



MBR工艺讲座



大纲

第一章

MBR工艺
简介

第二章

MBR工艺用膜、膜组件

第三章

MBR系统设计

第四章

MBR案例介绍

第一章. MBR工艺简介



1.1

MBR含义及其工作原理

1.2

MBR工艺分类

1.3

MBR工艺优越性

1.4

MBR工艺的不足

1.5

MBR发展历史

1.6

MBR发展前瞻

第一章. MBR工艺简介



1.1 MBR含义及其工作原理

定义

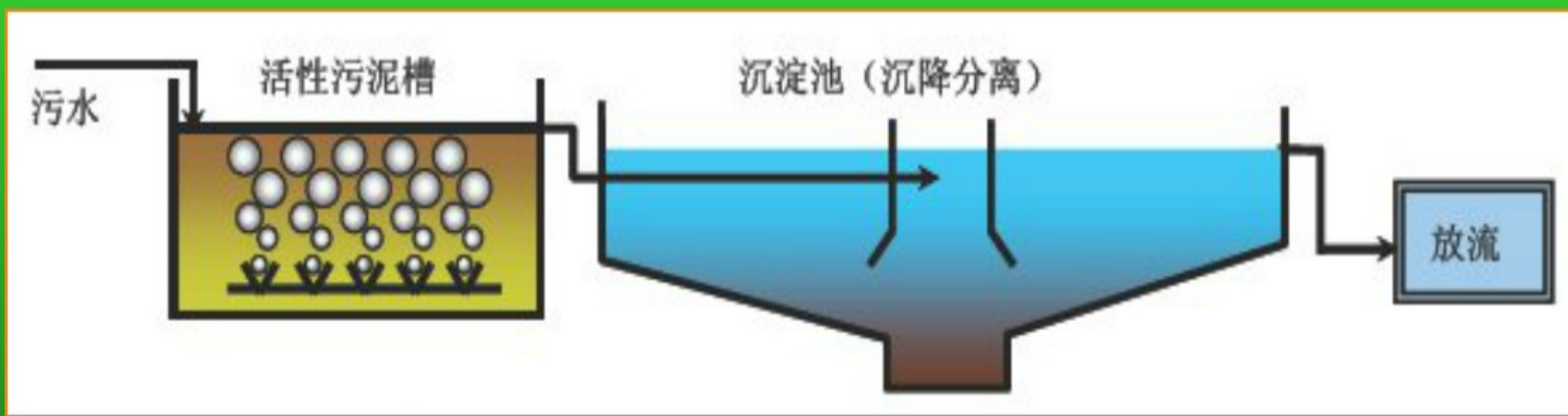
MBR为膜生物反应器（Membrane Bio-Reactor）的简称,是一种将膜分离技术与生物技术有机结合的新型水处理技术,它利用膜分离设备将生化反应池中的活性污泥和大分子有机物截留住,省掉二沉池。膜-生物反应器工艺通过膜的分离技术大大强化了生物反应器的功能,使活性污泥浓度大大提高,其水力停留时间（HRT）和污泥停留时间（SRT）可以分别控制。

第一章. MBR工艺简介

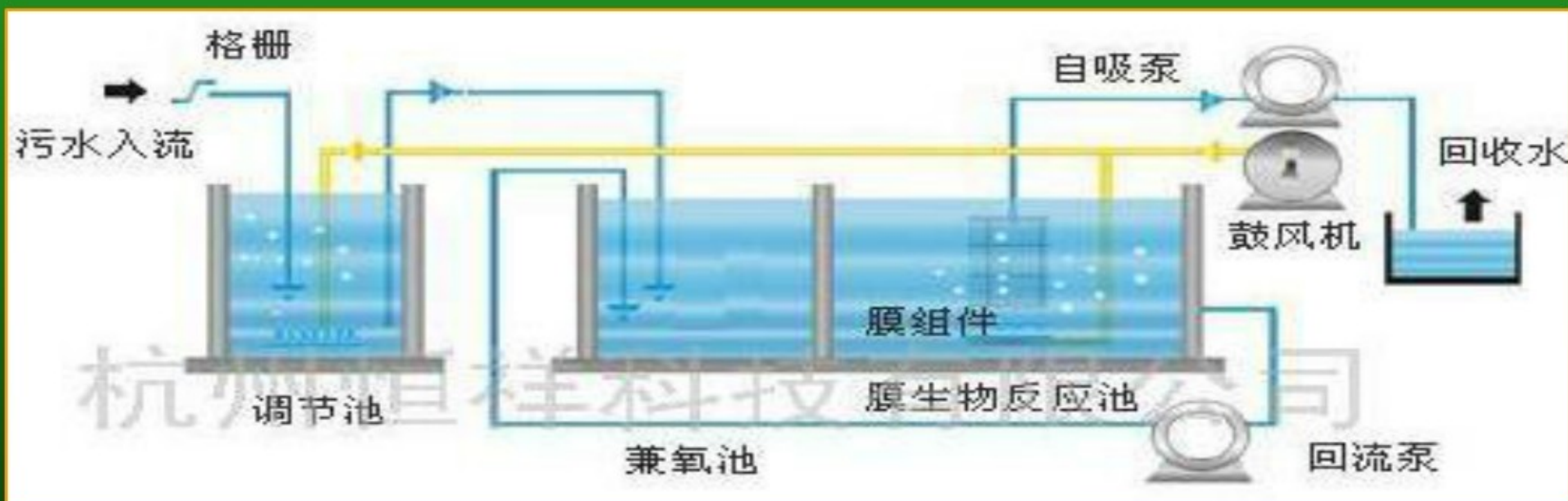


1.1 MBR含义及其工作原理

传统活性污泥法流程



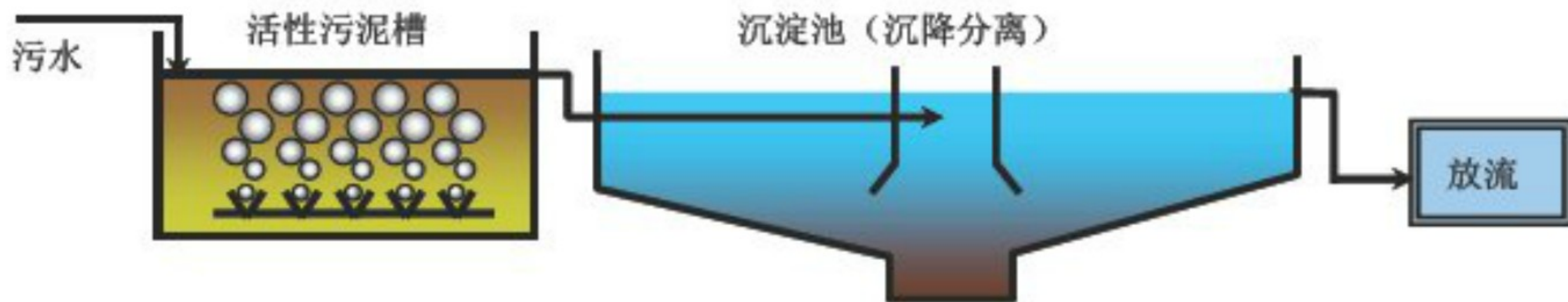
MBR法流程



第一章. MBR工艺简介



1.1 MBR含义及其工作原理

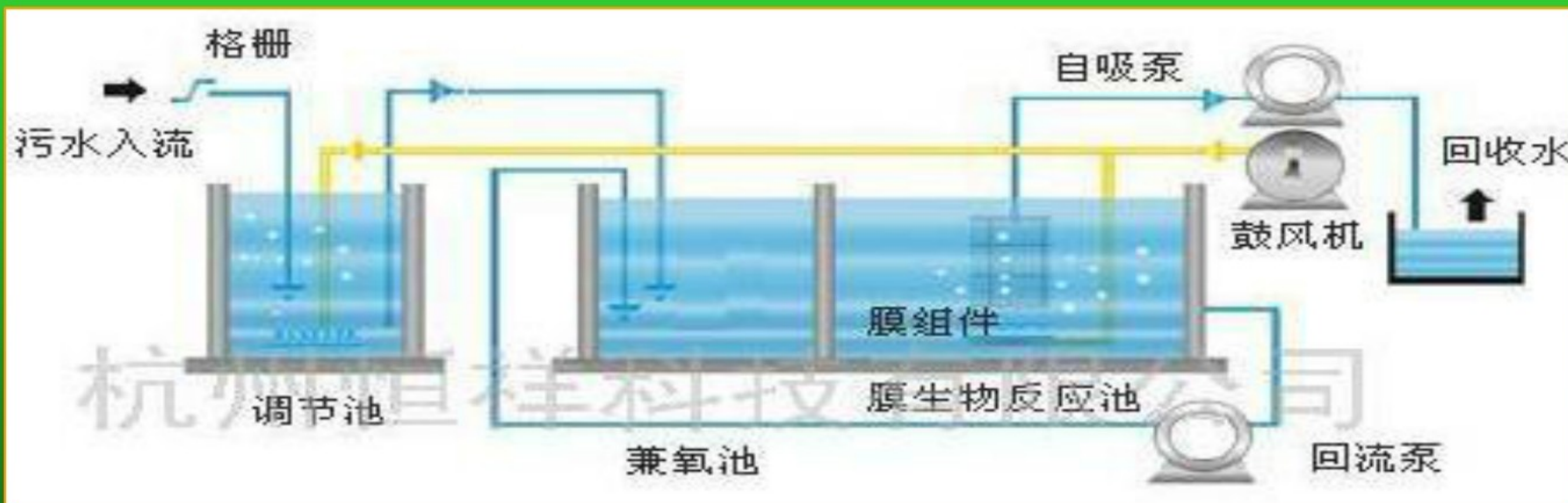


在传统的污水生物处理技术中，泥水分离是在二沉池中靠重力作用完成的，其分离效率依赖于活性污泥的沉降性能，沉降性越好，泥水分离效率越高。而污泥的沉降性取决于曝气池的运行状况，改善污泥沉降性必须严格控制曝气池的操作条件，这限制了该方法的适用范围。由于二沉池固液分离的要求，曝气池的污泥不能维持较高浓度，一般在 $1.5\sim 3.5\text{g/L}$ 左右，从而限制了生化反应速率。水力停留时间（HRT）与污泥龄（SRT）相互依赖，提高容积负荷与降低污泥负荷往往形成矛盾。系统在运行过程中还产生了大量的剩余污泥，其处置费用占污水处理厂运行费用的 $25\% \sim 40\%$ 。传统活性污泥处理系统还容易出现污泥膨胀现象，出水中含有悬浮固体，出水水质恶化。

第一章. MBR工艺简介



1.1 MBR含义及其工作原理



MBR 工艺通过将分离工程中的膜分离技术与传统废水生物处理技术有机结合，不仅省去了二沉池的建设，而且大大提高了固液分离效率，并且由于曝气池中活性污泥浓度的增大和污泥中特效菌（特别是优势菌群）的出现，提高了生化反应速率。同时，通过降低 F/M 比减少剩余污泥产生量（甚至为零），从而基本解决了传统活性污泥法存在的许多突出问题。

第一章. MBR工艺简介



1.2 MBR工艺分类

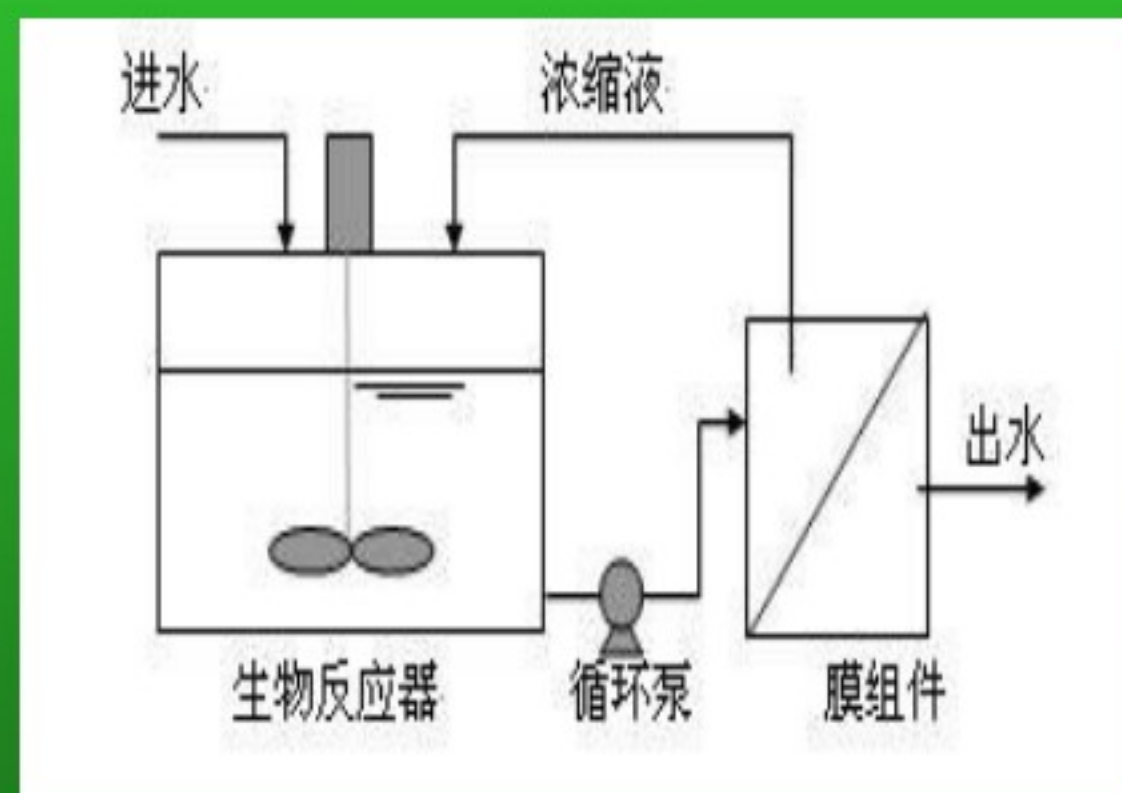
分类依据	种类
膜组件与生物反应器组合方式	分置式、一体式、（一体）复合式
膜组件	管式、板框式、中空纤维式等
膜材料	有机膜、无机膜
压力驱动形式	外压式、抽吸式
生物反应器	好氧、厌氧
曝气生物反应器、萃取膜生物反应器、膜分离生物反应器	

