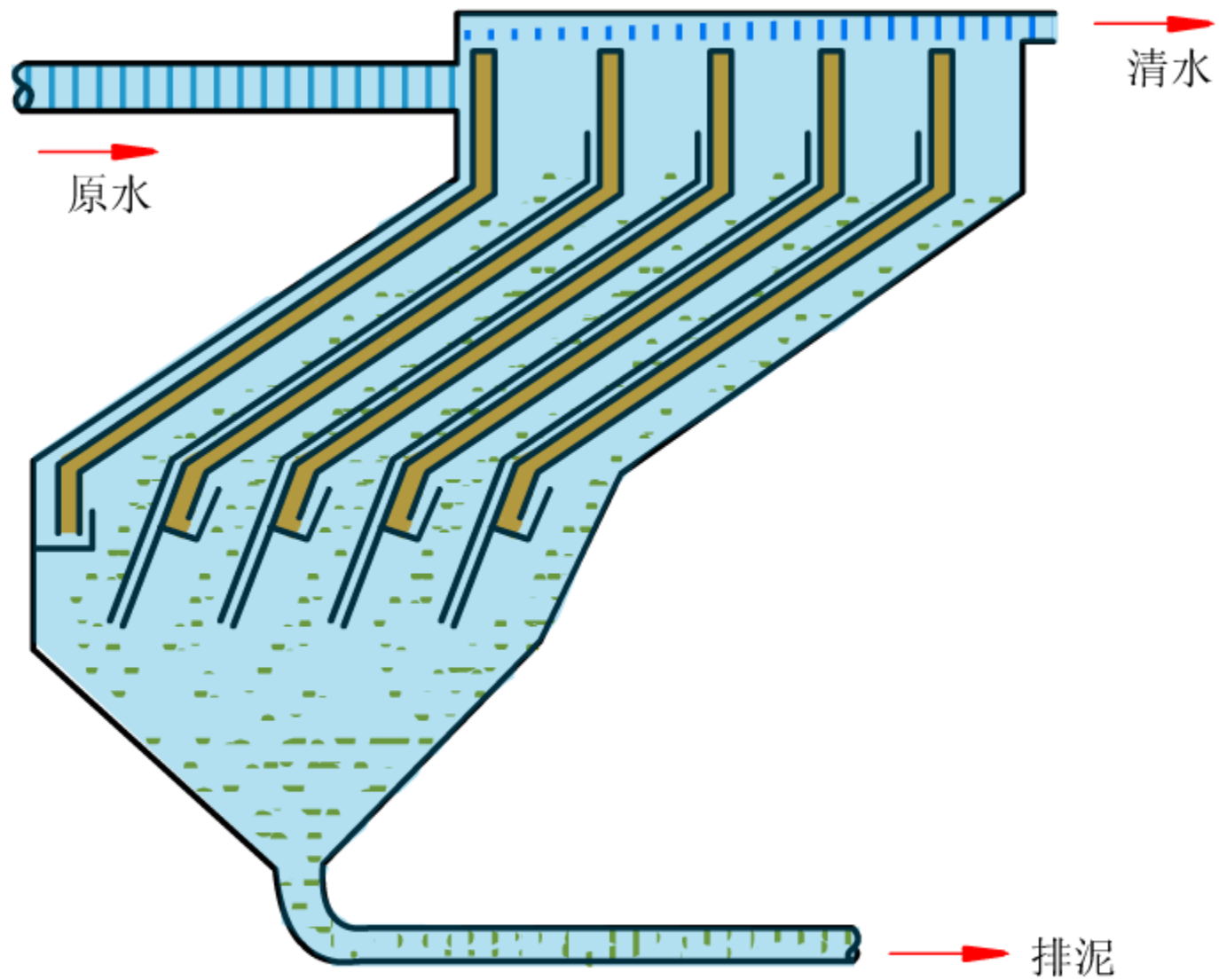
(b)

- 最适宜于大型水处理厂采用，有定型的排泥机械，运行效果较好，但要求较高的施工质量和管理水平

D.斜流式沉淀池



- 主要适用于初沉池，在给水处理中应用较广，沉淀效率高，停留时间短，占地少，缺点是容易滋生藻类等，排泥困难、易堵塞，维护不便。



斜板管沉淀池

◆ 废水经一级处理后，一般**达不到排放标准**

(BOD去除率仅25%~40%)。故通常为预处理阶段，以减轻后续处理工序的负荷和提高处理效果。

污水的二级处理（生物处理）

- ❖ **方法：**生物处理方法及某些化学方法
- ❖ **目标污染物：**废水中的可溶性有机物和部分胶体污染物。
- ❖ **效果：**通过二级处理后，废水中BOD的去除率可达80%~90%，即BOD含量可低于30mg/L。

❖ 经二级处理后的水，一般可达到农灌标准和废水排放标准，故二级处理是废水处理的主体。

一、污水的生物处理概述

- ❖ 污水的生物处理就是利用微生物的氧化分解及转化功能，以污水的有机物(少数以无机物)作为微生物的营养物质，采取一定的人工措施，创造一种可控制的环境，通过微生物的代谢作用，使污水中的污染物质被降解、转化，污水得以净化。

