

## 第3节 污泥的稳定

## 污泥稳定化的处理方法:

厌氧消化法

好氧消化法

氯化氧化法

石灰稳定法

热处理法

## 常用方法

## 厌氧消化

### 目的

污泥中的挥发性固体的量降低40%左右

### 过程

水解、酸化、产乙酸、产甲烷

### 控制过程

固态物的水解、液化、产甲烷

### 优点

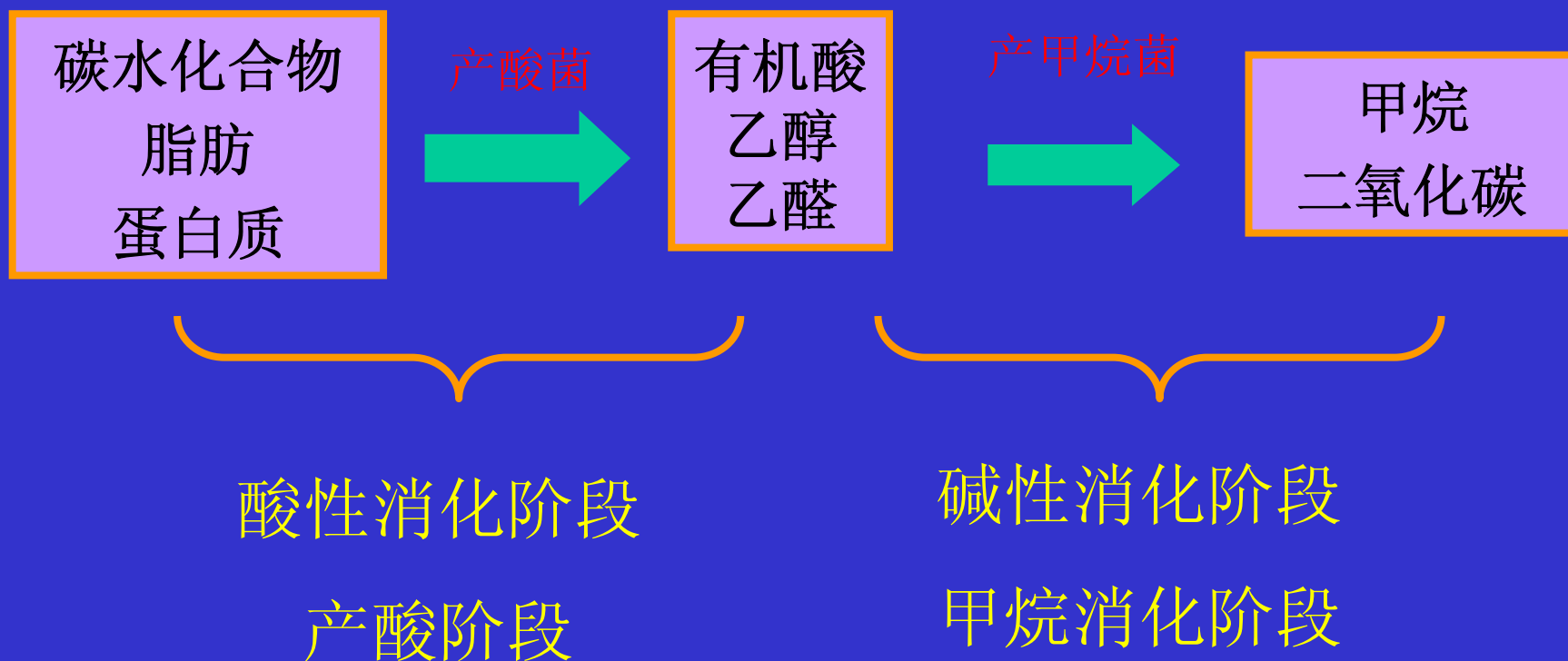
产生能量	使污泥固体总量减少
作土壤调节剂	杀死致病菌

### 缺点

投资大	运行易受环境条件的影响
消化反应时间长	消化污泥不易沉淀

# 厌氧消化（厌氧生物处理）基本原理

- 厌氧消化二阶段理论