第一章. MBR工艺简介



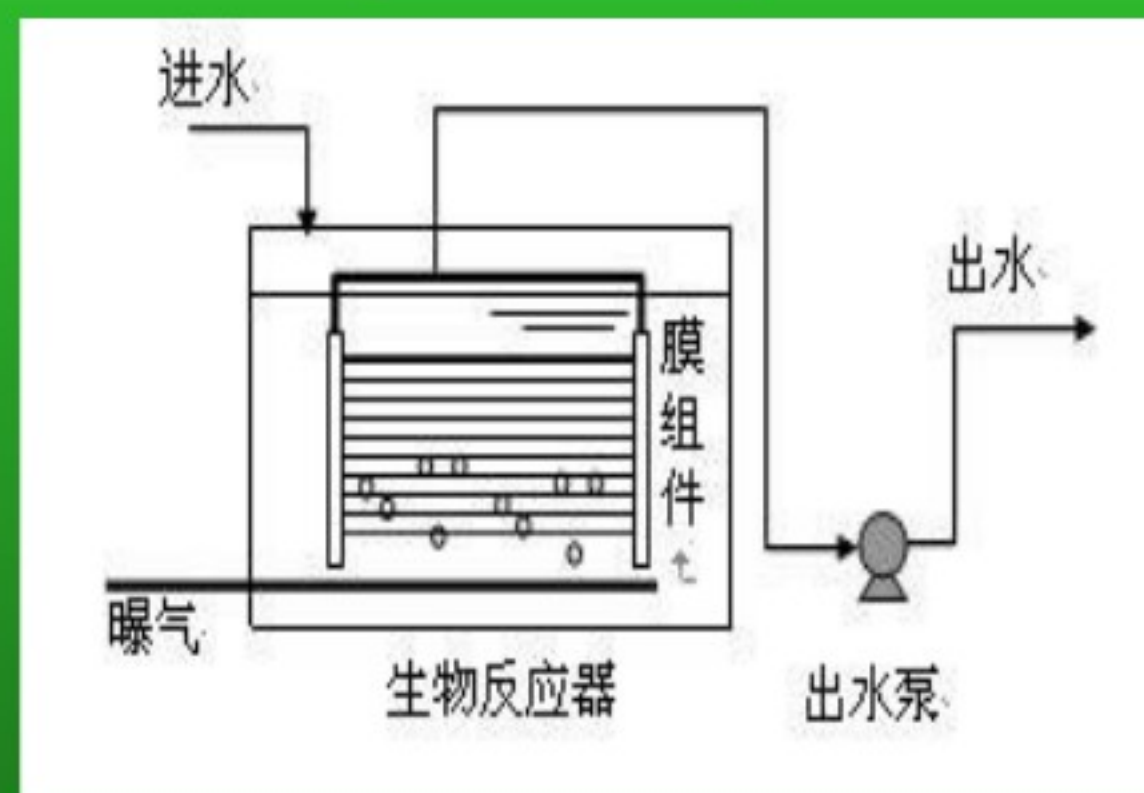
1.2 MBR工艺分类

分置式



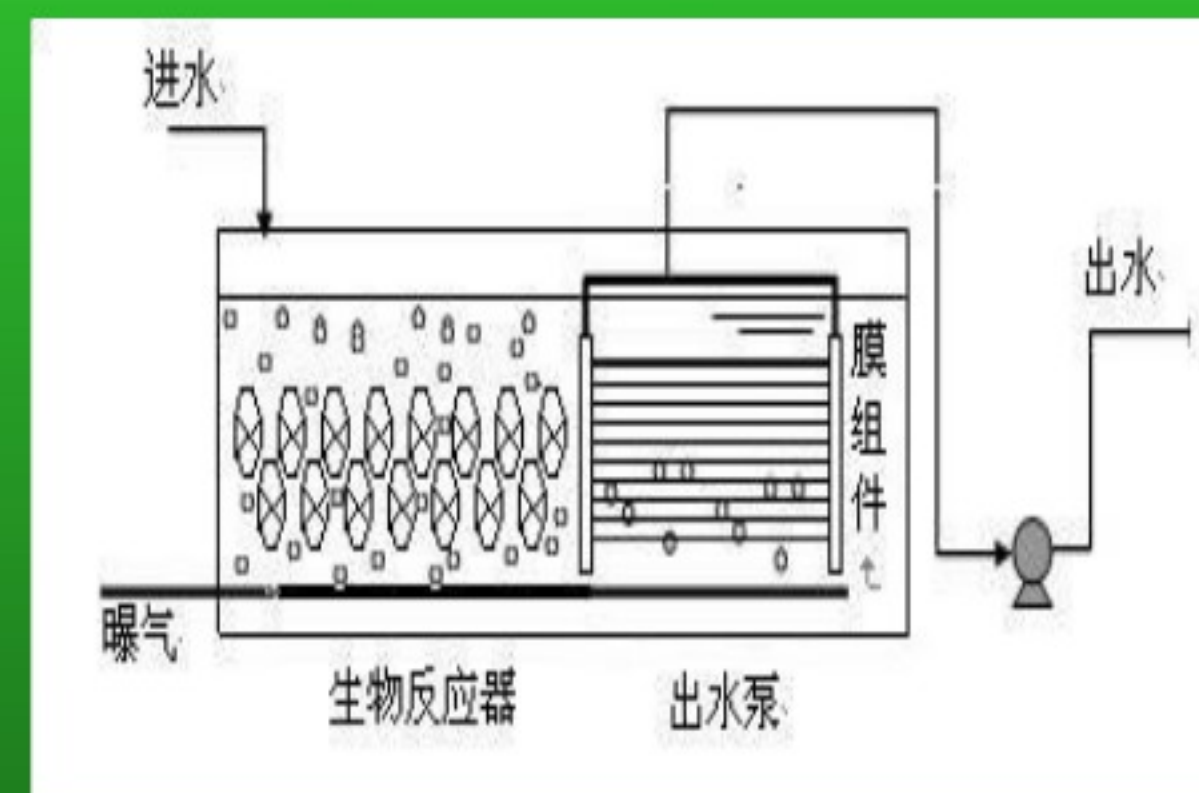
膜组件和生物反应器分开设。生物反应器中的混合液经循环泵增压后打至膜组件的过滤端，在压力作用下混合液中的液体透过膜，成为系统处理水。

一体式



膜组件置于生物反应器内部，进水进入膜 - 生物反应器，其中的大部分污染物被混合液中的活性污泥去除，再在负压作用下由膜过滤出水。

复合式



形式上也属于一体式膜 - 生物反应器，所不同的是在生物反应器内加装填料，从而形成复合式膜 - 生物反应器，改变了反应器的某些性状。

第一章.MBR工艺简介



1.3 MBR工艺优越性

- 1、高效的固液分离，出水水质优质稳定。
- 2、剩余污泥产量少。
- 3、占地面积小，无需二沉池，工艺设备集中。
- 4、可去除氨氮及难降解有机物。
- 5、克服了传统活性污泥法易发生污泥膨胀的弊端。
- 6、操作管理方便，易于实现自动控制。

MBR的优势

第一章.MBR工艺简介



1.4 MBR工艺的不足

1、投资大：膜组件的造价高，导致工程的投资比常规处理方法增加约30%—50%。

2、能耗高：泥水分离的膜驱动压力;高强度曝气；为减轻膜污染需增大流速。

3、膜污染清洗。

4、膜的寿命及更换，导致运行成本高。膜组件一般使用寿命在5年左右，到期需更换。

MBR的不足

第一章. MBR工艺简介



1.5 MBR发展历史

第一阶段 (1966年~ 1980年)	1966年，美国的Dorr oliver公司首先将MBR用于废水处理研究
	1968年，Smith等人在活性污泥法工艺中用超滤取代二次池。
	20世纪70年代，膜生物反应器工艺首次进入日本市场。
第二阶段 (1980年~ 1995年)	1989年日本政府政府联合许多大公司共同投资研发。90年代Kubota公司研制了平板式浸没MBR。
	在80年代末到90年代初，Zenon环境公司研制成功了两个注册产品。Zenon环境公司商业化的产品系统——ZenonGem在1982年进入市场。
第三阶段 (1995年至 今)	20世纪90年代中后期。越来越多的欧洲国家将MBR用于生活污水和工业废水的处理。
	目前主要有四家大公司经营MBR，它们分别是加拿大Zenon公司，日本Mitsubishi Rayon公司，法国Suez. LDE/IDI公司和日本Kubota公司。

历史

第一章. MBR工艺简介



1.6 MBR发展前瞻

- 1.现有城市污水处理厂的更新升级。
- 2.无排水管网系统地区的污水处理，如居民点、旅游度假区、风景区等。
- 3.有污水回用需求的地区或场所，如宾馆、洗车业、客机、流动厕所等。
- 4.高浓度、有毒、难降解工业废水处理。如造纸、制糖、皮革等行业
- 5.垃圾填埋厂渗滤液的处理及回用
- 6.小规模污水厂（站）的应用。

应用
领域

第一章. MBR工艺简介



1.6 MBR发展前瞻

- 1、膜污染的机理及防治。
- 2、MBR工艺流程形式及运行条件的优化。
- 3、MBR 工艺经济性研究。
- 4、以节能、处理特殊水质对象开发新型的膜生物反应器。
- 5、成熟、系统 MBR 的工艺设计方法。
- 6、形形色色的生物反应器

研究
重点

第二章. MBR工艺用膜、膜组件



2.1

MBR用膜介绍

2.2

MBR膜组件

2.3

常见**MBR**膜组件介绍

第二章. MBR工艺用膜、膜组件



2.1 MBR用膜介绍

高分子有机膜材料

材质：聚烯烃类、聚乙烯类、聚丙烯腈、聚砜类、芳香族聚酰胺、含氟聚合物等

优点：成本相对较低，造价便宜，膜的制造工艺较为成熟，膜孔径和形式也较为多样，应用广泛。

不足：运行过程易污染、强度低、使用寿命短

无机膜

材质：金属、金属氧化物、陶瓷、多孔玻璃、沸石、无机高分子材料等

优点（陶瓷膜为例）：耐酸、抗压、抗温，其通量高、能耗相对较低

不足：造价昂贵、不耐碱、弹性小、膜的加工制备有一定困难

第二章. MBR工艺用膜、膜组件



2.1 MBR用膜介绍

目前MBR膜组件中

MBR工艺中用膜一般为微滤膜（MF）和超滤膜（UF），其中聚偏二氟乙烯（PVDF）由于其优良的物理和化学性能（强度和耐腐蚀性）在0.1 ~ 0.4 μm膜孔径国内和国外用量均最大。

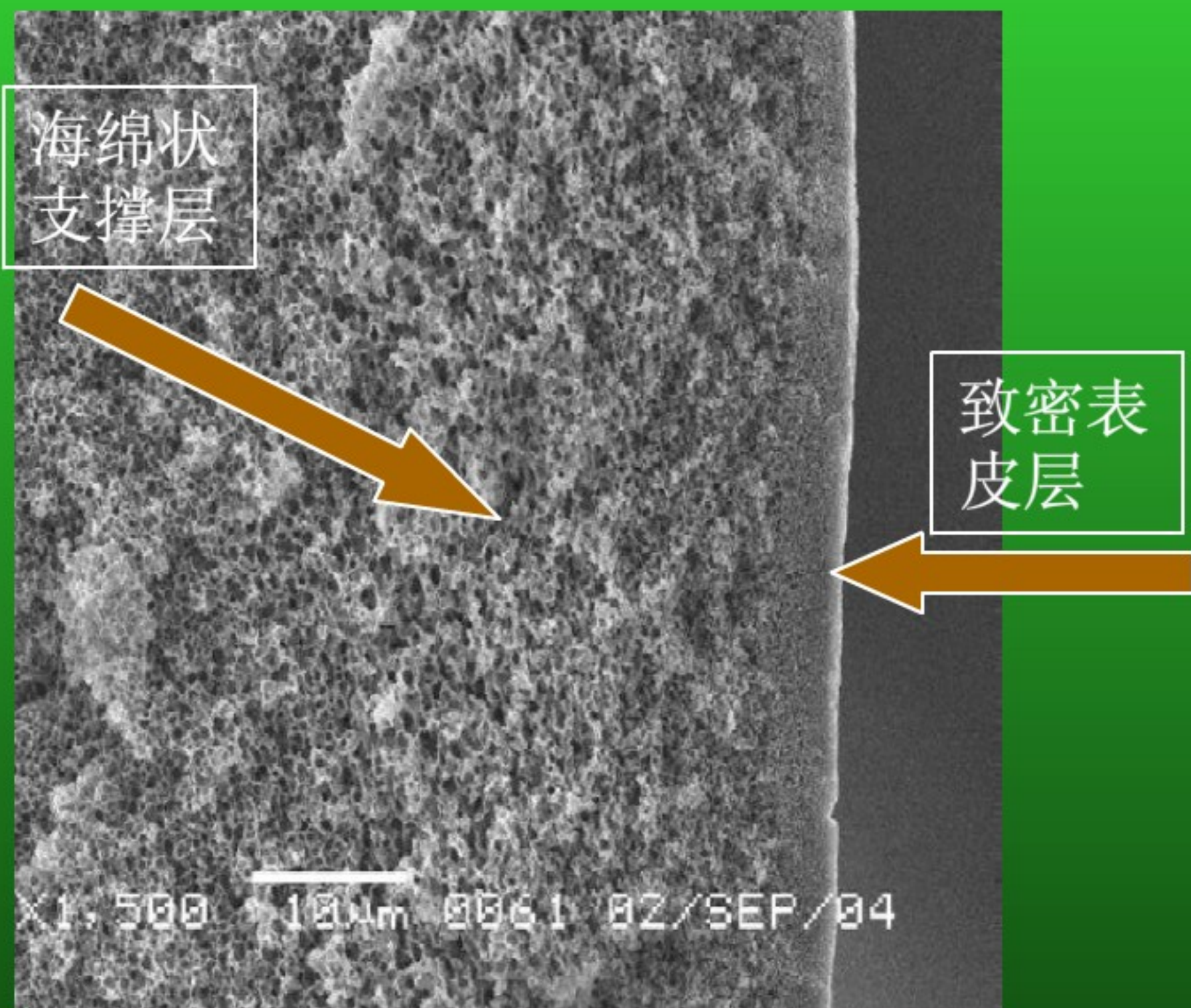
微滤常用的聚合物材料有：聚碳酸酯、纤维素酯、聚偏二氟乙烯、聚砜、聚四氟乙烯、聚氯乙烯、聚醚砜、聚酰胺、聚丙烯、聚醚醚酮、聚酰亚胺等。