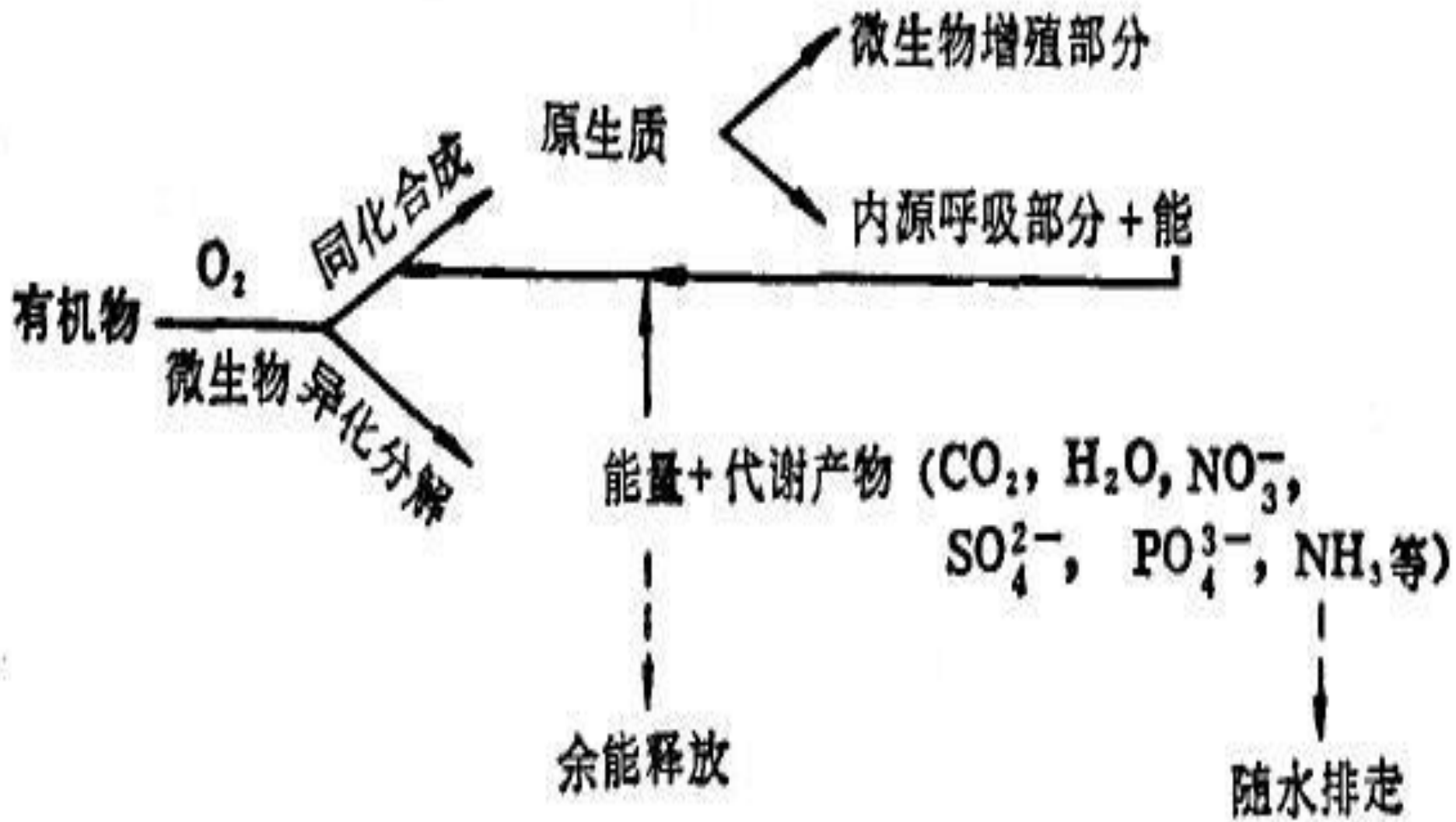
二、污水生物处理分类

 好氧生物处理

厌（兼）氧生物处理

I.好氧生物处理

❖ **原理：** 在充分供氧的条件下，利用好氧微生物的生命活动过程，将有机污染物氧化分解成较稳定的无机物的处理方法，在工程上称为污水的好氧生物处理。



有机物的好氧分解图示

注意：

- 在污水好氧处理过程中，**必须不间断地供给溶解氧**。因为氧是有机物的最后氢受体，正是由于这种氢的转移，才使能量释放出来，成为细菌生命活动和合成新细胞物质的能源。
- 要保证污水处理的效果，**首先必须有足够数量的微生物**，同时，还必须**有足够数量的营养物质**。

好氧生物处理的方法

➤ 传统活性污泥法

➤ 氧化沟

➤ 序批式活性污泥法

➤ 生物滤池、生物转盘

➤ 流化床、气提式反应器 (BAS)

活性污泥法

生物膜法

A.活性污泥

❖ **活性污泥(activessludge)**是微生物群体及它们所依附的有机物质和无机物质的总称。微生物群体主要包括细菌，原生动物和藻类等。其中，细菌和原生动物是主要的二大类。活性污泥主要用来处理污废水。

活性污泥的特征与微生物

①特征

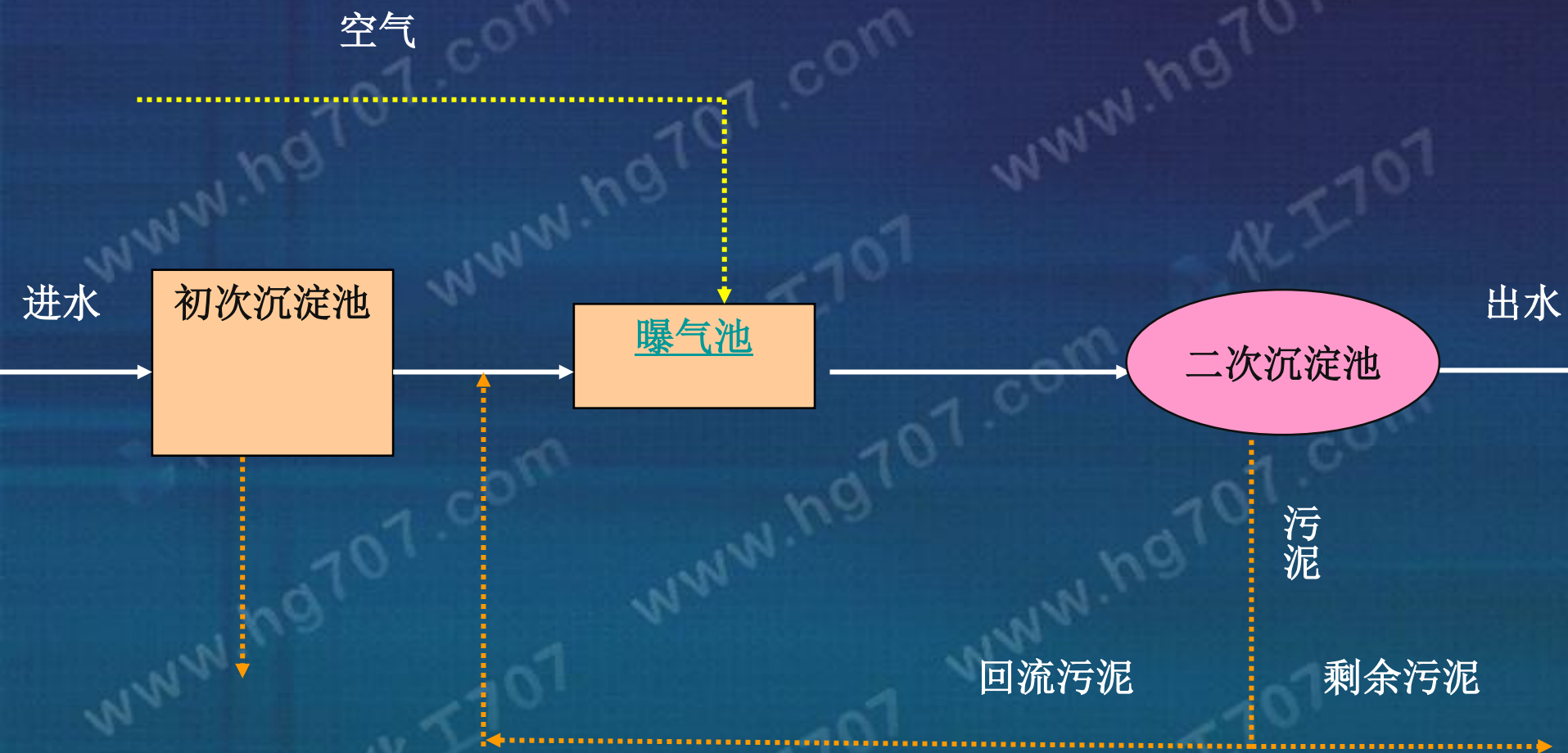
- a、形态：在显微镜下呈不规则椭圆状，在水中呈“絮状”。
- b、颜色：正常呈黄褐色，但会随进水颜色、曝气程度而变（如发黑为曝气不足，发黄为曝气过度）。
- c、理化性质： $\rho = 1.002 \sim 1.006$ ，含水率99%，直径大小0.02~0.2mm，表面积20~100cm²/ml，pH值约6.7，有较强的缓冲能力。其固相组分主要为有机物，约占75~85%。
- d、生物特性：具有一定的沉降性能和生物活性。（理解：自我繁殖、生物吸附与生物氧化）。
- e、组成：由微生物群体Ma，微生物残体Me，难降解有机物Mi，无机物Mii四部分组成。