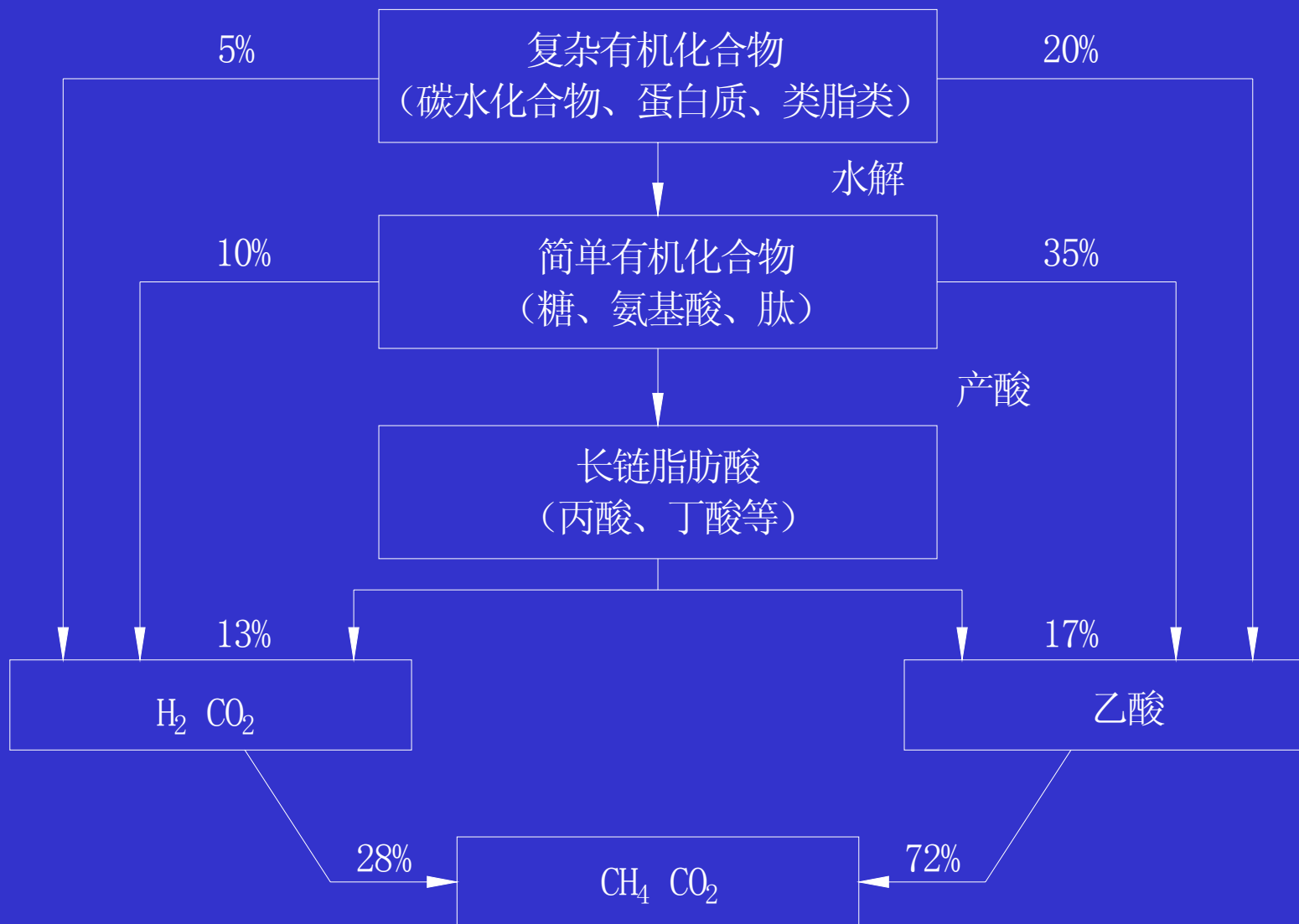
# 废水处理工艺中的厌氧微生物

在厌氧消化系统中微生物主要分为两大类：  
非产甲烷菌（non-menthanogens）和  
产甲烷细菌（menthanogens）。

表19-1 产酸菌和产甲烷菌的特性参数

参数	产甲烷菌	产酸菌
对pH的敏感性	敏感，最佳pH为6.8~7.2	不太敏感，最佳pH为5.5~7.0
氧化还原电位Eh	<-350mv(中温)，<-560mv(高温)	<-150~200mv
对温度的敏感性	最佳温度：30~38℃，50~55℃	最佳温度：20~35℃