超滤常用聚合物材料有：聚砜(PS)、聚醚砜(PES)、聚酰胺、聚丙烯腈（PAN）、聚偏氟乙烯、纤维素酯、聚醚醚酮、聚亚酰胺、聚醚酰胺等。

第二章. MBR工艺用膜、膜组件

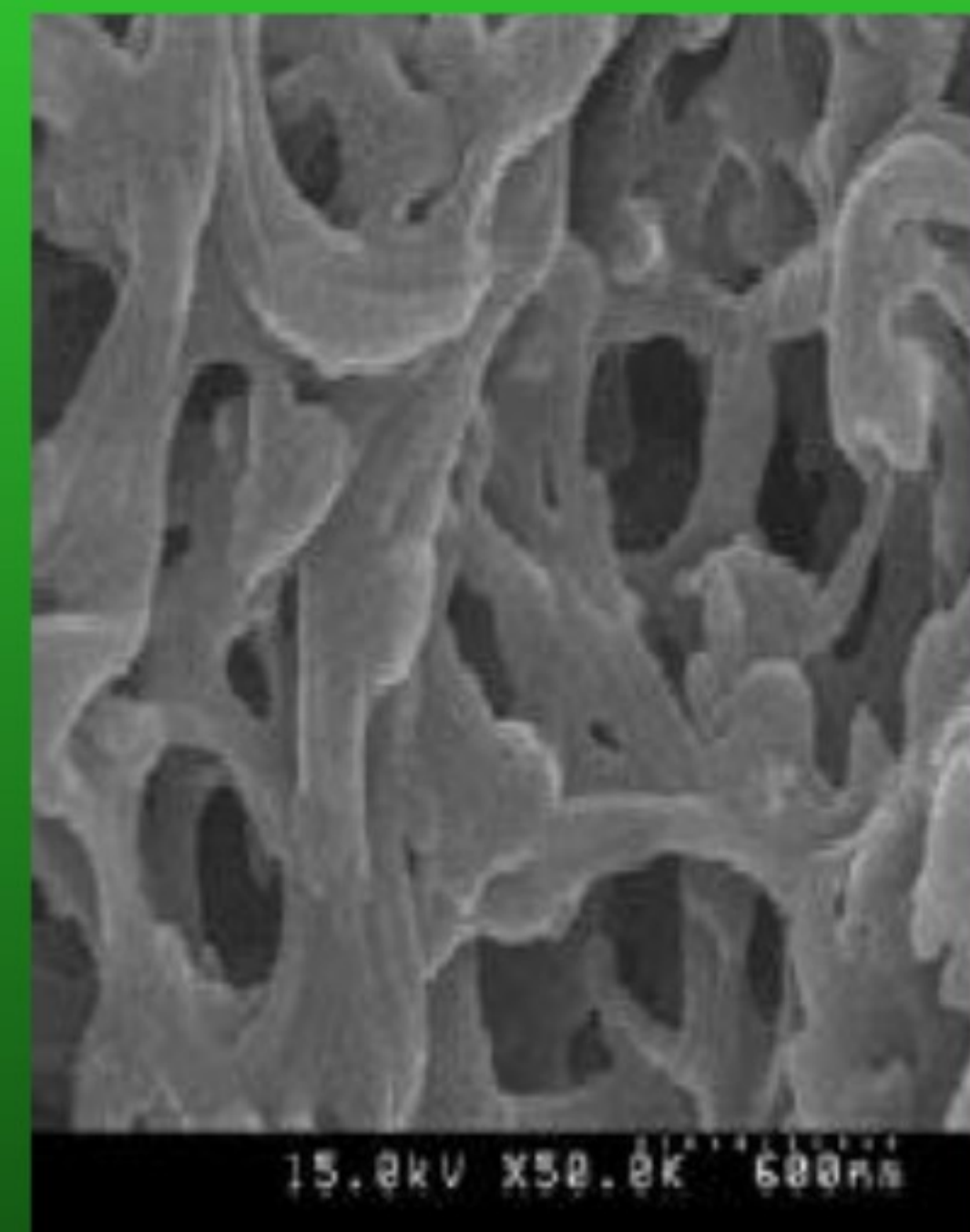


2.1 MBR用膜介绍



膜横断面放大照片

PVDF(聚偏氟乙烯)材质中空纤维膜，**PVDF**是一种氟化聚合物，具有**300万~400万**的分子量，有很强的物理强度和化学稳定性。



膜表面放大照片

第二章. MBR工艺用膜、膜组件



2.1 MBR用膜介绍

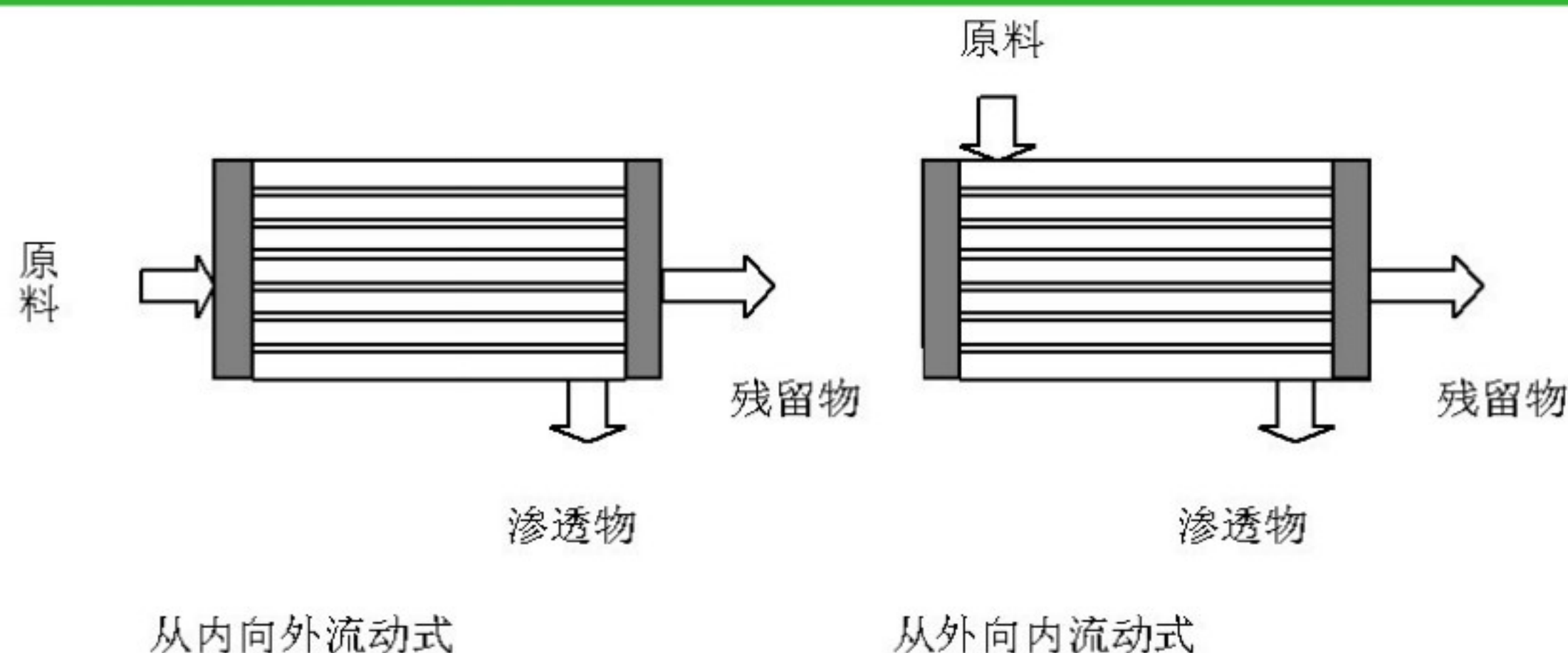


陶瓷膜主要是 Al_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2 和 SiO_2 等无机材料制备的多孔膜, 其孔径为 $0.1-50\mu\text{m}$ 。具有化学稳定性好, 能耐酸、耐碱、耐有机溶剂; 机械强度大, 可反向冲洗; 抗微生物能力强; 耐高温; 孔径分布窄, 分离效率高等特点。陶瓷膜与同类的有机高分子膜相比具有许多优点: 它坚硬、承受力强、耐用、不易阻塞, 对具有化学侵害性液体和高温清洁液有更强的抵抗能力, 其主要缺点就是价格昂贵, 制造过程复杂。

第二章. MBR工艺用膜、膜组件



2.2 MBR膜组件



中空纤维膜器示意图

中空纤维具有高压下不变形的强度，勿需支撑材料。把大量(多达几十万根)中空纤维膜装入圆筒型耐压容器内。纤维束的开口端用环氧树脂铸成管板。外径一般为 $40 \sim 250 \mu\text{m}$ ，内径为 $25 \sim 42 \mu\text{m}$ 。在 MBR 中，常把组件直接放入反应器中，不需耐压容器，构成浸没式膜-生物反应器。一般为外压式膜组件。

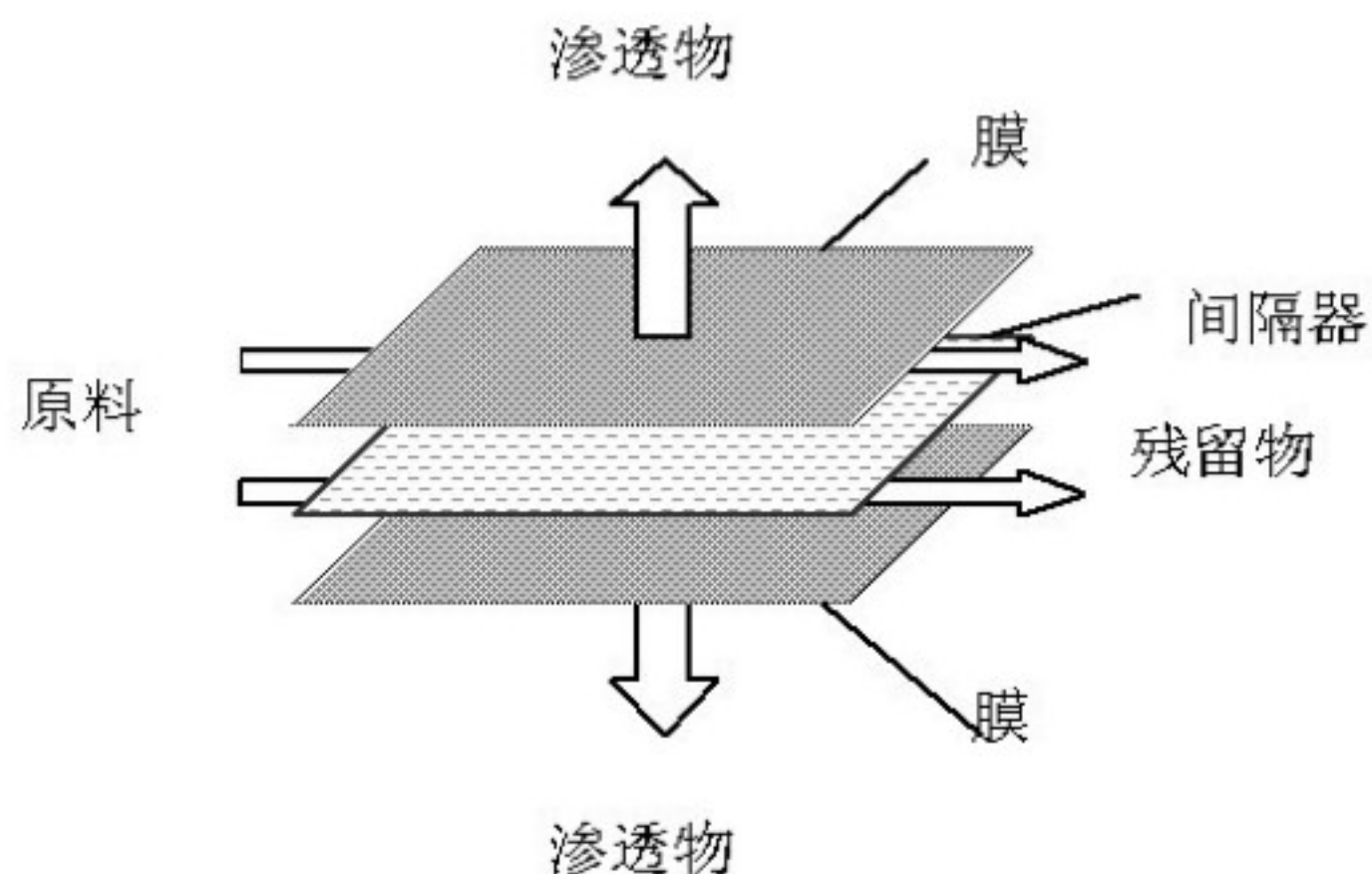
优点：装填密度高，一般可达 $16000 \sim 30000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ；造价相对较低；寿命较长；可以采用物化性能稳定，透水率低的尼龙中空纤维膜；膜耐压性能好，不需要支撑材料。