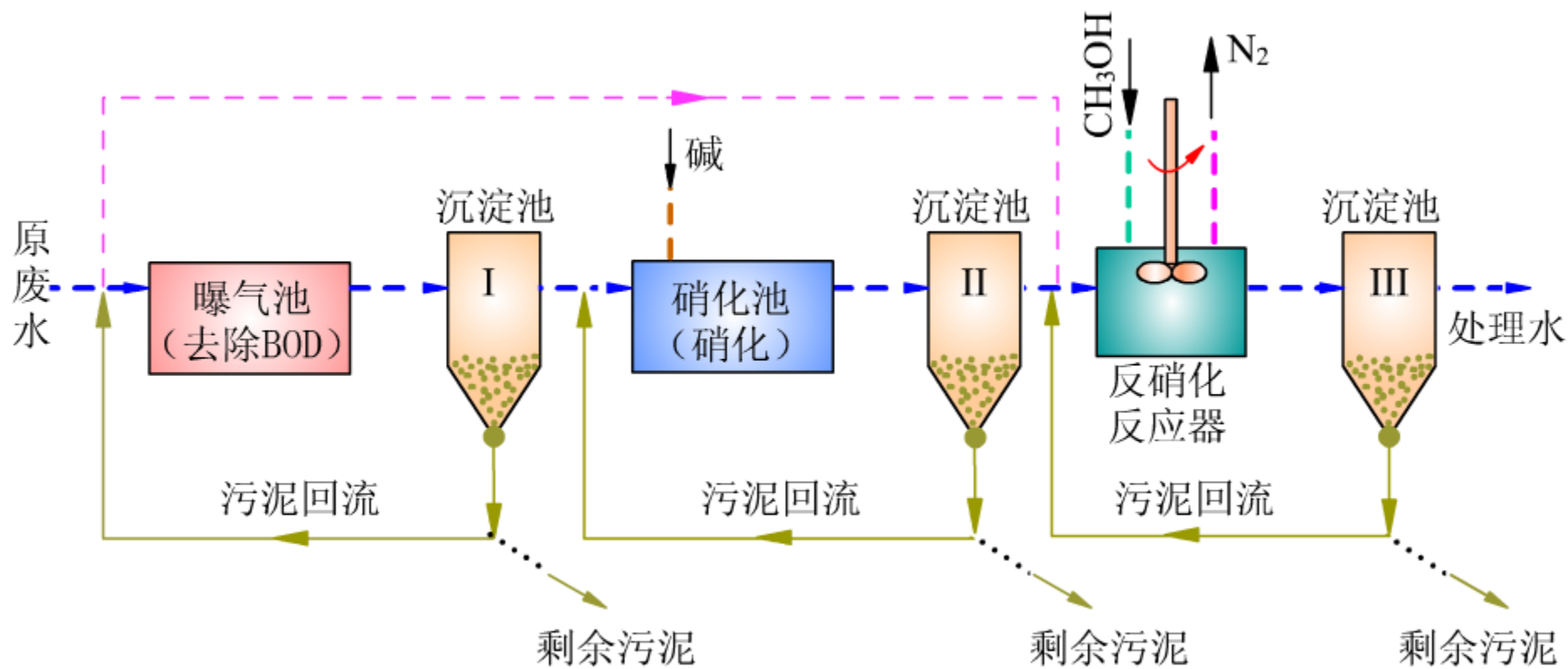
②微生物组成及其作用

组成：包括细菌、真菌、原生动物、后生动物。

- **细菌：**以异养型原核生物(细菌)为主，数量 $10^7 \sim 10^8$ 个/mL，自养菌数量略低。其优势菌种：产碱杆菌属等，它是降解污染物质的主体，具有分解有机物的能力。
- **真菌：**由细小的腐生或寄生菌组成，具分解碳水化合物，脂肪、蛋白质的功能，但丝状菌大量增殖会引发污泥膨胀。
- **原生动物：**肉足虫，鞭毛虫和纤毛虫3类、捕食游离细菌。其出现的顺序反映了处理水质的好坏（这里的好坏是指有机物的去除），最初是肉足虫，继之鞭毛虫和游泳型纤毛虫；当处理水质良好时出现固着型纤毛虫，如钟虫、等枝虫、独缩虫、聚缩虫、盖纤虫等。
- **后生动物**(主要指轮虫、线虫、甲壳虫如水骚类)，捕食菌胶团和原生动物，是水质稳定的标志。

活性污泥法工艺流程





传统活性污泥法脱氮工艺
(三级活性污泥流程)

曝气池

❖ 曝气池（**aeration tank**）是利用活性污泥法进行污水处理的构筑物。池内提供一定污水停留时间，满足好氧微生物所需要的氧量以及污水与活性污泥充分接触的混合条件。曝气池主要由池体、曝气系统和进出水口三个部分组成。池体一般用钢筋混凝土筑成，平面形状有长方形、方形和圆形等。

❖曝气方法主要有**鼓风曝气**和**机械曝气**

• **鼓风曝气**

- 又称**压缩空气曝气**,主要由曝气风机及专用曝气器组成。采用这种方法的曝气池,多为长方形混凝土池,池内用隔墙分为几个单独进水的隔间,每一隔间又分成几条廊道。污水入池后顺次在廊道内流动,至另一端排出。**空气是用空气压缩机通过管道输送到设在池底的空气扩散装置,成为气泡弥散逸出,在气液界面把氧气溶入水中。**扩散装置有多孔管、固定螺旋曝气器、水射器和微孔扩散板等四种不同型式。