# • 厌氧消化三阶段理论



根据厌氧消化三阶段理论，复杂有机物的厌氧消化过程主要包括水解、产酸和产甲烷三个阶段，

由多种相互依存的细菌群来完成复杂的基质混合物最终转化为甲烷和二氧化碳，并合成自身细胞物质。每一阶段各有其独特的微生物类群：

### 水解阶段起作用的细菌：

主要包括纤维素分解菌、脂肪分解菌、蛋白质水解菌；

### 产酸阶段起作用的细菌：

主要产氢产乙酸细菌群，利用水解阶段的产物产生乙酸、氢气和二氧化碳等；

### 产甲烷阶段起作用的细菌：

是产甲烷菌，利用乙酸、丙酸、甲醇等化合物为基质，将其转化成甲烷，其中乙酸和 $H_2/CO_2$ 是其主要基质。

# • 厌氧消化四阶段理论

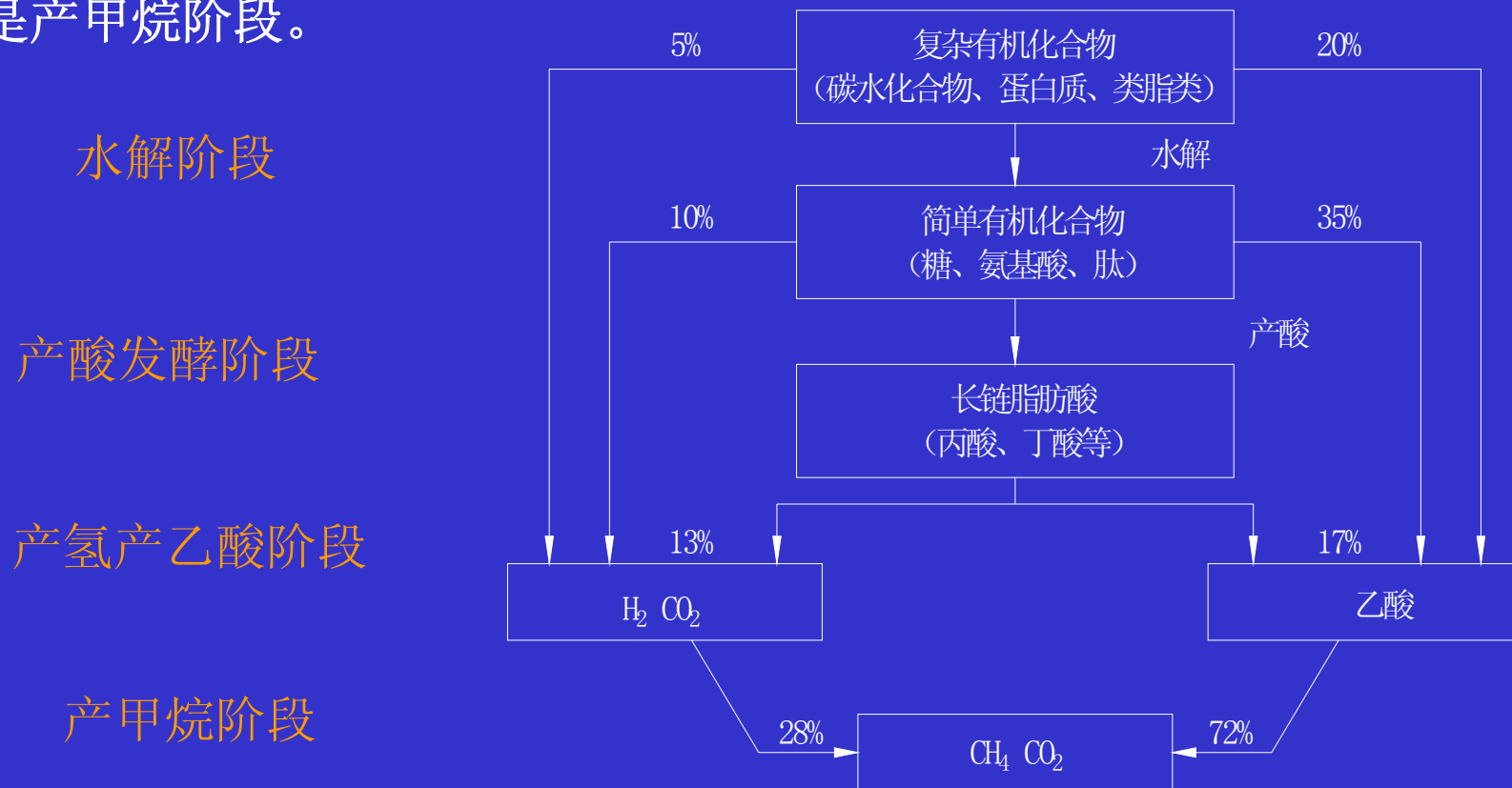
第一是水解阶段，

固态有机物被细菌的胞外酶水解；

第二是产酸发酵（酸化）阶段；

第三是产氢产乙酸阶段，在进入甲烷化阶段之前，代谢中间液态产物都要乙酸化，称产乙酸化阶段；