缺点：对堵塞敏感，污染和浓差极化对膜的分离性能有很大影响，压力降较大；再生清洗困难；原料的前处理成本高。

第二章. MBR工艺用膜、膜组件



2.2 MBR膜组件



板框式膜器示意图

优点：优点是：制造组装简单，操作方便，易于维护、清洗、更换。

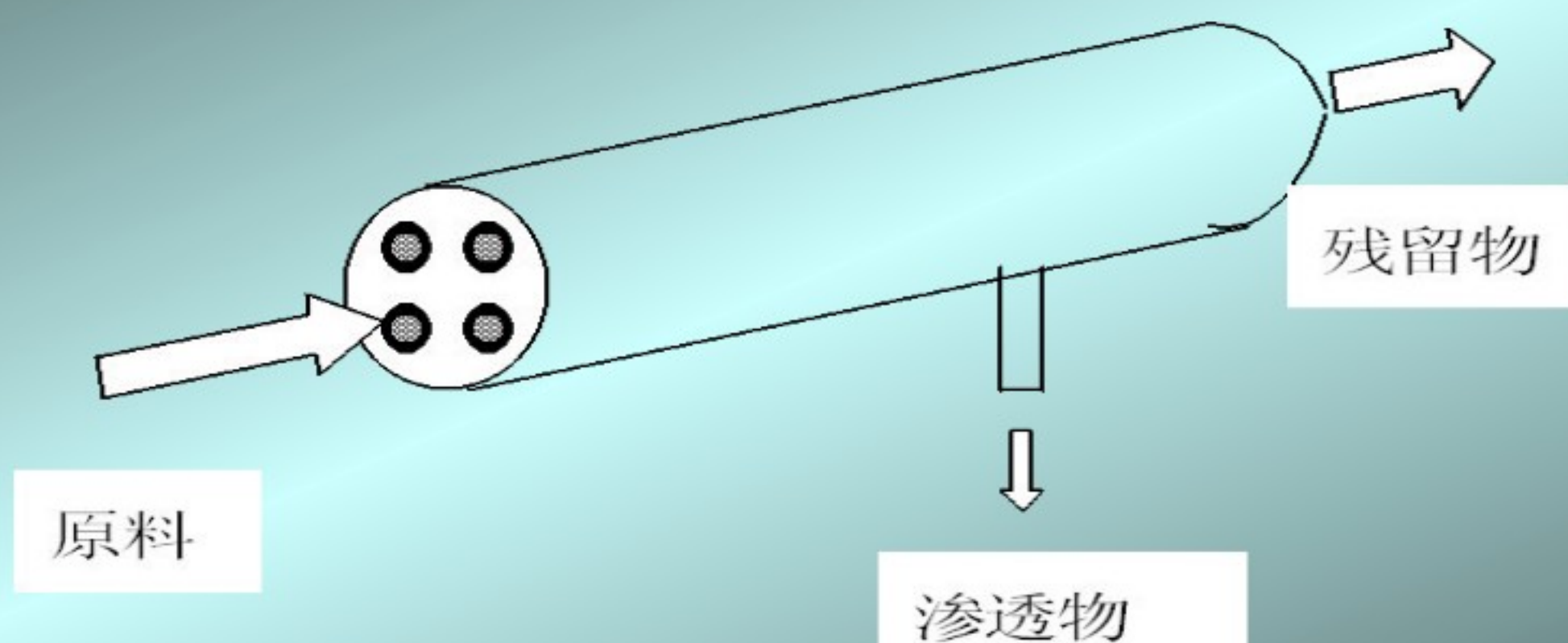
缺点：密封较复杂，压力损失大，装填密度小。

板框式是**MBR** 工艺最早应用的一种膜组件形式，外形类似于普通的板框式压滤机。

第二章. MBR工艺用膜、膜组件



2.2 MBR膜组件



管状膜器示意图

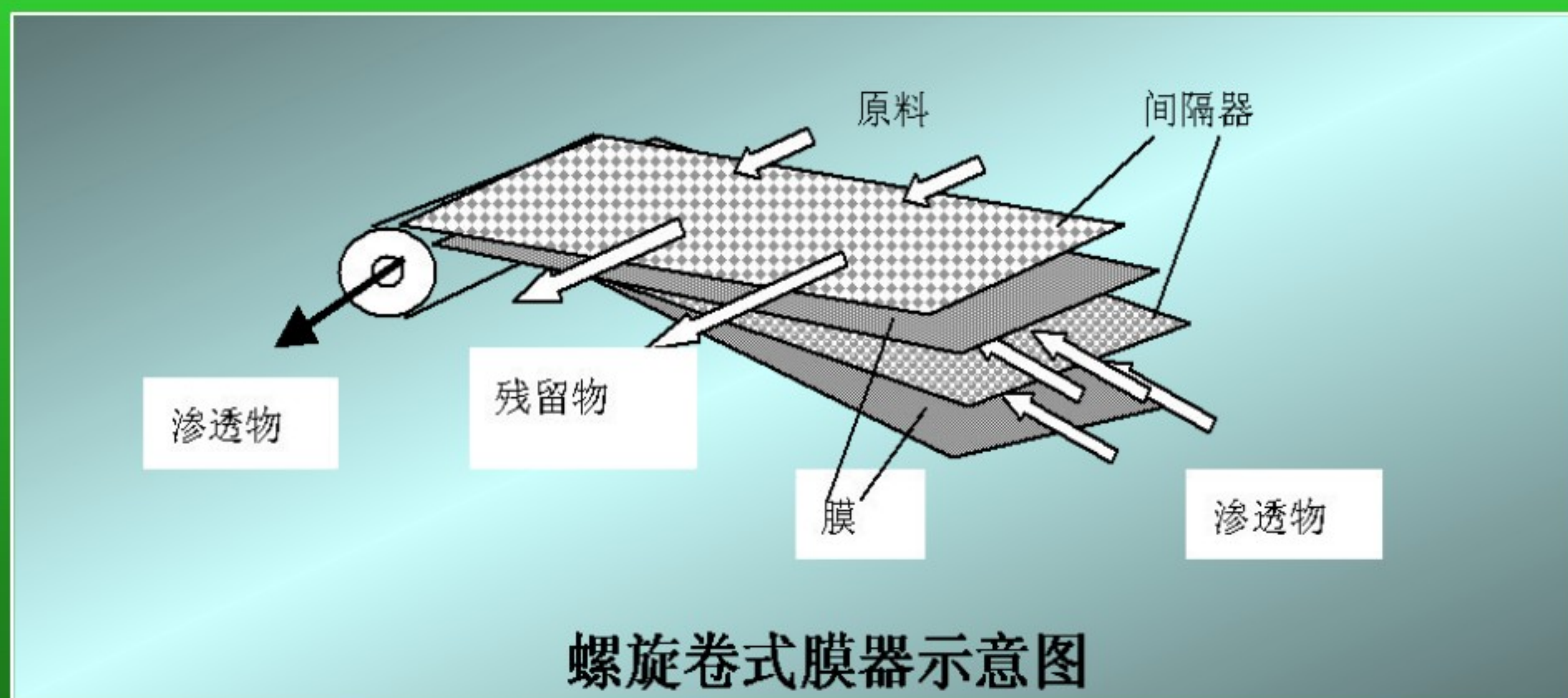
优点：料液可以控制湍流流动，不易堵塞，易清洗，压力损失小。
缺点：装填密度小，一般低于 $300\text{m}^2/\text{m}^3$ 。

由膜和膜的支撑体构成，有内压型和外压型两种运行方式。实际中多采用内压型，即进水从管内流入，渗透液从管外流出。膜直径在 $6\sim 24\text{mm}$ 之间。管状膜被放在一个多孔的不锈钢、陶瓷或塑料管内，每个膜器中膜管数目一般为 $4-18$ 根。管状膜目前主要有烧结聚乙烯微孔滤膜、陶瓷膜、多孔石墨管等，价格较高，但耐污染且易清洗。尤其对高温介质适用。

第二章. MBR工艺用膜、膜组件



2.2 MBR膜组件



优点：膜的装填密度高；膜支撑结构简单；浓差极化小；容易调整膜面流态。

缺点：中心管处易泄漏；膜与支撑材料的粘结处膜易破裂而泄漏；膜的安装和更换困难。

主要部件为多孔支撑材料，两侧是膜，三边密封，开放边与一根多孔的中心产品水收集管密封连接，在膜袋外部的原水侧垫一层网眼型间隔材料，把膜袋一隔网依次迭合，绕中心集水管紧密地卷起来，形成一个膜卷，装进圆柱形压力容器内，就制成了一个螺旋卷式膜组件。

第二章. MBR工艺用膜、膜组件



2.2 MBR膜组件

各种膜组件特性表

名称/项目	中空纤维式	毛细管式	螺旋卷式	平板式	圆管式
价格（元 /m ³ ）	40~150	150~800	250~800	800~2500	400~1500
充填密度	高	中	中	低	低
清洗	难	易	中	易	易
压力降	高	中	中	中	低
可否高压操作	可	否	可	较难	较难
膜形式限制	有	有	无	无	无

第二章. MBR工艺用膜、膜组件



2.2 MBR膜组件

中空纤维膜组件和板式膜组件的比较

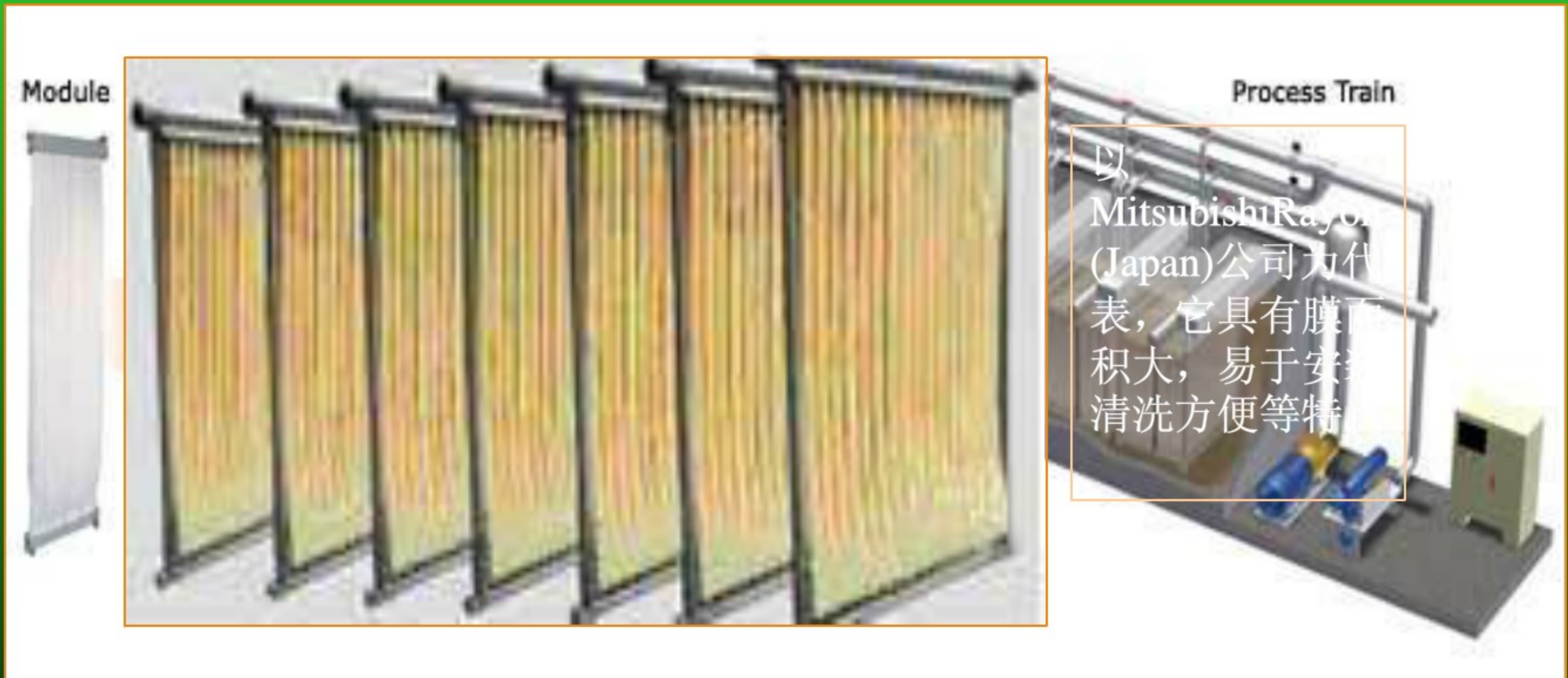
中空纤维膜组件	板式膜组件
中空纤维膜膜丝柔性, 可反冲洗	支撑板式平板膜:膜片为刚性, 不可反冲洗
独立的清洗	独立的清洗
填充密度 $160\text{m}^2/\text{m}^3$	填充密度 $80\text{m}^2/\text{m}^3$
典型膜通量: $15\text{L}/\text{m}^2\text{h}$	典型膜通量: $20\text{L}/\text{m}^2\text{h}$
缠绕式纤维物质, 污泥堵塞,卡在纤维间, 无法通过反冲去除。	沟槽式,低填充密度, 堆积在板间, 始于板固定处, 没有反冲洗
化学清洗。	化学及机械清洗。