• 机械曝气

- 一般是利用装在曝气池内的机械叶轮转动，剧烈搅动池内废水，使空气中的氧溶入水中。叶轮装在池内废水表面进行曝气的，称为表面曝气。这种装置通过叶轮的提水作用，促使池内废水不断循环流动，不断更新气液接触面以增大吸氧量。叶轮旋转时在周缘形成水跃，可有效地裹入空气；叶片后侧产生负压，可吸入空气，所以充气效果较好。叶轮浸水深度和转速可以调节，以保证最佳效果。典型的机械曝气池有圆形表面加速曝气池、标准型加速曝气池、IO型加速曝气池和方形加速曝气池等。鼓风曝气和机械曝气两种方法有时也可联用，以提高充氧能力，这适用于有机物浓度较高的污水。

曝气原理

❖ 曝气是使空气与水强烈接触的一种手段，其目的在于将空气中的氧溶解于水中，或者将水中不必要的气体和挥发性物质放逐到空气中。换言之，它是促进气体与液体之间物质交换的一种手段。它还有其他一些重要作用，如混合和搅拌。空气中的氧通过曝气传递到水中，氧由气相向液相进行传质转移，这种传质扩散的理论，目前应用较多的是刘易斯和惠特曼提出的双膜理论。

❖曝气池一般和沉淀池组成联合工艺流程。设置在曝气池前面的称**初次沉淀池**，设置在曝气池后面的称为**二次沉淀池**。



B.生物膜法

- ❖ 生物膜法是利用附着生长于某些固体物表面的微生物（即生物膜）进行有机污水处理的方法。
- ❖ 生物膜是由高度密集的好氧菌、厌氧菌、兼性菌、真菌、原生动物以及藻类等组成的生态系统，其附着的固体介质称为滤料或载体。
- ❖ 生物膜自滤料向外可分为厌气层、好气层、附着水层、运动水层。

生物膜法的原理

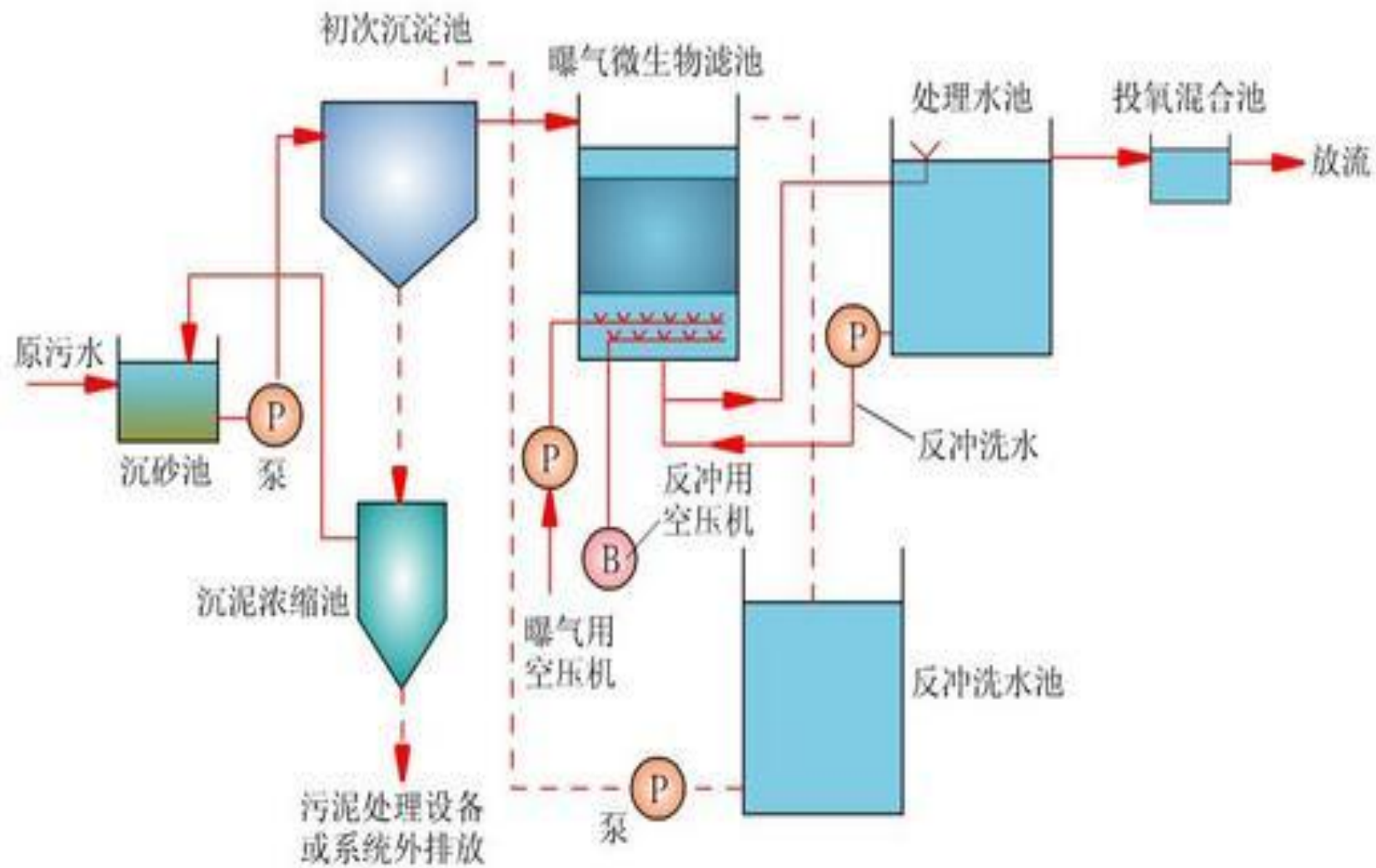
- 生物膜法的原理是，生物膜首先**吸附附着水层有机物**，由**好气层**的好气菌将其**分解**，再进入**厌气层**进行**厌气分解**，流动水层则将老化的生物膜冲掉以生长新的生物膜，如此往复以达到净化污水的目的。

与活性污泥法比较

- ❖ 从好氧微生物对有机物降解过程的基本原理上分析，生物膜法和活性污泥法是相同的，两者主要不同在于活性污泥法是靠曝气池中悬浮流动着的活性污泥来分解有机物的，而生物膜法则是主要依靠固着于载体表面的微生物膜来净化有机物。

a.生物滤池

❖生物膜法中最常用的一种生物器。使用的生物载体是小块料(如碎石块、塑料填料)或塑料型块，堆放或叠放成滤床，故常称滤料。与水处理中的一般滤池不同，生物滤池的滤床暴露在空气中,废水洒到滤床上。