第四是产甲烷阶段。





# 影响污泥厌氧消化的主要因素

## 1. pH和碱度

厌氧消化

产生

有机酸

pH

最佳为  
7.0~7.3

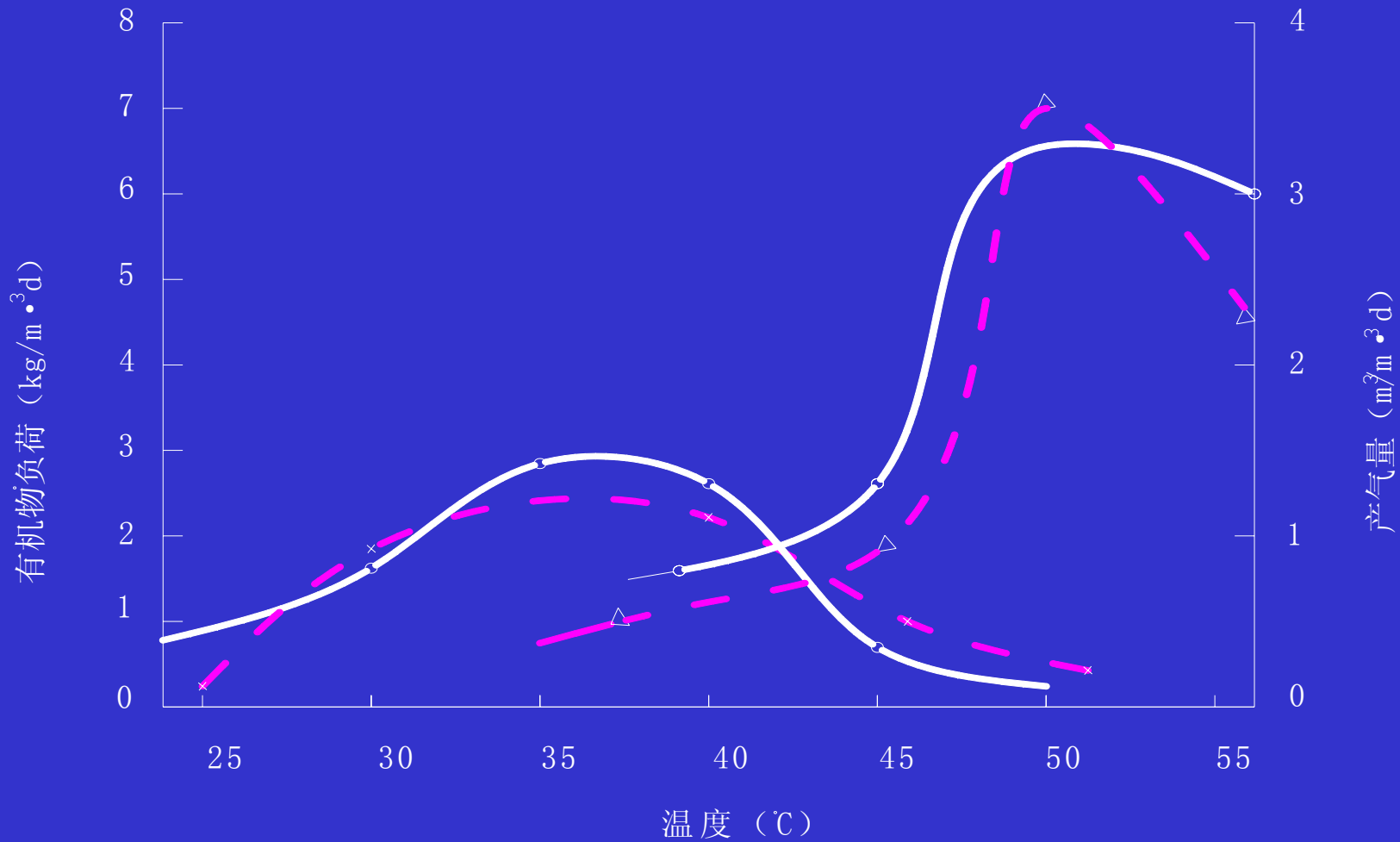
甲烷菌分解有机酸时产生的重碳酸盐不断增加

## 2. 温度

中温：33~35°C

高温：50~55°C

# 温度与有机物负荷、产气量关系

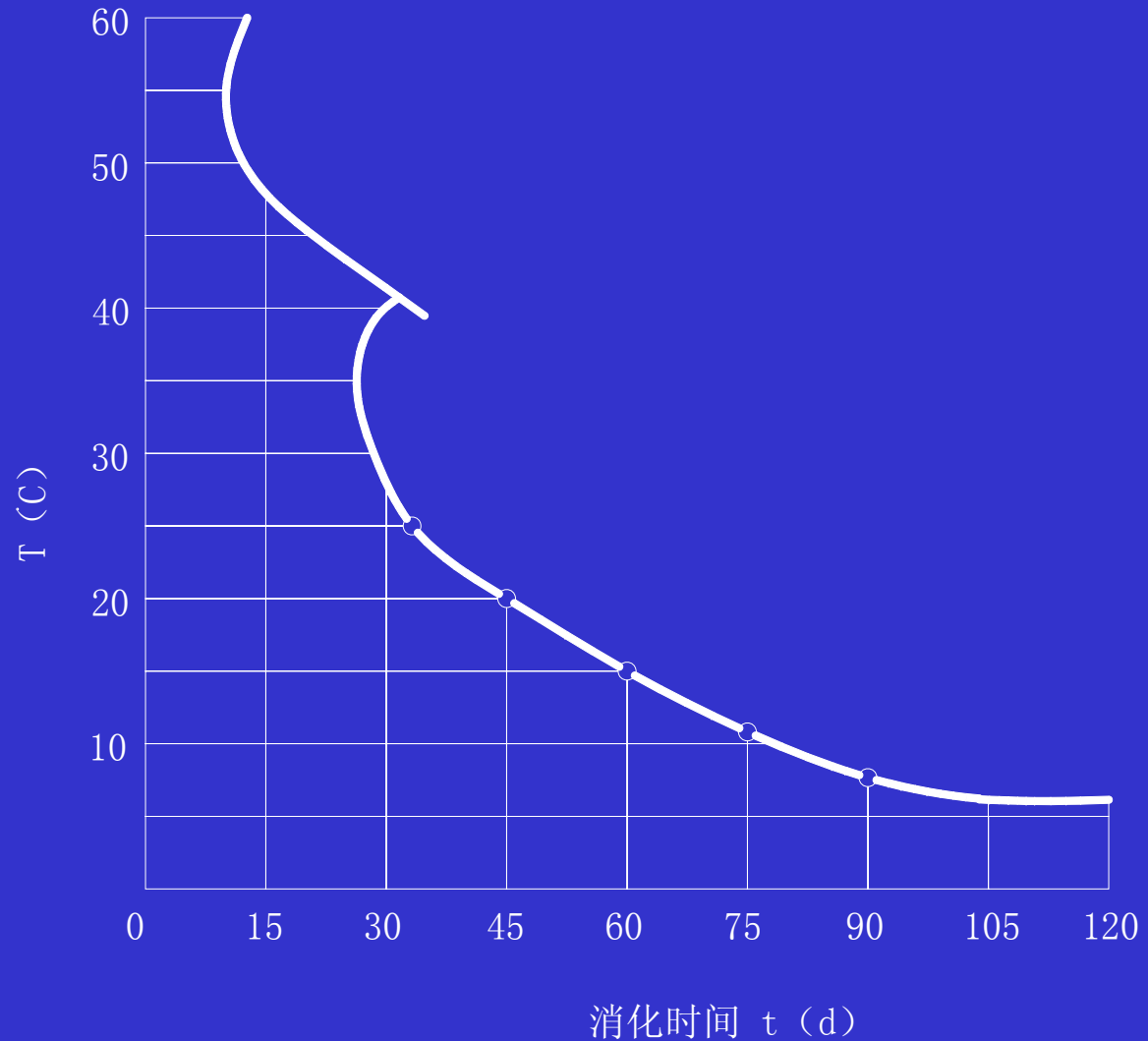


# 消化温度与消化时间的关系

高温消化

中温消化

常温消化



### 3. 负荷

用投配率表示

投配率——每日投加新鲜污泥体积占消化池有效容积的百分数。

计算厌氧消化池的容积

城市污水 中温消化（投配率5-8%）  
相应的消化时间为 $1/(5\%) - 1/(8\%) = 20-12.5d$ ，  
高温消化（10-16%）

投配率=1/停留时间