第二章. MBR工艺用膜、膜组件



2.3 三种常见的MBR膜组件

A. 中空纤维帘状浸入式膜组件



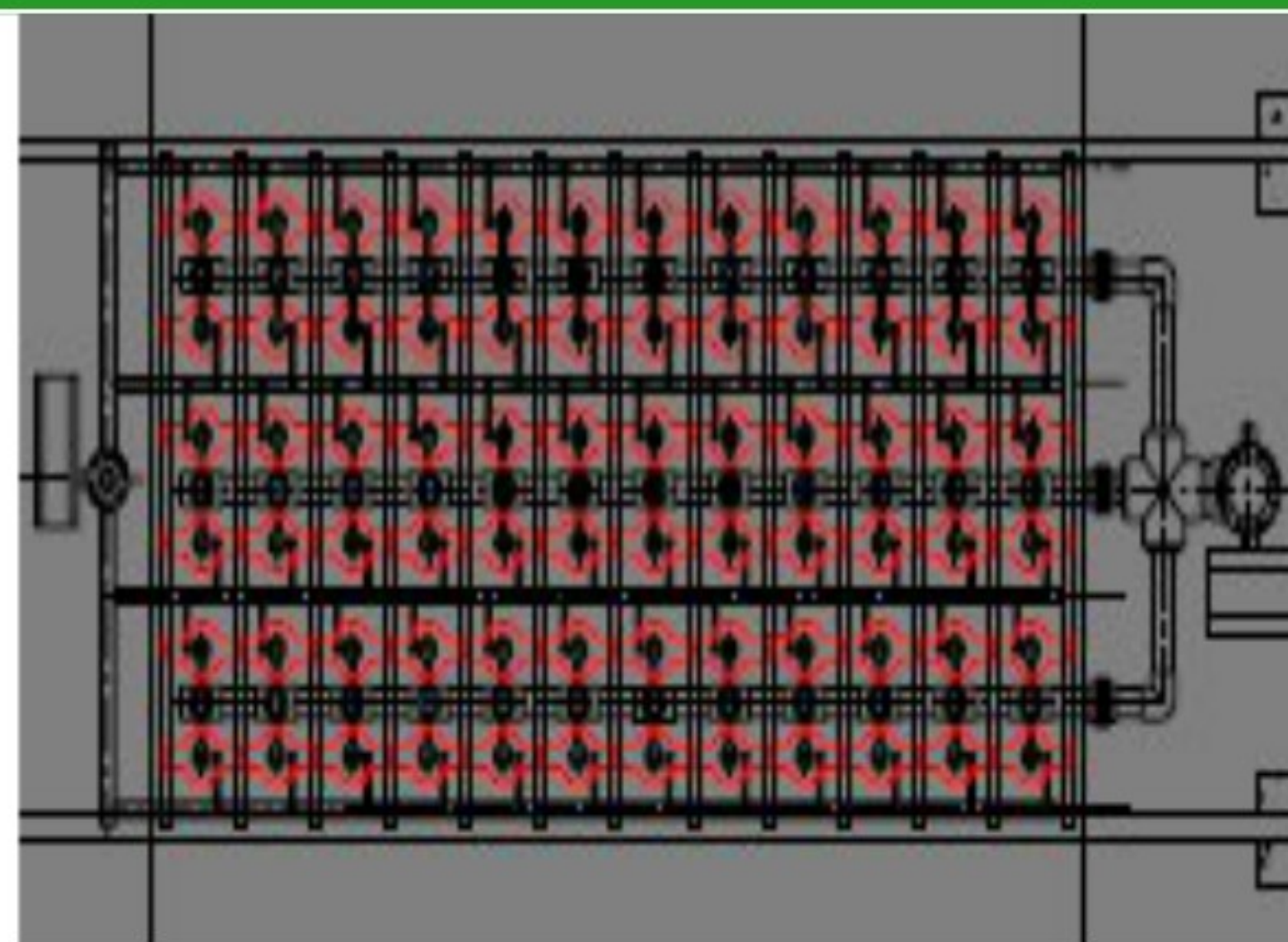
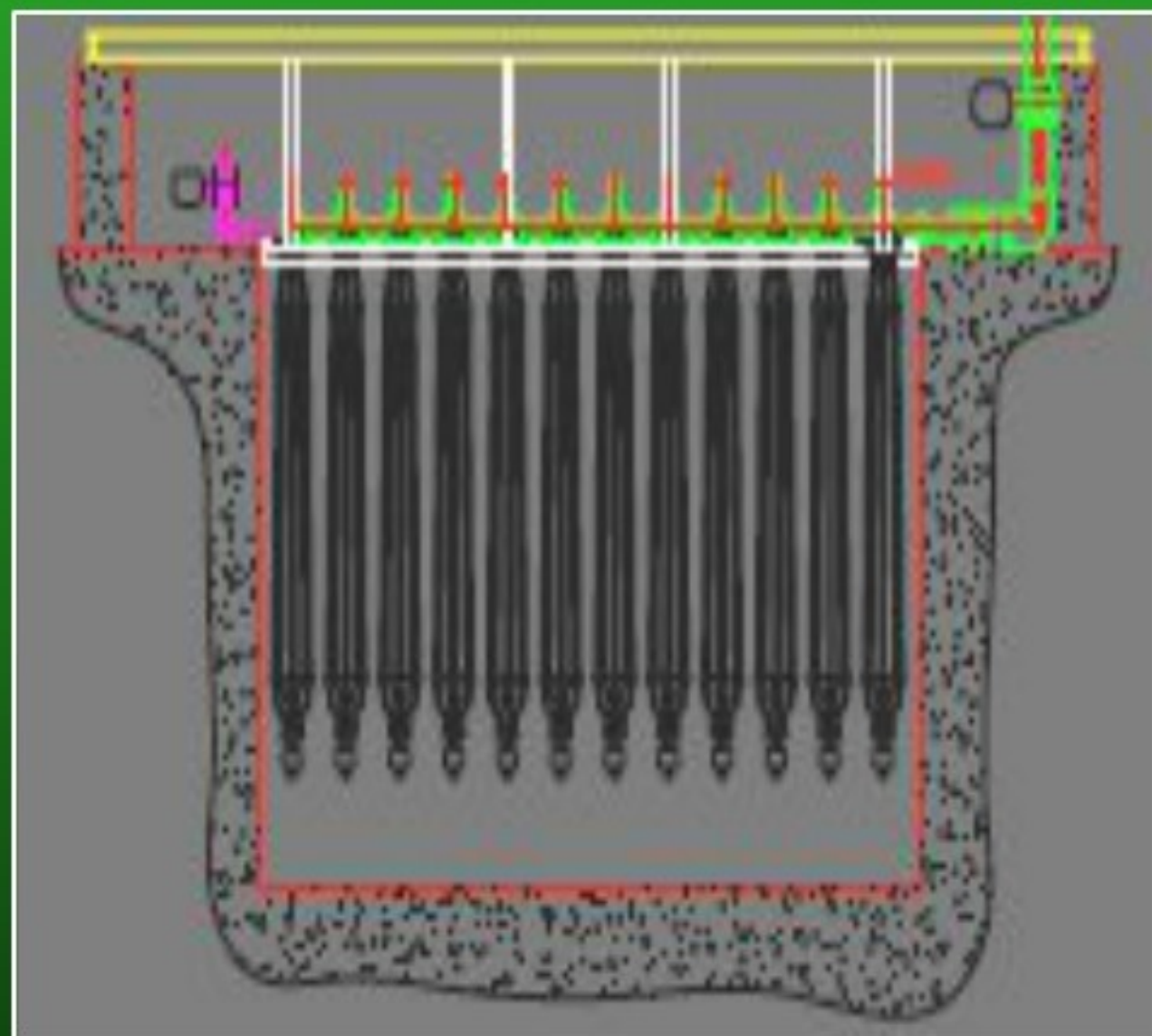
第二章. MBR工艺用膜、膜组件



2.3 三种常见的MBR膜组件

B. 中空纤维柱状浸入式膜组件

以GE的Zenon公司为代表，它具有膜面积大，占地面积小等特点。



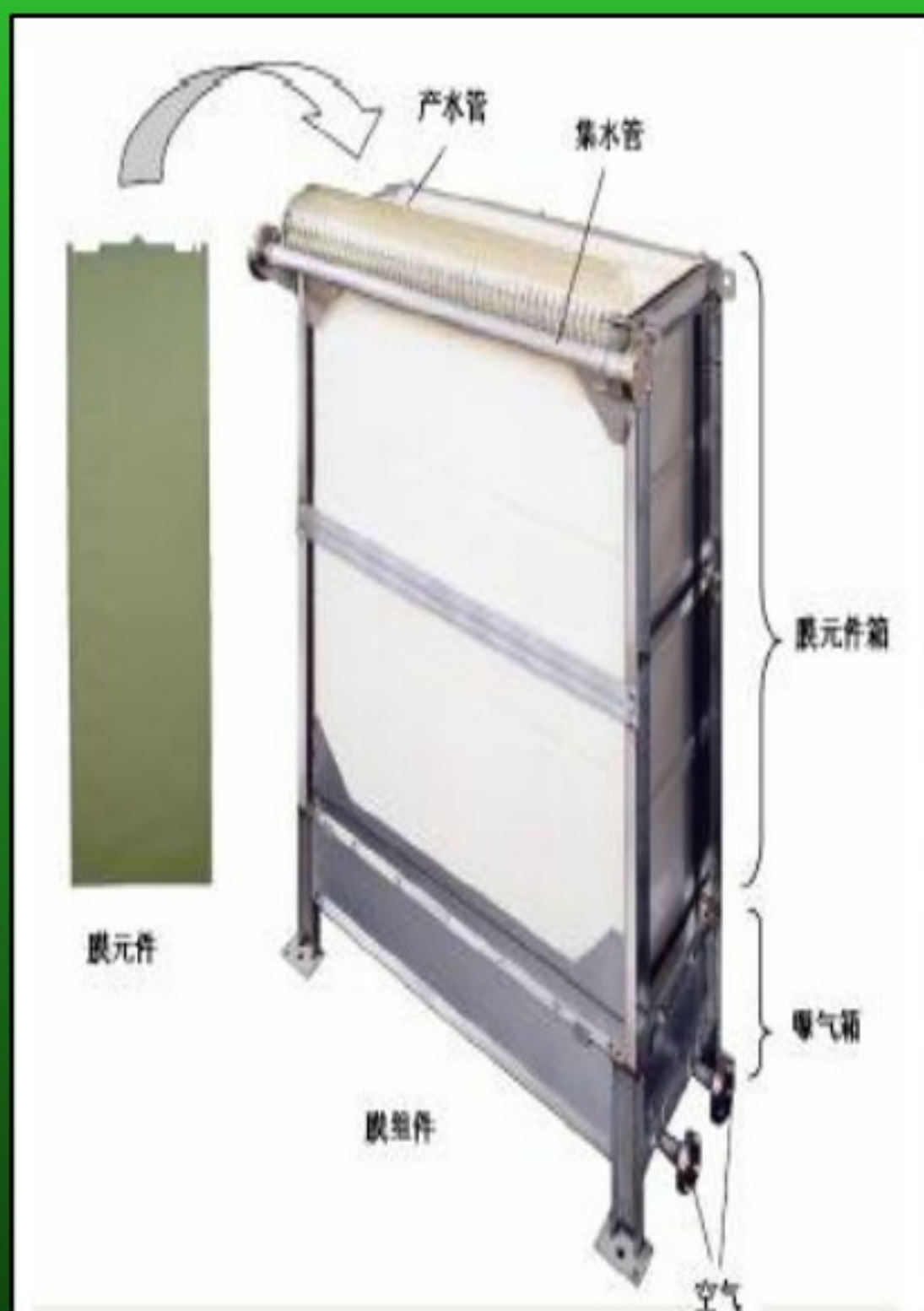
第二章. MBR工艺用膜、膜组件



2.3 三种常见的MBR膜组件

C. 平板型帘状浸入式膜组件

以Kubota公司为代表，具有膜通量大，易于组装，清洗方便等特点。



第三章. MBR系统设计



3.1 **MBR设计需求信息**

3.2 **MBR工艺组成**

3.3 **MBR工艺路线选择**

3.4 **膜池的设计**

3.5 **膜元件的选择与安装**

3.6 **MBR产水系统**

3.7 **MBR曝气系统**

3.8 **MBR反洗系统**

3.9 **MBR化学清洗系统**

3.10 **MBR自动控制系统**

3.11 **其他系统**

第三章. MBR系统设计



3.1 MBR设计需求信息

MBR设计信息需求表

废水水质	最少的水质条件包括：BOD、COD；TSS、VSS；N、P、Alk；T。
现场条件	包括：咨询报告、场地限制、特殊地貌；如果是改造项目，则还需要工厂平面图、池子和渠道的尺寸，运行历史数据等。
处理量和水力负荷	该信息对工艺配置和处理工艺的选择具有决定意义。
出水水质要求	或出水用途，该要求影响处理工艺流程的选择。

第三章. MBR系统设计



3.2 MBR工艺组成

以
ZW-
MBR
为例

- 1、预处理——细格栅，要求 $\leq 2\text{mm}$ ，推荐 $\leq 1\text{mm}$ 。圆孔和网格型
- 2、生化工艺部分
- 3、膜过滤部分
- 4、剩余污泥处理部分。

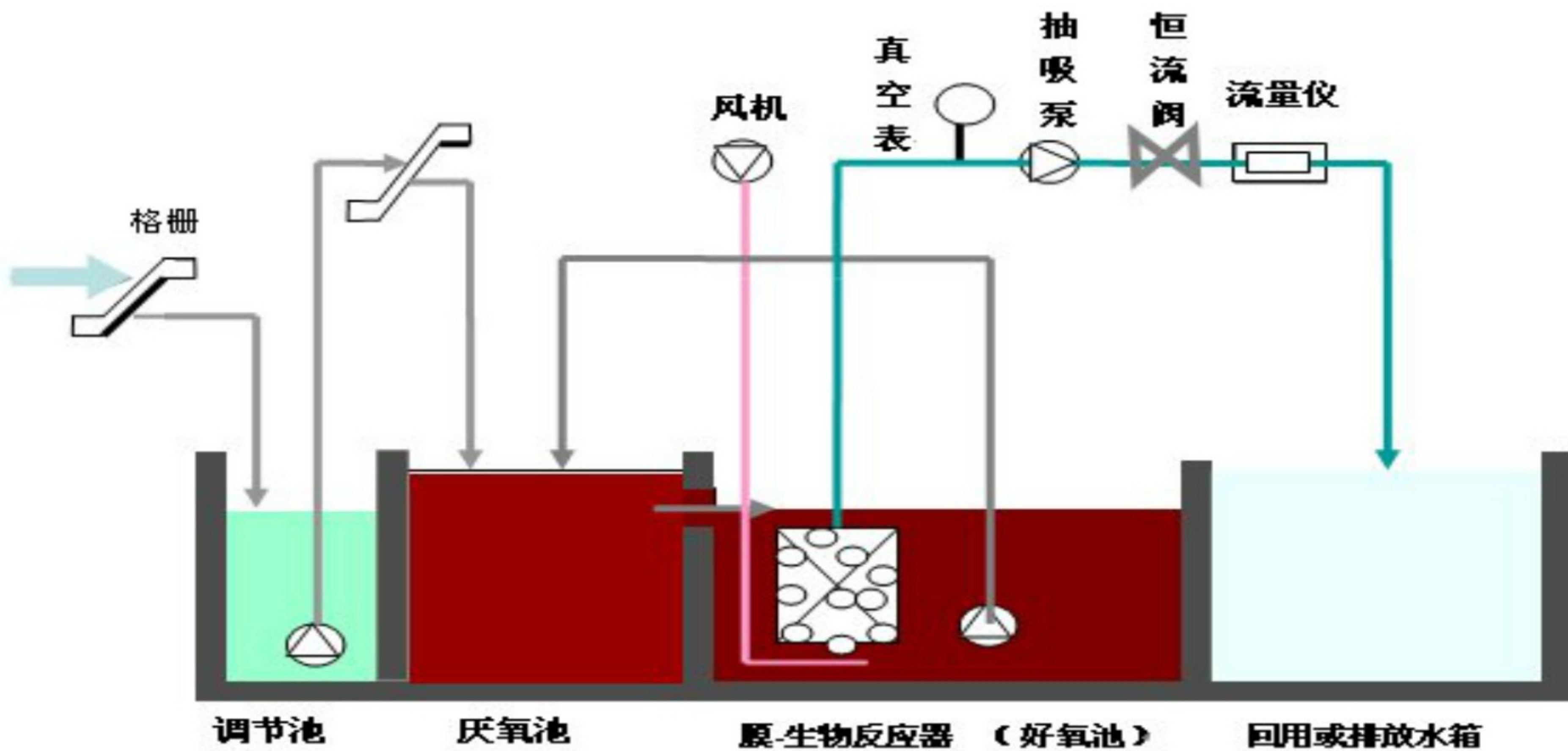
设计
职责

预处理	格栅—GE要求，初沉池、沉砂池—设计方决定
生化工艺部分	由GE或设计方决定
膜过滤部分	膜工艺（或产品）由GE决定
剩余污泥处理部分	污泥脱水—GE决定是否加聚合物，消化处理机—设计方决定，污泥处置方式—设计方决定