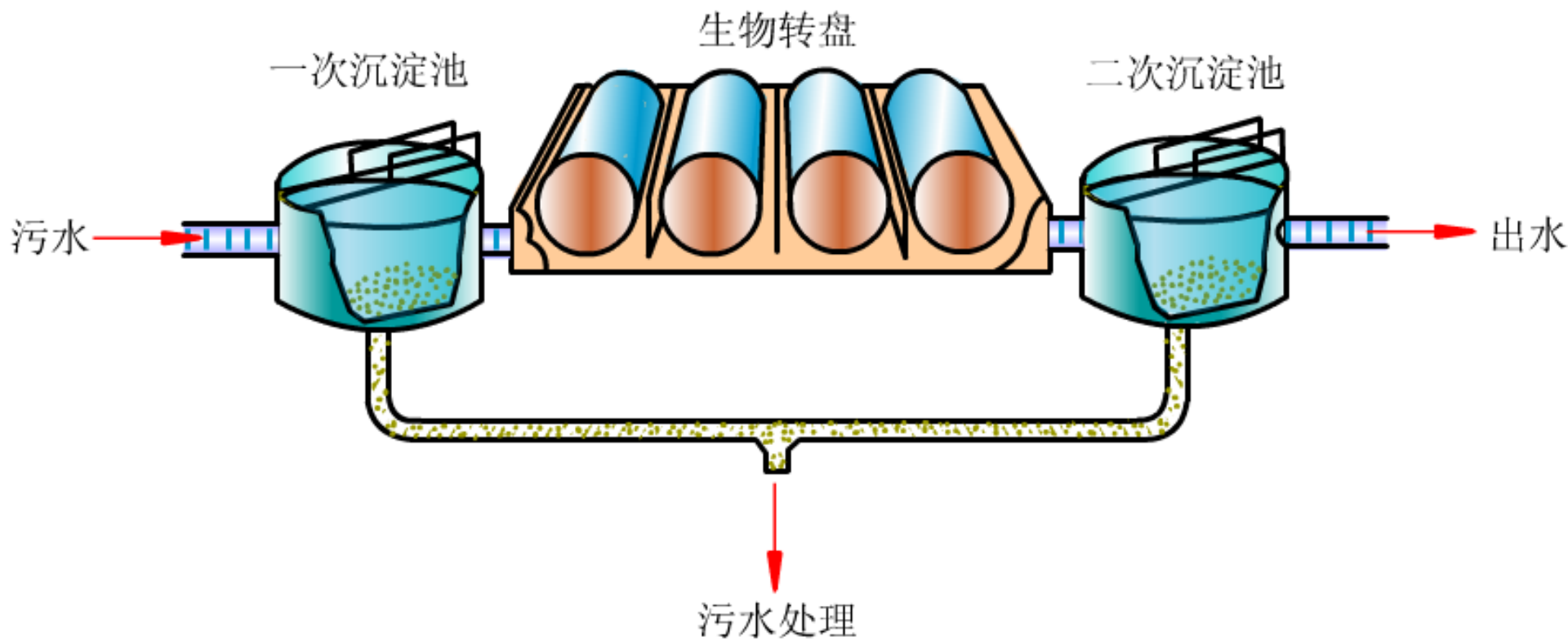
设有曝气生物滤池的污水处理系统

b.生物转盘

- ❖ 是随着塑料的普及而出现的。数十片、近百片塑料或玻璃钢圆盘用轴贯串，平放在一个断面呈半圆形的条形槽的槽面上。
- ❖ 盘径一般不超过4米,槽径约大几厘米。有电动机和减速装置转动盘轴，转速1.5~3转/分左右，决定于盘径，盘的周边线速度在15米/分左右。
- ❖ 废水从槽的一端流向另一端。盘轴高出水面，盘面约40%浸在水中，约60%暴露在空气中。

生物转盘工作原理

- ❖ 盘轴转动时,盘面交替与废水和空气接触。盘面为微生物生长形成的膜状物所覆盖,生物膜交替地与废水和空气充分接触,不断地取得污染物和氧气,净化废水。膜和盘面之间因转动而产生切应力,随着膜的厚度的增加而增大,到一定程度,膜从盘面脱落,随水流走。
- ❖ 同生物滤池相比,生物转盘法中废水和生物膜的接触时间比较长。而且有一定的可控性。水槽常分段,转盘常分组,既可防止短流,又有助于负荷率和出水水质的提高,因负荷率是逐级下降的。生物转盘如果产生臭味,可以加盖。生物转盘一般用于水量不大时。



生物转盘工艺流程

II. 污水的厌氧生物处理

➤ 概述

➤ 厌氧生物处理机理

概述

❖ 厌氧生物处理是指利用厌氧微生物的代谢过程，**在无氧条件下**把污水中的有机污染物转化为无机物和少量细胞物质的污水处理方法。

与好氧生物处理技术相比，有以下突出优点：

- ❖ 能耗低(约为好氧的**10%~15%**)
- ❖ 可回收生物能源（沼气）
- ❖ 产生的剩余污泥量少（相当于好氧的**1/10~1/6**）
- ❖ 可承受的有机负荷高，占地少

$$L_v = \frac{QS_0}{V} = \frac{S_0}{HRT} (\text{kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d}))$$

厌氧生物处理自身的缺点，主要是：

- ❖ 厌氧处理后出水COD、BOD值较高，难以达标（需好氧处理作为后处理）
- ❖ 厌氧水力停留时间一般较长，厌氧的启动时间一般也较长
- ❖ 受温度等影响大，有恶臭

厌氧生物处理的机理

厌氧生物降解过程可分为四个阶段：

- 水解阶段
- 酸化阶段(也叫发酵阶段)
- 产乙酸阶段
- 产甲烷阶段

1.水解阶段

❖水解细菌将不溶性有机物转变成可溶性有机物，将高分子溶性有机物转变成小分子有机物(通过细菌胞外酶作用)

- 纤维素被纤维素酶水解成纤维二糖和葡萄糖
- 淀粉被淀粉酶水解成麦芽糖和葡萄糖
- 蛋白质被蛋白酶水解成短肽和氨基酸
- 脂肪被脂肪酶水解成丙二醇和脂肪酸

2.酸化阶段

❖ 水解阶段产生的小分子水解产物在酸化菌的细胞内转化为更简单的化合物并分泌到细胞外,这一阶段的主要产物有VFA\醇类\乳酸\CO₂\NH₃\H₂S等。与此同时,酸化菌也利用部分物质合成新的细胞物质。