## 4. 消化池的搅拌

在有机物的厌氧发酵过程中，让反应器中的微生物和营养物质(有机物)搅拌混合，充分接触，将使得整个反应器中的物质传递、转化过程加快。

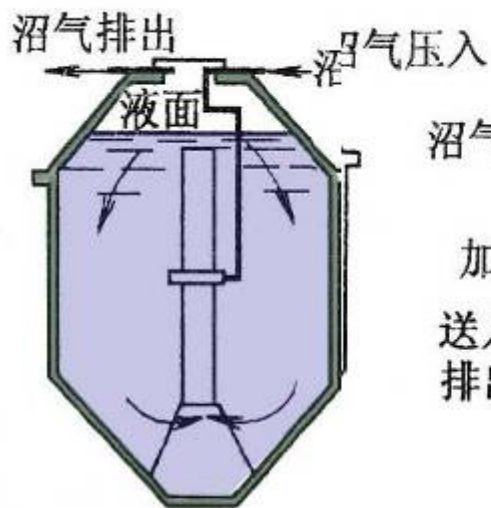
作用

使池内污泥浓度分布均匀，利于微生物生长繁殖

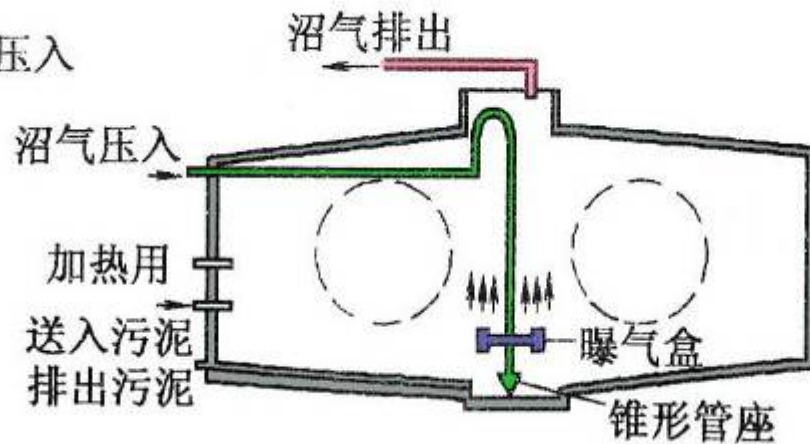
释放有害气体

使环境因素在反应器内保持均匀

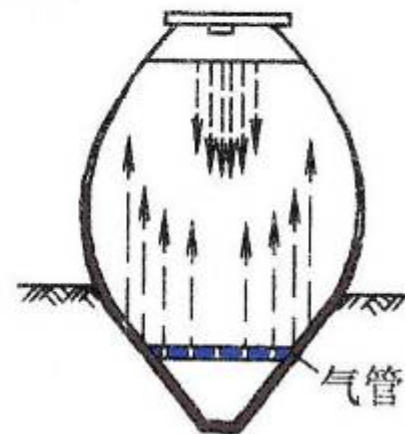
方法：  
泵+水射器  
消化气循环  
混合搅拌法



a. 气体升液器式

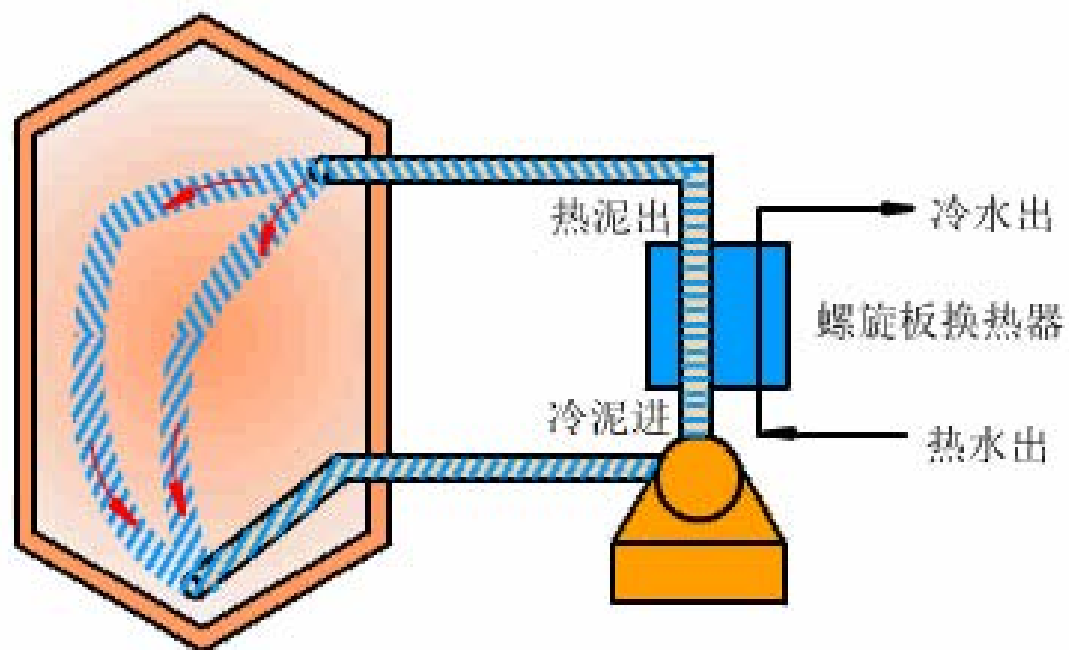


b. 气体扩散式

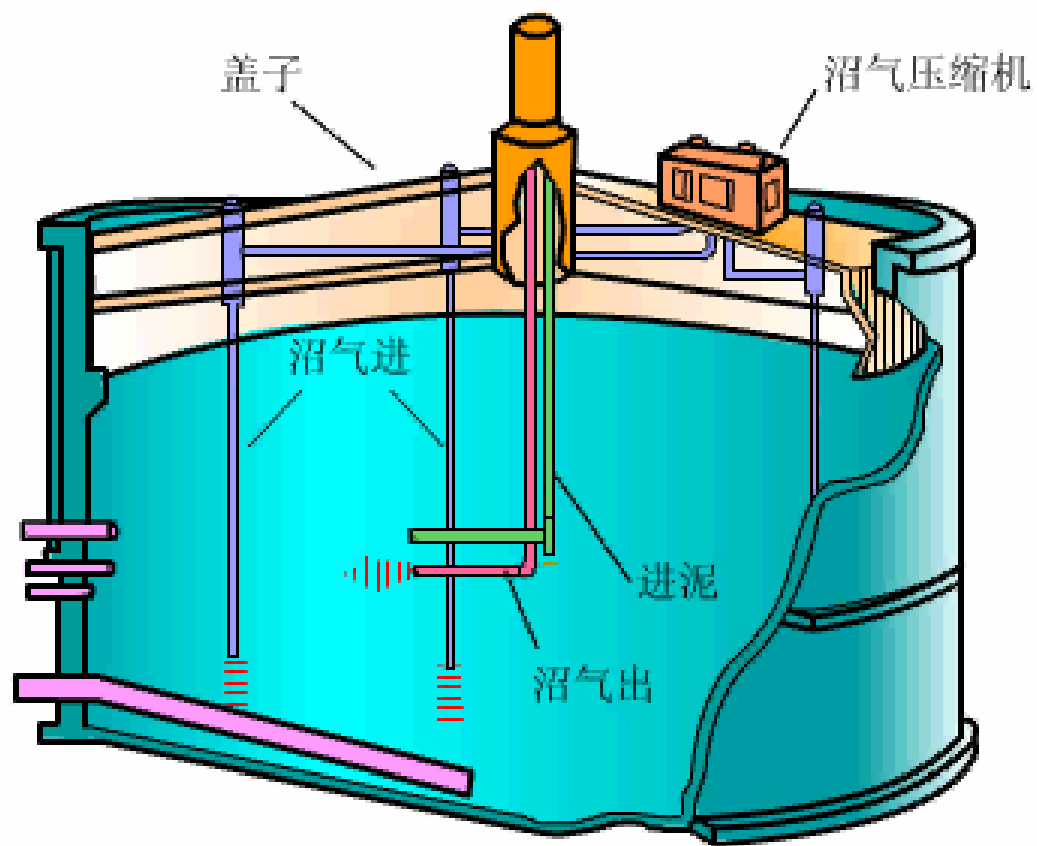


c. 利用池底配管压入气体方法

沼气风机搅拌