第三章. MBR系统设计



3.2 MBR工艺组成

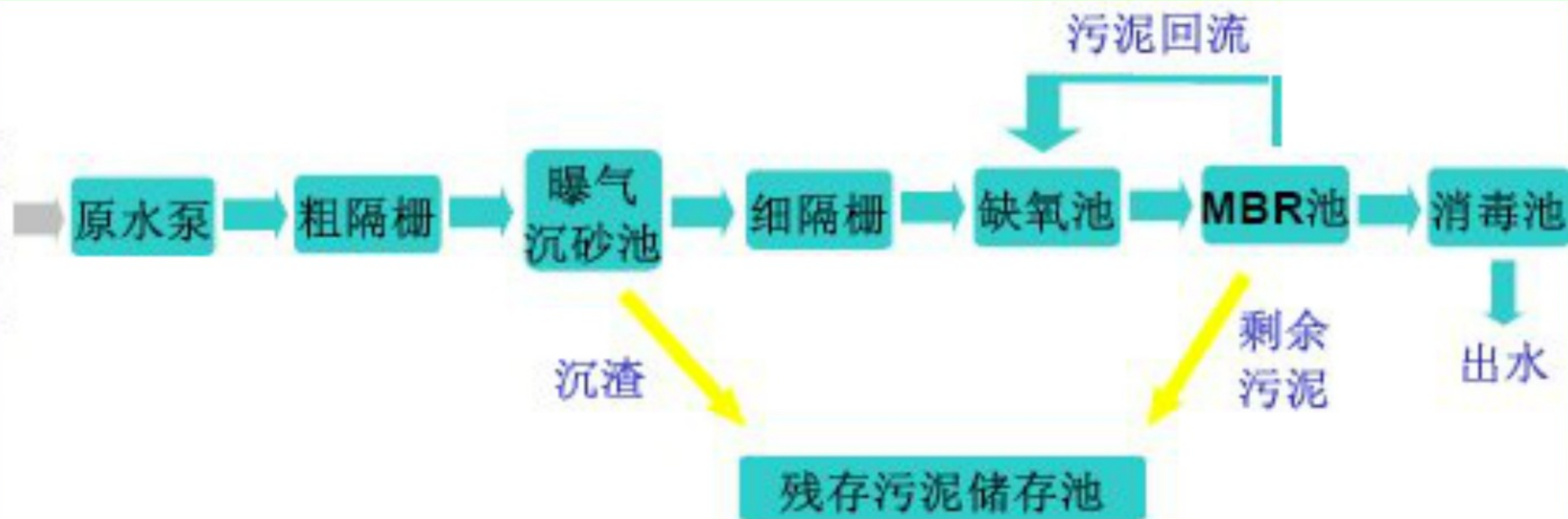


第三章. MBR系统设计



3.3 MBR工艺路线选择

针对生活污水的MBR工艺流程

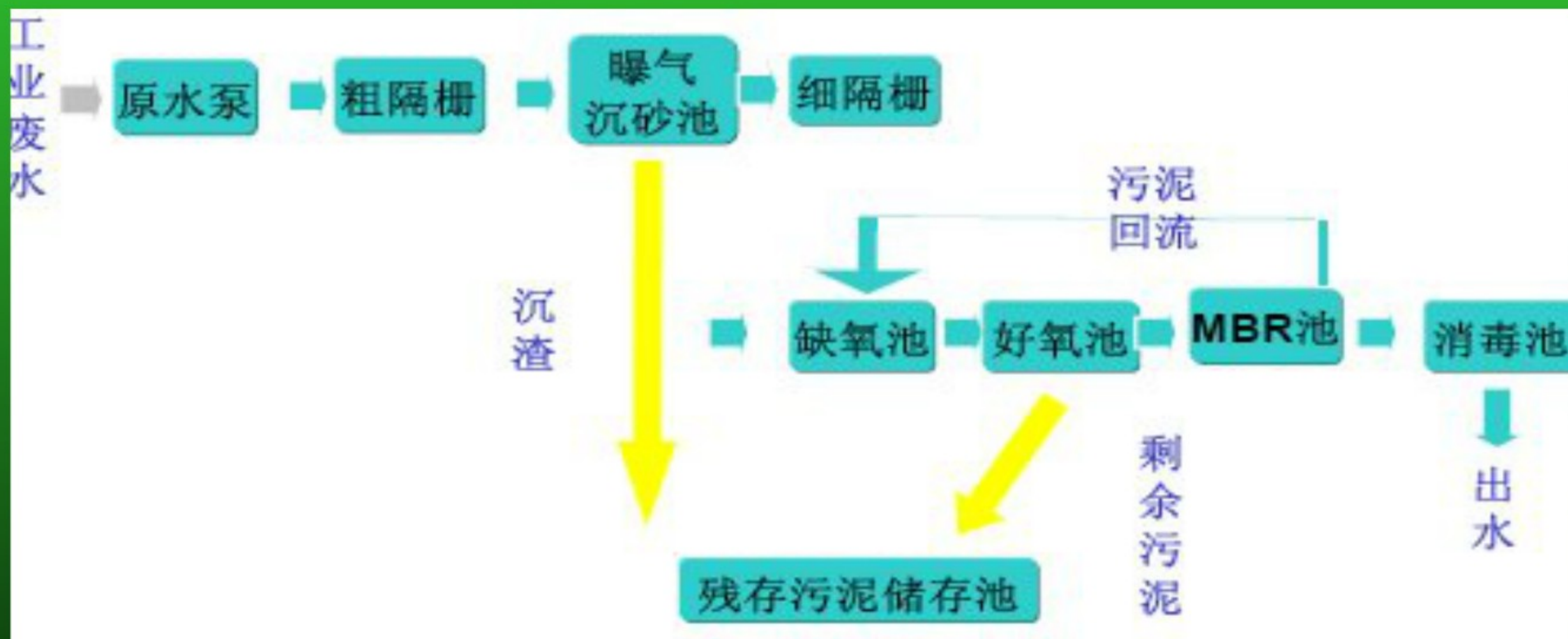


第三章. MBR系统设计



3.3 MBR工艺路线选择

针对工业废水的MBR工艺流程



第三章. MBR系统设计



3.3 MBR工艺路线选择

以氨氮去除为主的MBR工艺流程



第三章. MBR系统设计



3.4 膜池的设计

缺氧池设计

设计原则：氮容积负荷定位 $0.2\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 以下。

流入缺氧池水的含氮量： $Q_2 \cdot C_{\text{氨氮}}$

需要缺氧池容积为： $Q_1 \cdot C_{\text{氨氮}}/0.2$ 以上

膜池设计

设计原则：BOD容积负荷在 $2.0\text{ kg-BOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 以下

设计缺氧池对进水BOD的去除率为 $\eta(20\% \sim 50\%)$ ，则流入膜生物反应池的BOD浓度为 $C_{\text{BOD}} \times (1-20\%)$ ；

需要的膜生物反应池的容积为 $C_{\text{BOD}} \times (1-20\%) \div 2$ 以上。

第三章. MBR系统设计



3.5 膜元件的选择和安装

膜元件 的选择

选择核实的膜通量

确定所需要的膜面积

根据单支元件的膜面积确定膜元件的数量

MBR膜在运行过程中涉及反洗等操作，因此必须综合考虑水的利用率以及元件的停歇时间

第三章. MBR系统设计



3.5 膜元件的选择和安装

膜元件
的安装

以欧美-FLEXELL膜元件为例，W1不小于100mm，W2不小于150mm，W3不小于150mm，W4不小于400mm。

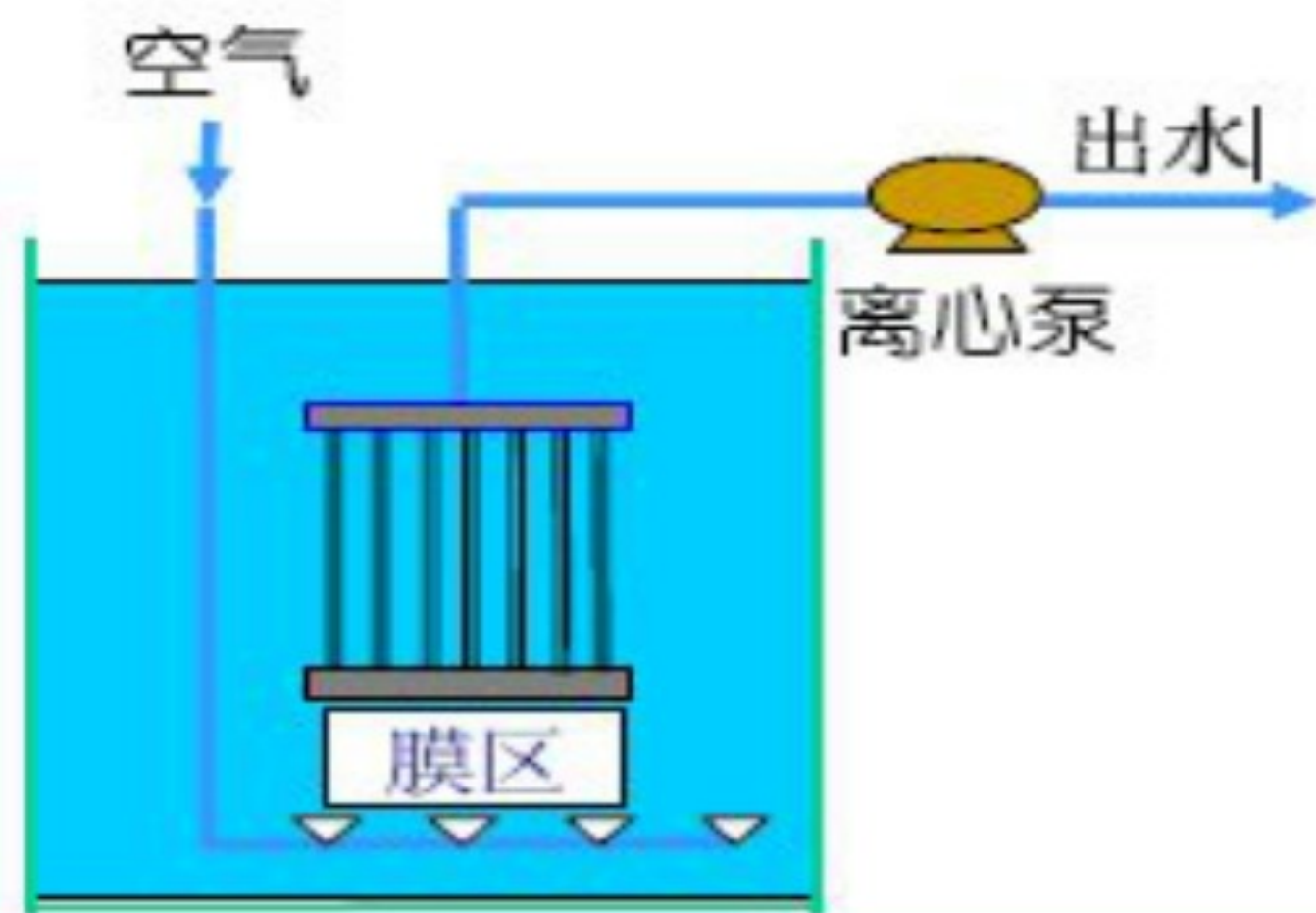


第三章. MBR系统设计

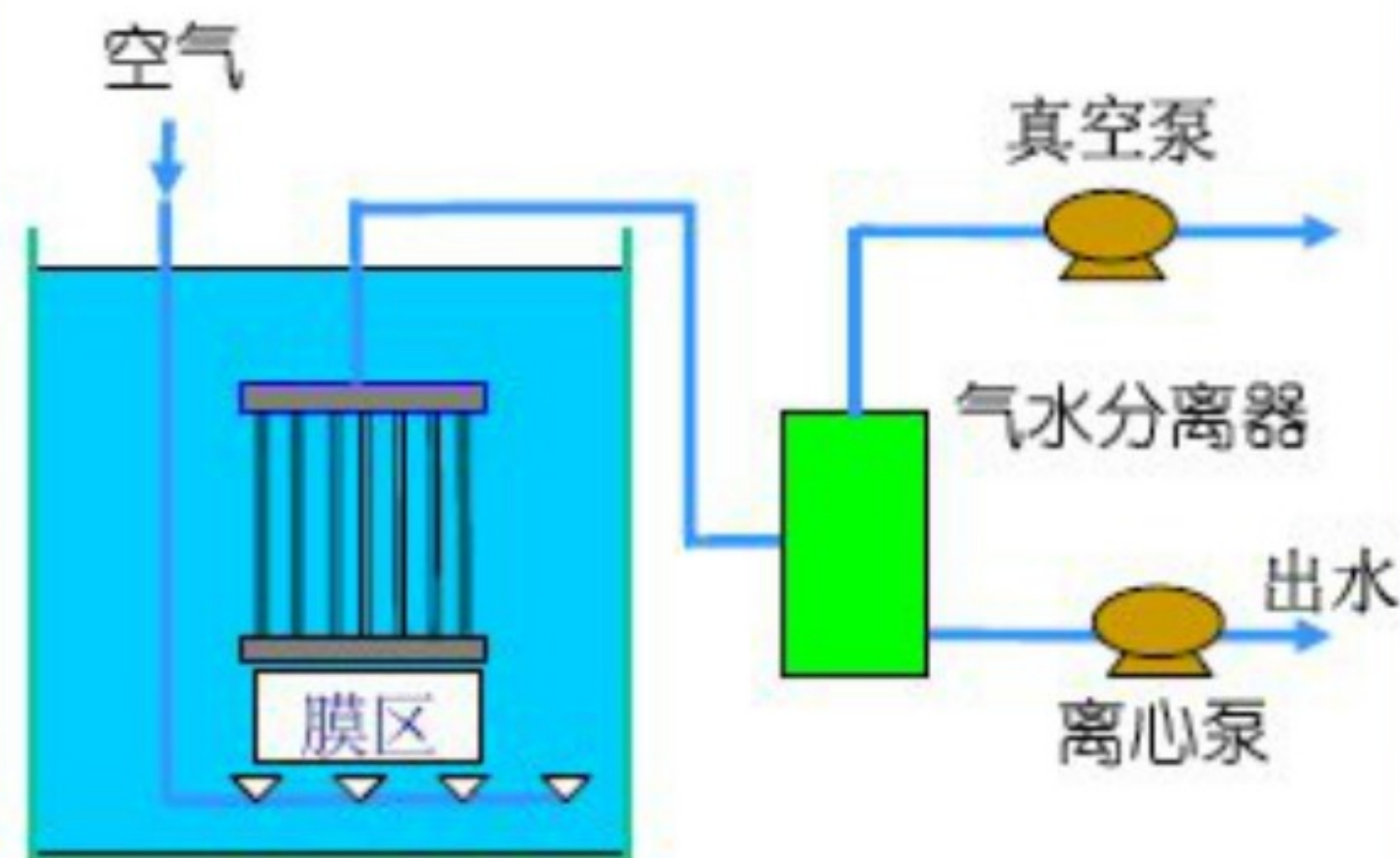


3.6 MBR产水系统

方案一:



方案二:



产水系统可采用连续运行或间歇运行两种不同的运行方式；
对于微污染源水或MBR池MLSS浓度低的系统可连续产水；
对于高MLSS的系统，可选用抽吸与停抽相结合的运行方式。

第三章. MBR系统设计



3.7 MBR曝气系统

需氧量

曝气系统主要为膜生物反应池的微生物生长代谢提供氧气，主要有三个方面：

- 1.微生物氧化分解有机物的需氧量
- 2.微生物自身细胞物质的氧化分解的需氧量
- 3.对污水中氨氮进行氧化所需氧量。

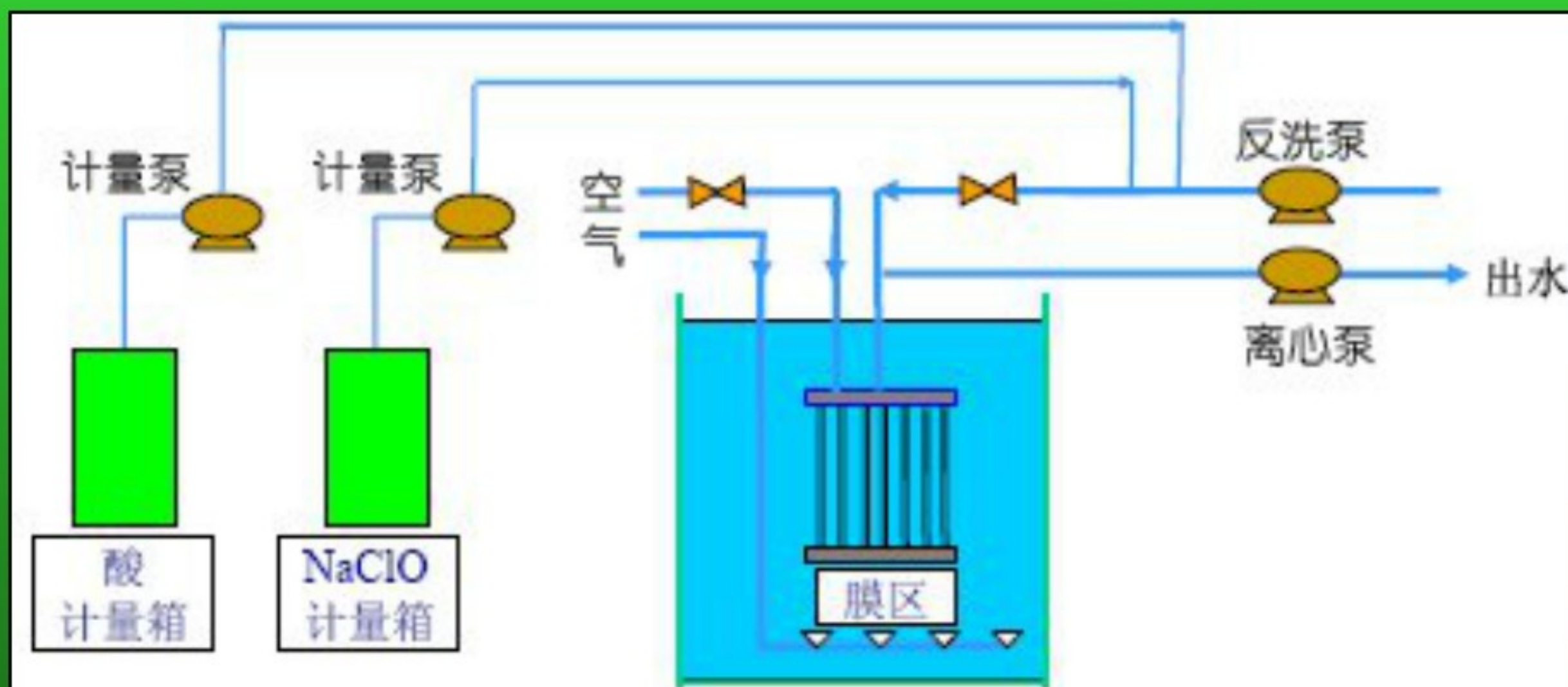
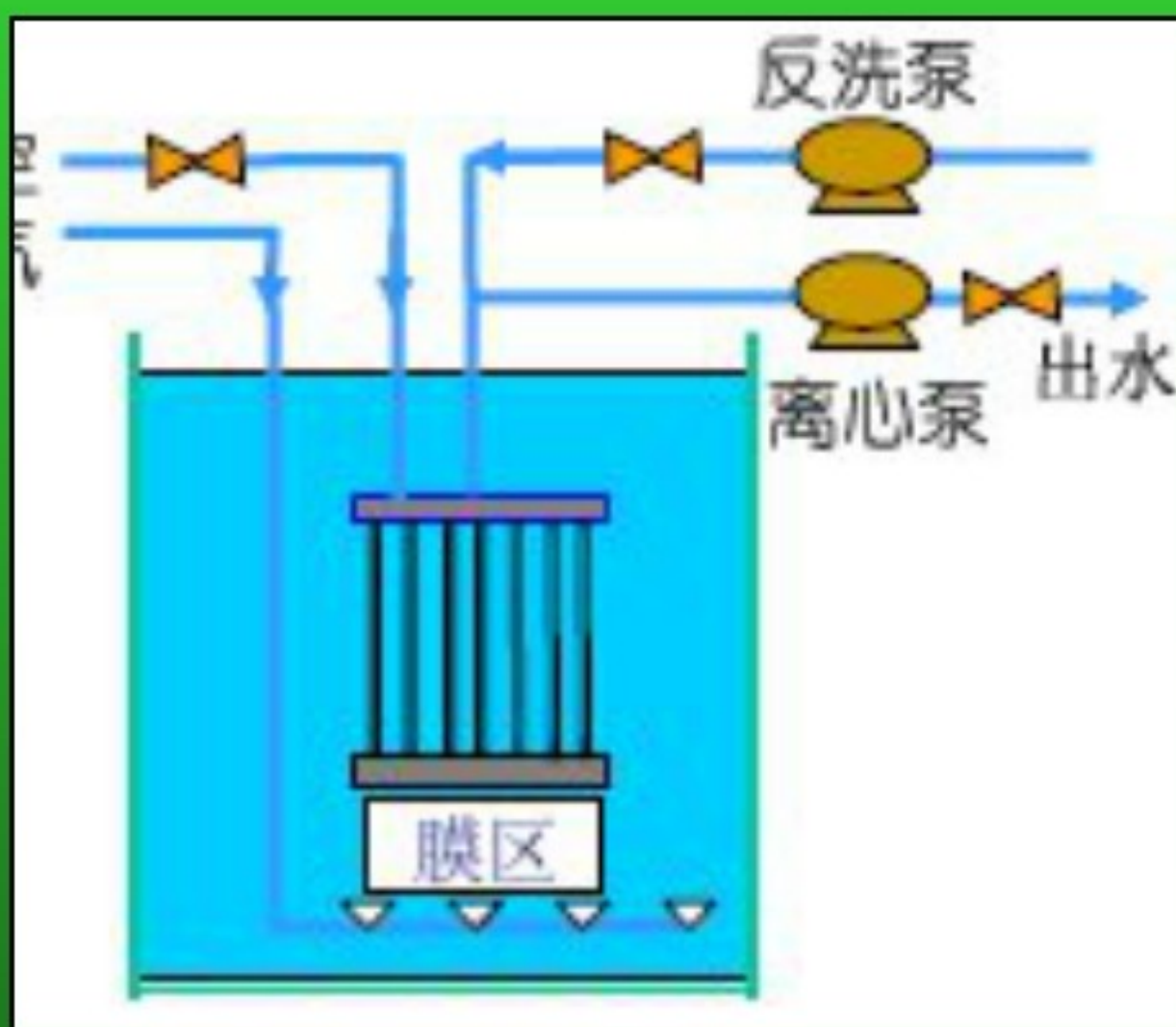
10/30曝气

通过改进采取循环曝气可以降低能耗。以前为10S开10S关→现在10S开30S关，该曝气方式要求膜组件为偶数列。两列膜同时工作，可以降低75%能耗，在低流速和低污垢的情况下可降低50%能耗；该曝气方式降低了微生物的剪切力，提高了絮体结构及去除性。单列膜；峰值情况；高结垢情况下不能采取10/30曝气。

第三章. MBR系统设计



3.8 MBR反洗系统

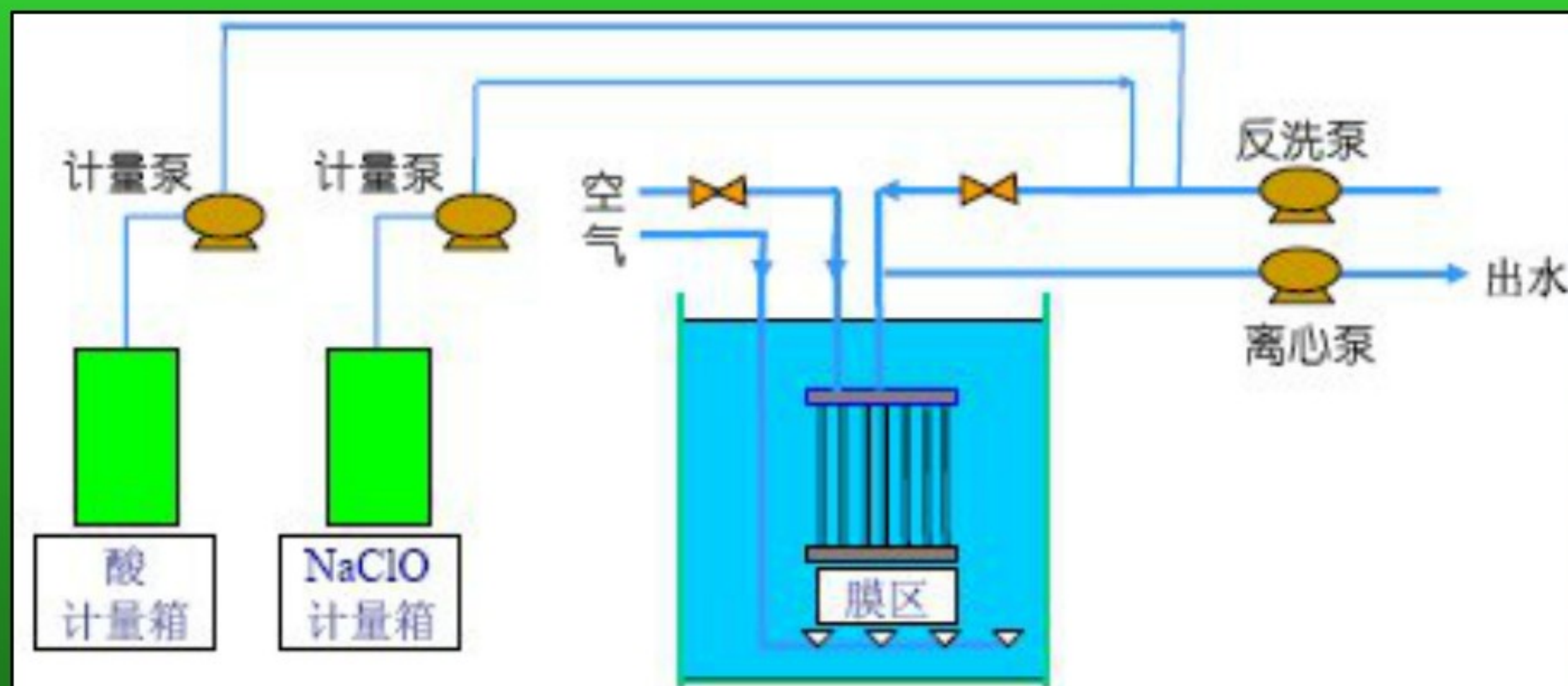
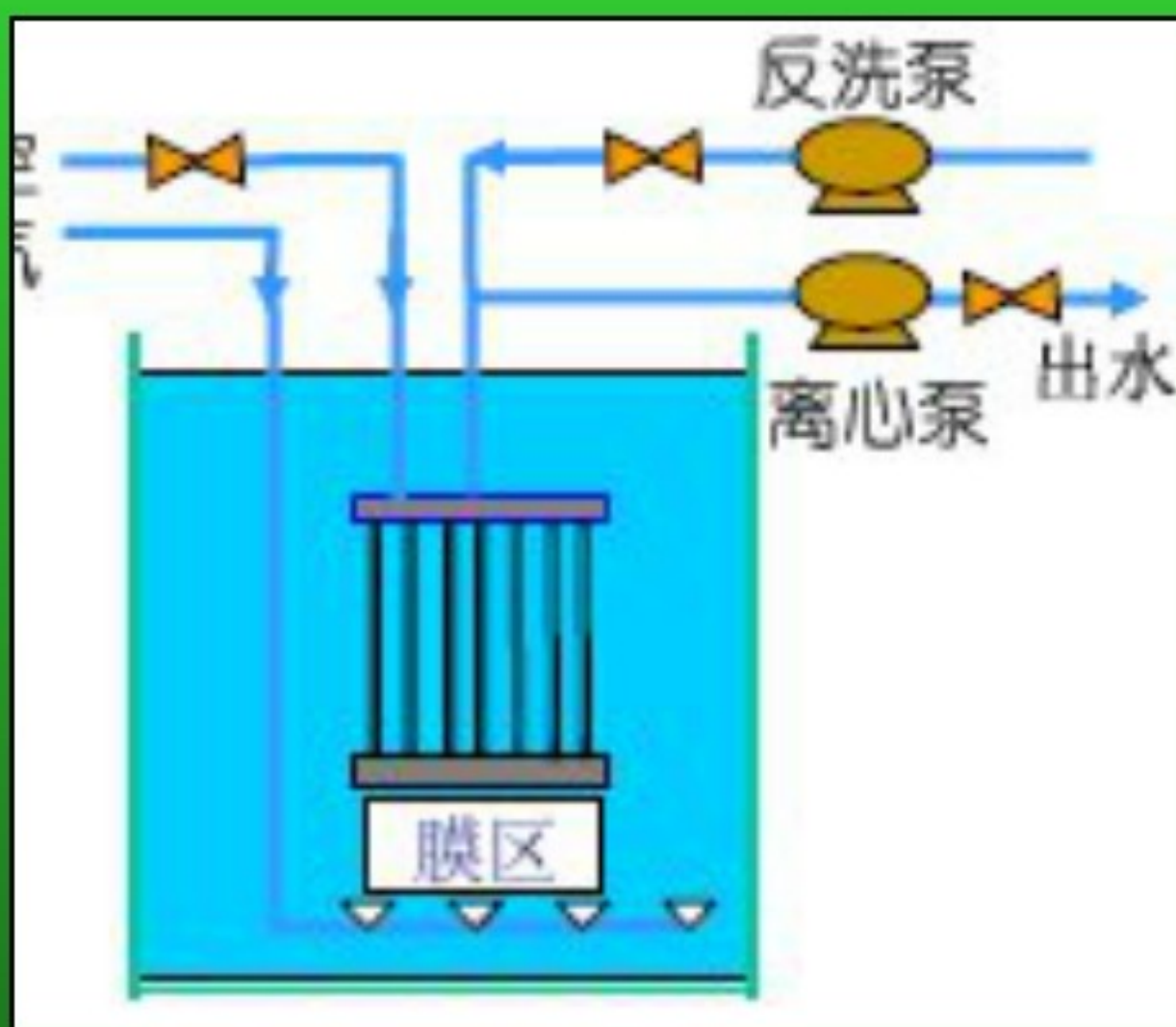