3.产乙酸阶段

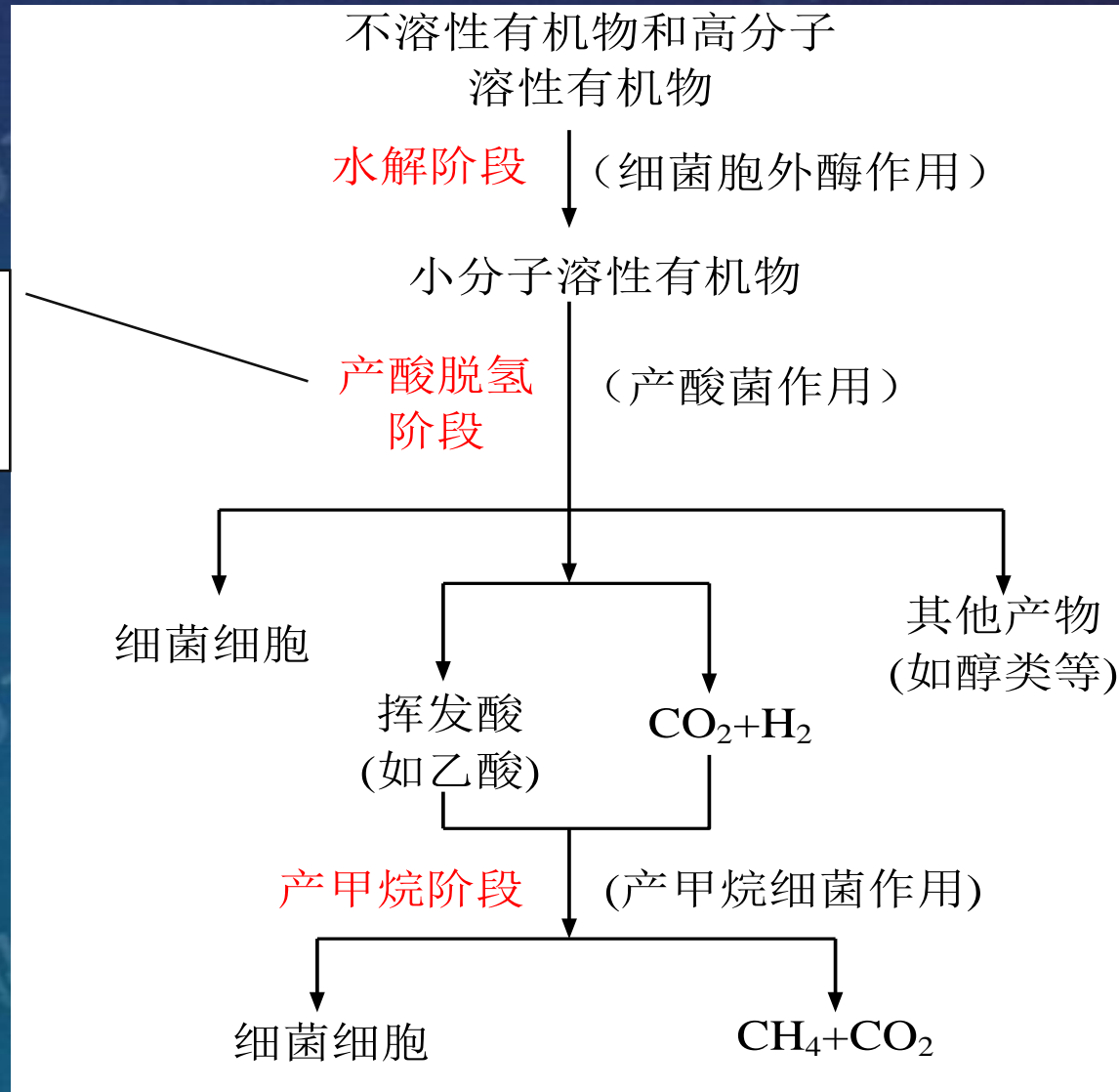
❖在此阶段，酸化阶段的产物被进一步转化为乙酸、 H_2 、碳酸等以及新的细胞物质。

4.产甲烷阶段

- 在此阶段，乙酸、 H_2 、碳酸、甲酸和甲醇等被转化为 CH_4 、 CO_2 和新的细胞物质。
- 整个厌氧降解的速率取决于以上四个阶段中速度最慢的那个阶段，因为产甲烷菌的生长缓慢,所以产甲烷的反应较慢,所以一般产甲烷阶段是整个厌氧降解过程的速率限制性阶段。

小结

(厌氧生物处理反应机理图)



原酸化阶段和产乙酸阶段可合并为一个阶段

污水的三级处理

- ❖ 经二级生物处理后，其出水一般含有：BOD30mg/L左右，COD60mg/L左右， NH_3 15-25mg/L， P_3 -8mg/L，SS30mg/L左右，以及细菌、重金属等，必须经过处理，否则易导致水体富营养化，并对鱼类，农作物、淡水水质及处理成本等带来影响。
- ❖ 三级处理的方法包括：砂滤、混凝、微滤、反渗透、电渗析、离子交换、消毒、活性炭吸附、脱氮除磷等。

部分深度处理工艺

一 悬浮物的去除

- 1) 颗粒粒径：二级出水SS是以 $1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ 的生物絮凝体和未被絮凝的胶体物质。一般通过混凝、砂滤、微滤和反渗透去除。
- 2) 混凝沉淀：通过投加混凝剂，并经快速搅拌混凝，慢速搅拌絮凝，使微小颗粒和胶体物质脱稳而凝聚，成为较大颗粒絮体而沉淀去除。