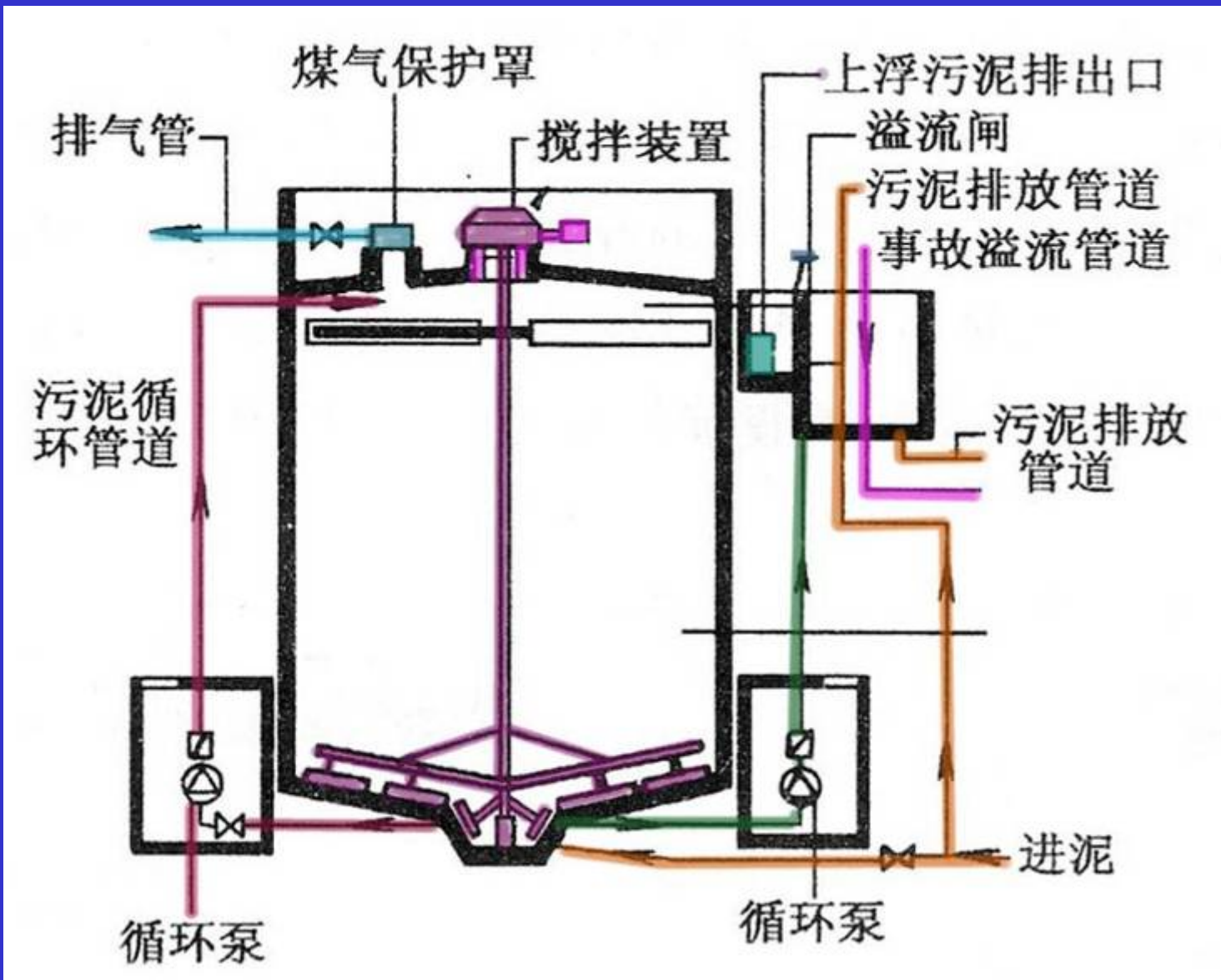


水力循环搅拌



沼气搅拌消化池





螺旋浆搅拌的消化池

## 5.营养与C/N比

污泥采用：C/N=（10-20）：1

原料C/N比过高，碳素多，氮素养料相对缺乏，细菌和其他微生物的生长繁殖受到限制，有机物的分解速度就慢、发酵过程就长，缓冲能力下降。

若C/N比过低，可供消耗的碳素少，氮素养料相对过剩，则容易造成系统中氨氮浓度过高，出现氨中毒。

## 6.有毒物质

### (1) 氨氮

厌氧消化过程中，氮的平衡是非常重要的因素。消化系统中的由于细胞的增殖很少，故只有很少的氮转化为细胞，大部分可生物降解的氮都转化为消化液中的氨氮，因此消化液中氨氮的浓度都高于进料中氨氮的浓度。实验研究表明，氨氮对厌氧消化过程有较强的毒性或抑制性，氨氮以 $\text{NH}_4^+$ 及 $\text{NH}_3$ 等形式存在于消化液中， $\text{NH}_3$ 对产甲烷菌的活性有比 $\text{NH}_4^+$ 更强的抑制能力。

## (2) 挥发性脂肪酸

挥发性脂肪酸（VFA是消化原料酸性消化的产物，同时也是甲烷菌的生长代谢的基质。一定的挥发性脂肪酸浓度是保证系统正常运行的必要条件，但过高的VFA会抑制甲烷菌的生长，从而破坏消化过程。

## (3) S<sup>2-</sup>的毒害作用

硫酸盐还原菌的作用下 无机SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的还原

H<sub>2</sub>S释放：抑制微生物活性，降低产气量，  
对管道腐蚀性很强

控制COD/ SO<sub>4</sub>， 比值越大影响越小

## (4) 重金属

重金属对甲烷消化的抑制

毒阈浓度：例如：重金属 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$  $10^{-5}$ ~ $10^{-3}$  mol/l