结合有机物污染通过碱洗效果明显、盐结垢通过酸洗效果明显的原理，将化学加强反洗程序引入到MBR膜的运行过程中。通过类似于低强度的化学清洗的操作，将MBR膜的污染消除在刚形成的阶段，阻止膜污染得不到及时恢复形成协同恶化的效应。

第三章. MBR系统设计



3.8 MBR反洗系统

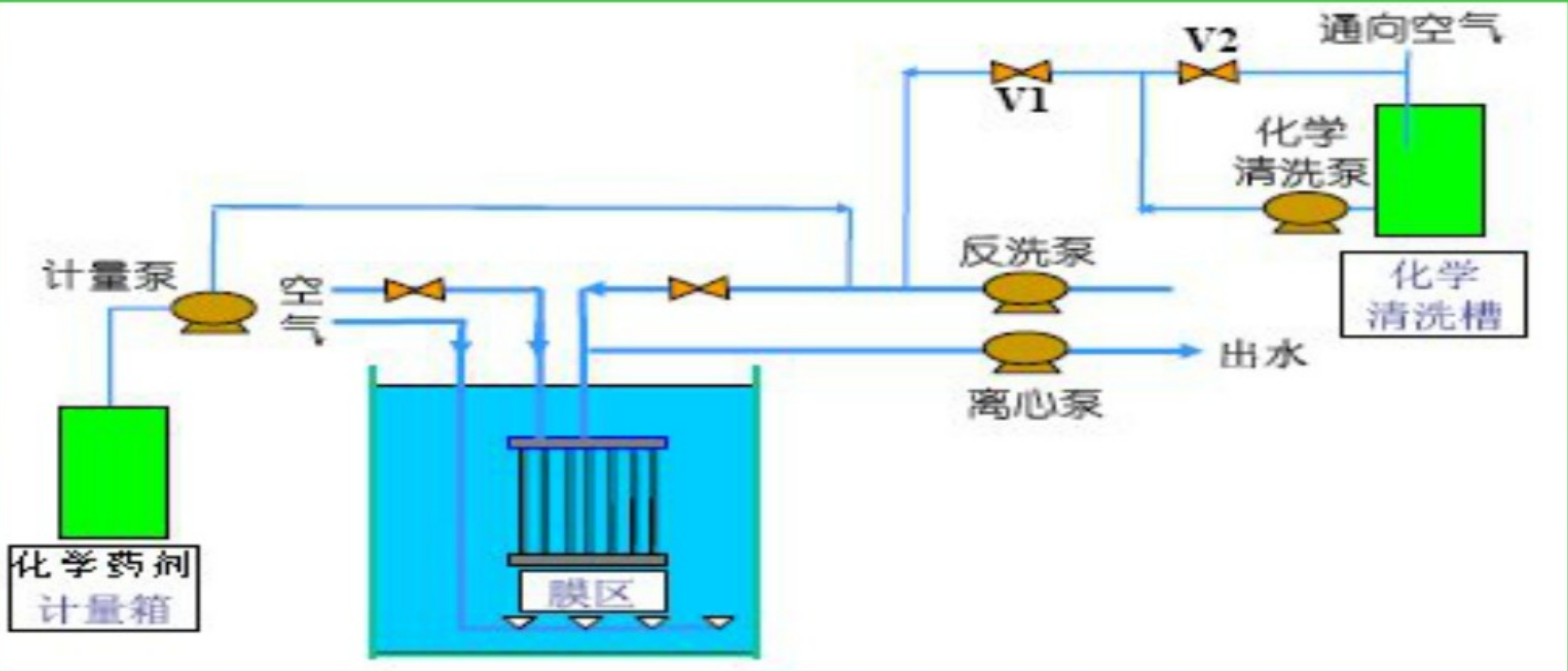


加药种类	化学药剂	加药浓度
酸	盐酸、柠檬酸、草酸	控制PH在2.5~3.5之间
碱	氢氧化钠	0.02%~0.05%
氧化剂	次氯酸钠	0.05%~0.1%

第三章. MBR系统设计



3.9 MBR加药系统



化学清洗的频率和操作的条件与进水的
水质有关。通常情况
下运行1~3个月或在
相同的运行条件下透
过膜的压差比初期上
升的0.5bar以上时就
应该进行化学清洗。

污染物	化学药剂	浓度	清洗时间
有机物	10%次氯酸钠	1000~5000mg/L	1~2h
有机物	氢氧化钠	PH<12	1h
无机物	盐酸	0.1mol/L	1~2h

第三章. MBR系统设计



3.10 MBR自动控制系统

	状态	运行						停机
步骤	序号	1	2	3	4	5	6	7
	步序	运行	汽水反洗	停抽	加药	浸泡	冲洗	停机
泵 阀 状 况 表	抽吸泵	○						
	反洗水泵		○		○		○	
	加药泵				○			
	产水泵	○						
	反洗泵		○		○		○	
	进气阀		○					
时间		15~30min	30~60min	2~8min	30~60min	5~10min	60~90s	

- 1、当不进行分散化学清洗时，程序运行按1-2-7或1-2-3-7。
- 2、进行程序转换时所需考虑的缓冲时间应在实际编程时进行考虑。

第三章. MBR系统设计



3.11 其他系统

污泥回流系统	从膜生物反应池到缺氧池的硝化液循环量根据要求氨氮的去除率来决定。从膜生物反应池到缺氧池的循环比如果为R，硝化液循环量则为RQ，从缺氧池到膜生物反应池的混合液量则为(R+1)Q.
氮磷营养药剂投加系统	微生物生产繁殖代谢所需要的营养比为 BOD:T-N:T-P=100:5:1 。 添加氮磷营养药剂以补充原水中氮磷不足部分的量。
有机营养药剂投加系统	使 BOD/N 成为 3 以上而添加不足部分的 BOD ，一般投加的有机营养物为甲醇。
碱度补充系统	若进水中碱度不能保证保证硝化的进行和氨氮的设计去除率，必须补充外加碱度。一般采用投加 Na₂CO₃ 或 NaHCO₃ 。 1mg Na₂CO₃ 相当于 0.94mgCaCO₃ 碱度； 1mg NaHCO₃ 相当于 1.19 mgCaCO₃ 碱度；

第四章.MBR案例介绍



4.1

GE-MBR中国项目

4.2

渗滤液处理应用项目

第四章.MBR案例介绍



4.1 GE-MBR中国项目

运行周期	过滤：12~15min；反冲洗：15~30s——一小时内产水57min，停机（冲洗）3min。
透膜压差	
汽蚀余量	
流量	小时峰值流量（PHF）、日平均流量（ADF）
余量要求	采取N-1设计。两种方法：增加膜组件列数，减少膜数量；增加膜面积，不增加膜组件列数。 预留空间——GE设计时一般为20%
曝气	10/30曝气
膜池设计	膜丝必须浸没在液面0.51m以下
气水分离	MBR不需要连续的气水分离，最好采用水射器

设计
参数

第四章.MBR案例介绍



4.1 GE-MBR中国项目

工程名称	日处理量（吨/天）	项目所处阶段
内蒙古金桥电厂MBR项目	30000	运行
无锡梅村市政污水MBR项目（改善太湖水质的要求）	30000	设计完成
长安福特污水回用项目（2007年，电镀废水）	1200	运行
惠氏（苏州）MBR污水处理回用	1800	设计阶段
中石油长庆石化炼油污水回用	4800	调试完毕
巨石玻纤污水MBR回用	4800	调试中

中国
项目

第四章.MBR案例介绍



4.2 渗滤液处理应用项目

郑州市垃圾卫生填埋场

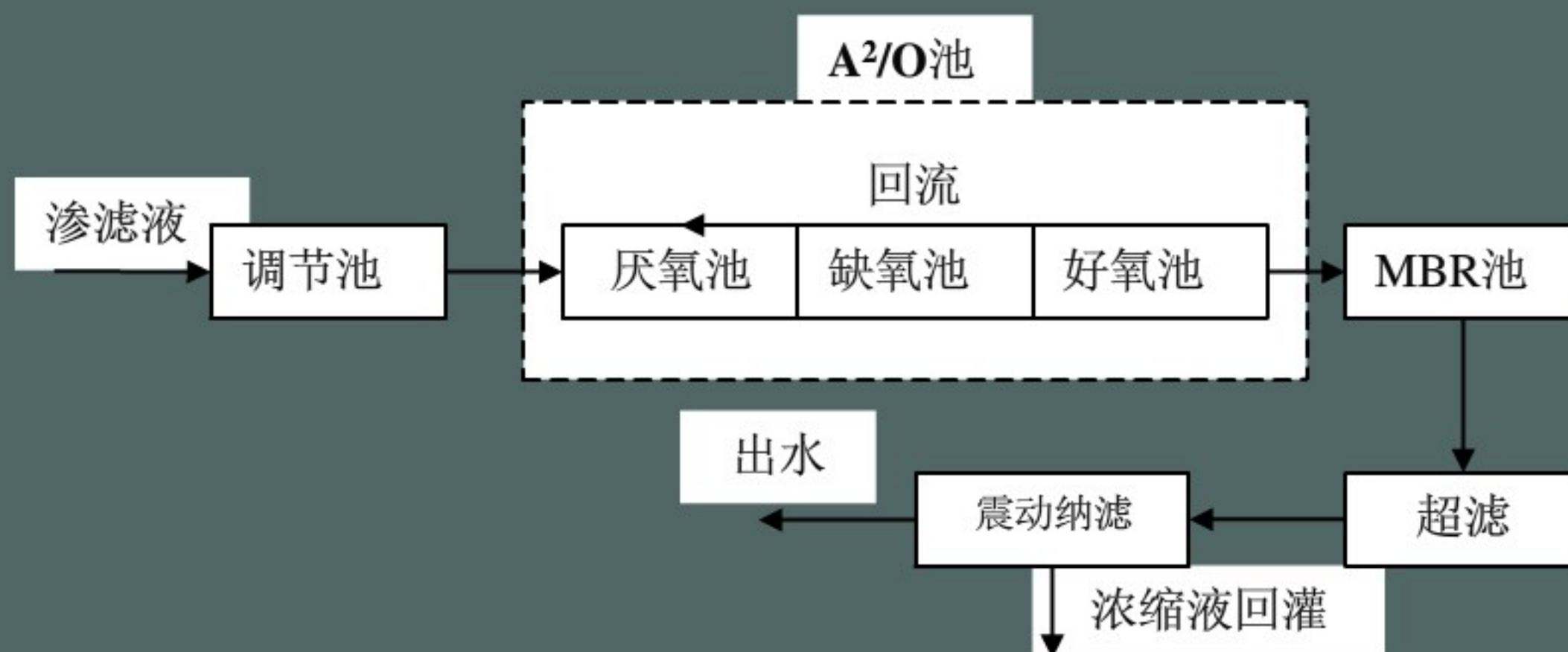


第四章.MBR案例介绍



4.2 渗滤液处理应用项目

郑州市垃圾卫生填埋场



郑州垃圾综合处理厂渗滤液处理工艺流程图

第四章.MBR案例介绍



4.2 渗滤液处理应用项目

郑州市垃圾卫生填埋场



第四章.MBR案例介绍



4.2 渗滤液处理应用项目

郑州市垃圾卫生填埋场





Thank You!