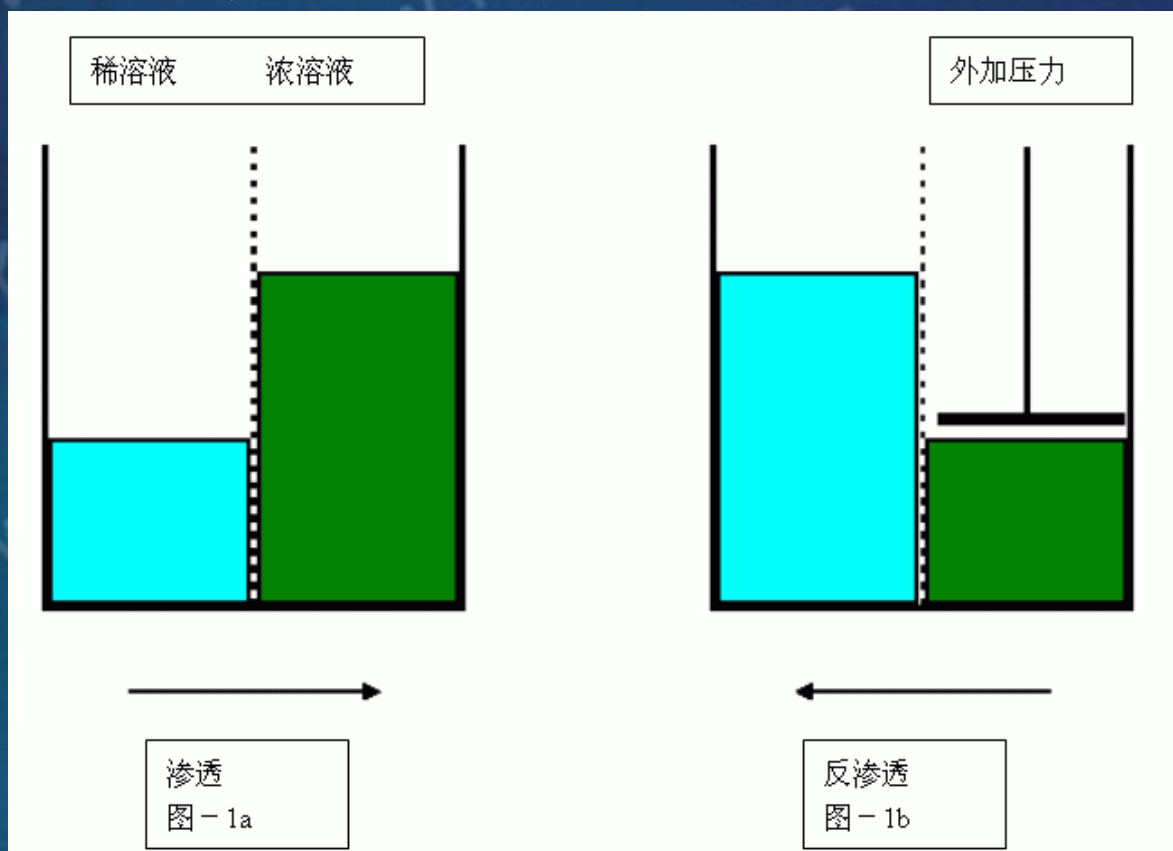
二 溶解性有机物去除

- 1) 活性炭吸附：活性炭具有巨大的表面积和细小的孔隙，能吸附有机物，重金属离子等。
- 2) O_3 氧化处理：对二级处理水进行以回用为目的的处理，力求去除污水中存在的有机物、色度和杀菌、消毒。

三 溶解性无机盐的去除

❖ 危害：具有腐蚀性，易结垢， SO_4^{2-} 还原产生 H_2S ，造成土地板结和盐碱化。因而出水回用和农用前要求脱盐。

❖ 脱盐技术：反渗透、电渗析、离子交换。



四 污水的消毒处理

- ❖ **原因**：无论什么工艺，出水细菌均会超标，从而带来危害。
- ❖ **使用场合**：污水农灌、排放水源地上游、旅游景区，以及流行病流行季节。
- ❖ **消毒方法**：液氯、臭氧、次氯酸钠和紫外线

1) 液氯消毒

❖ 原理: $Cl_2 + H_2O \rightarrow HOCl + HCl$

❖ 工艺参数:

❖ 投加量: 10mg/L。

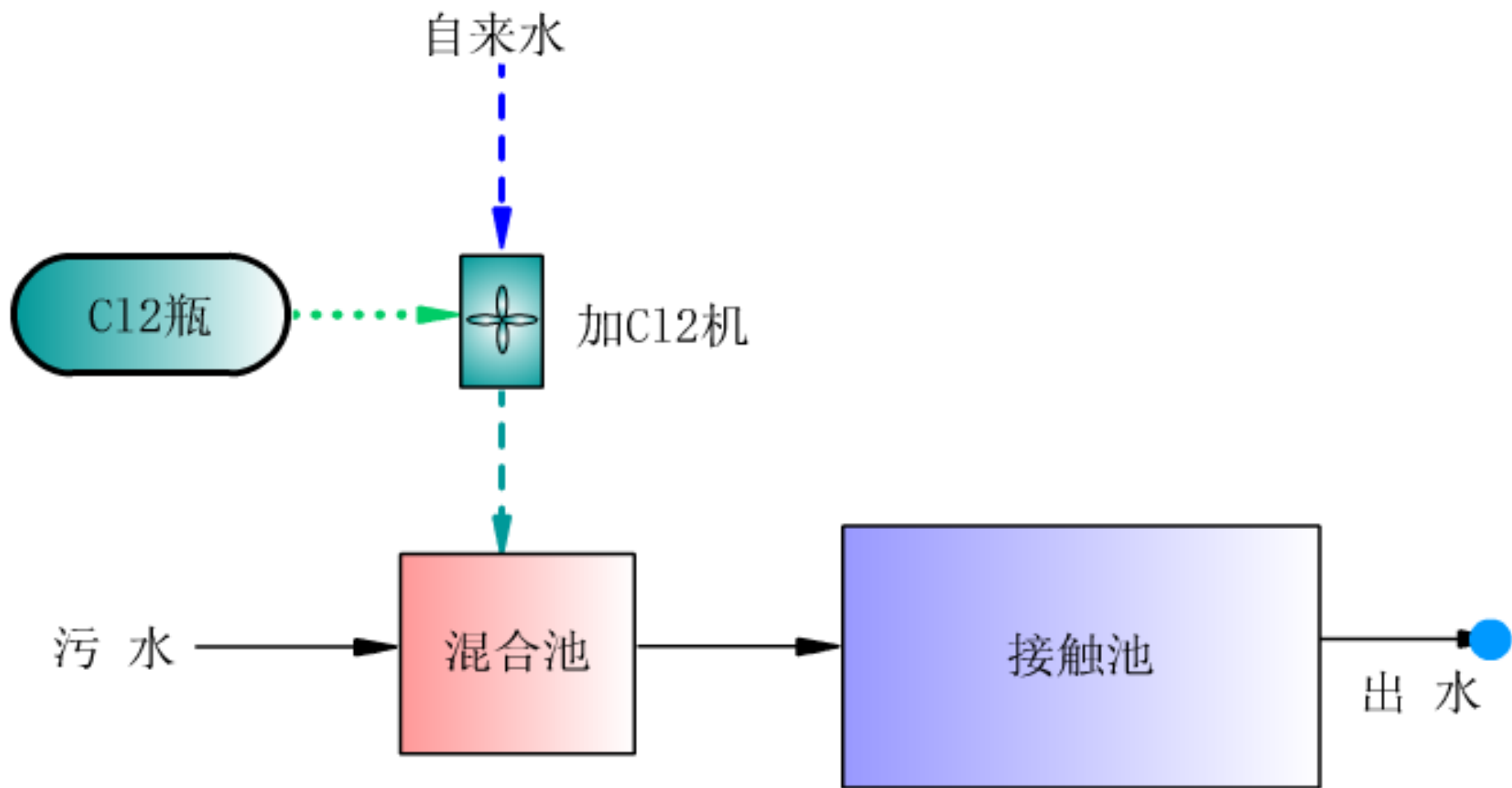
❖ 混合反应: 机械搅拌 5-15 S, 鼓风混合 $0.2m^3/m^3 \cdot min$ 。

❖ 水力混合: $V \geq 0.6m/s$ 。

❖ 接触时间: 10~30min。

❖ 要求余氯: $\geq 0.5mg/L$ (为什么?)。

为了抑制水中残存细菌的再度繁殖



液氯消毒工艺

2) 次氯酸钠消毒

- 原理：
$$\text{Cl}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{NaOCl} + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$$
$$\text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HOCl} + \text{NaOH}$$
$$\text{HOCl} \rightarrow \text{OCl}^- + \text{H}^+$$
- 接触时间：15min

3) 二氧化氯消毒

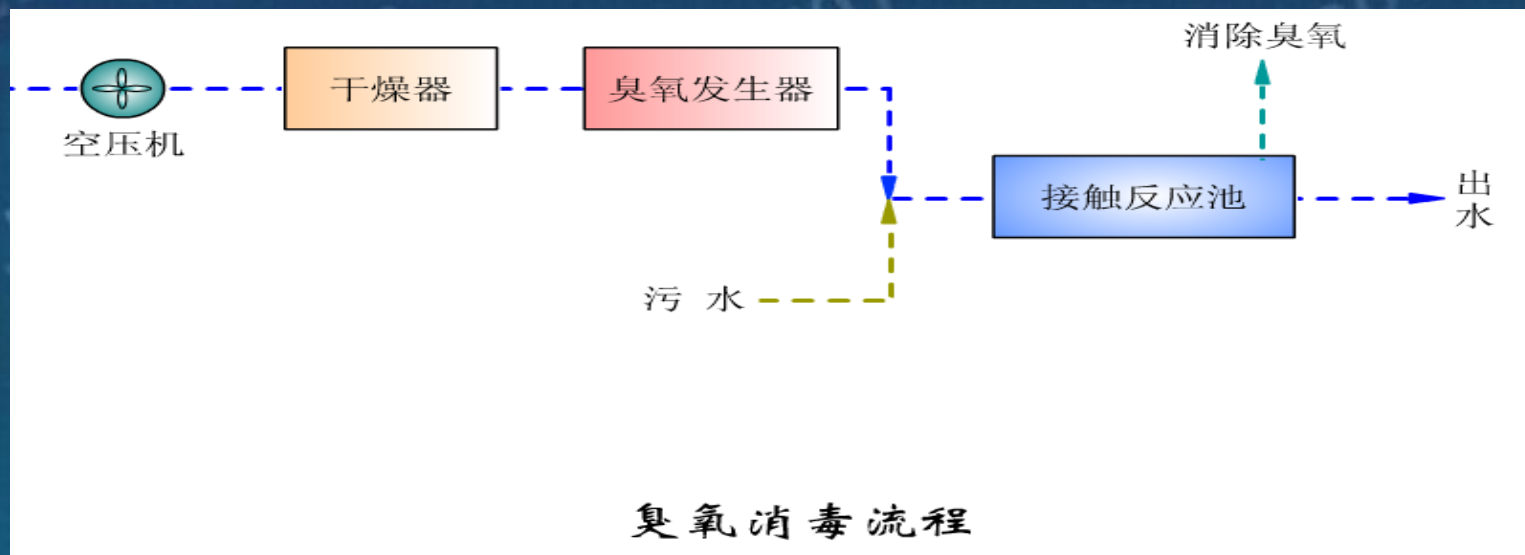
❖ 原理: $\text{ClO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HCl} + \text{HClO} + \text{O}_2$

❖ 使用剂量: 2~5mg/L

❖ 接触时间: 10~20min

4) O₃消毒

- ❖ 原理： $O_3 \rightarrow O_2 + [O]$
- ❖ 使用剂量：10mg/L
- ❖ 接触时间：5~10min，出水消除臭氧。
- ❖ 优缺点：O₃具有和氯一样的杀菌能力，在对付活性病毒时更具优越性，而且能降低水的色度和消除异味，还能为水充氧。



5) 紫外线消毒

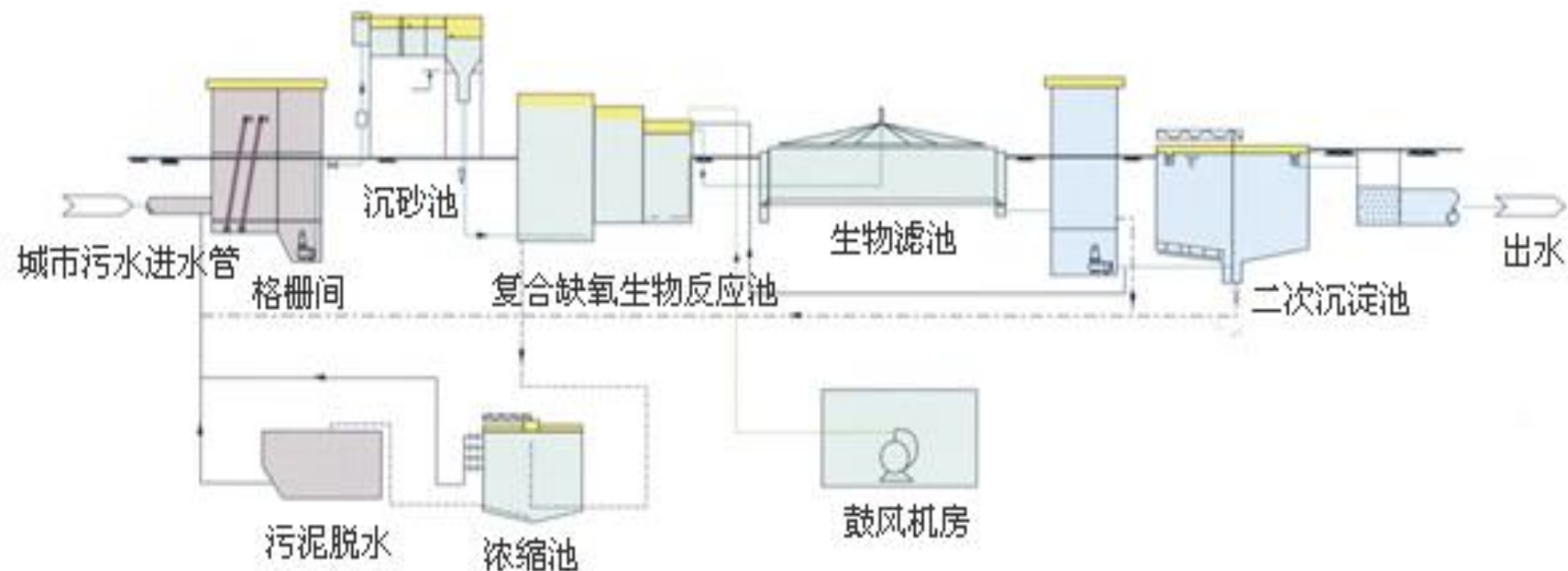
- ❖ 原理：紫外线穿透细胞壁并与细胞质反应而达到消毒目的。
- ❖ 方法：浸水式和水面式（高压石英水银灯）。
- ❖ 照射强度： $0.19-0.25\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ 。
- ❖ 污水深度： $0.65-1.0\text{m}$ 。
- ❖ 缺点：不能解决消毒后管网的再污染问题，电耗大，水中悬浮杂质和色度对紫外线透射有影响。

污水处理方法、流程的主要影响因素

- 原废水的特性
- 处理目标（要求的出水水质）
- 流程的稳定性
- 基建投资费用
- 运行维护费用

污水处理典型工艺流程

市政方向



市政及生活污水处理典型工艺流程

CASS工艺废水处理流程图

生活污水处理中水回用系统

CASS工艺——循环式活性污泥法工艺