## (3) 其他抑制物质

有许多化学物质能抑制厌氧消化过程中微生物的生命活动，这类物质被称为抑制剂。抑制剂的种类也很多，包括金属离子、有机化合物、氰化物等。

# 对厌氧消化具有抑制作用的物质

抑制物质	浓度/(mg/L)	抑制物质	浓度/(mg/L)
挥发性脂肪酸	>2000	Na	3500~5500
氨氮	1500~3000	Fe	1710
溶解性硫化物	>200	Cr <sup>6+</sup>	3
Ca	2500~4500	Cr <sup>3+</sup>	500
Mg	1000~1500	Cd	150
K	2500~4500		

# 酸碱度、pH值和消化液的缓冲作用

(1) 水解与发酵菌 5-6.5

产氢产乙酸菌 5-6.5

产甲烷菌 6.6-7.5

(2) 缓冲剂

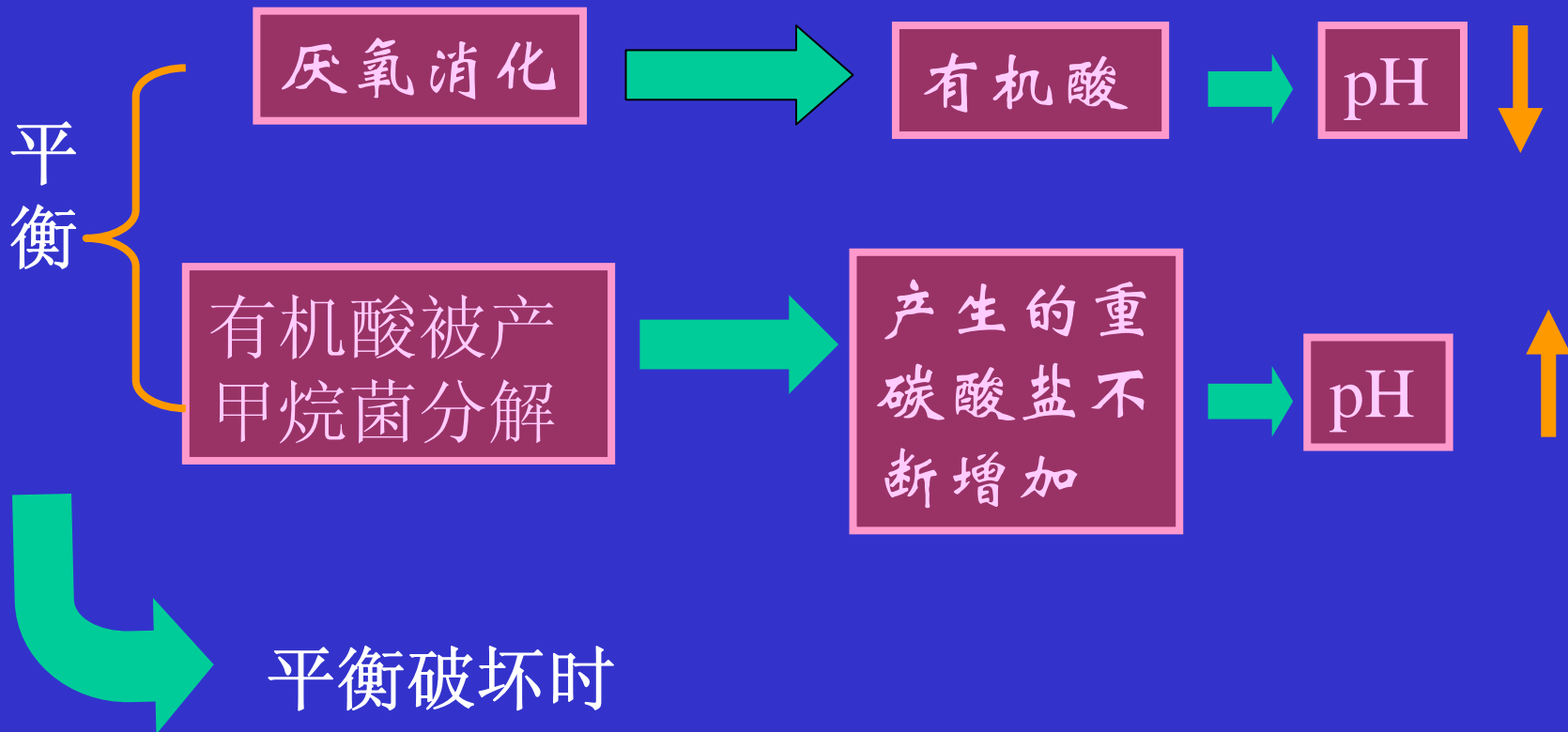
$\text{CO}_2$ 和 $\text{NH}_3$  ( $\text{NH}_3$ 、 $\text{NH}_4^+$ )

$\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$  组成缓冲液

消化系统应保持2000mg/l的碱度，防止pH下降，缓冲能力弱，脂肪酸是甲烷发酵的产物，其一般浓度在1000mg/l以下；

(3) 碱度的调整

投加碱性物质

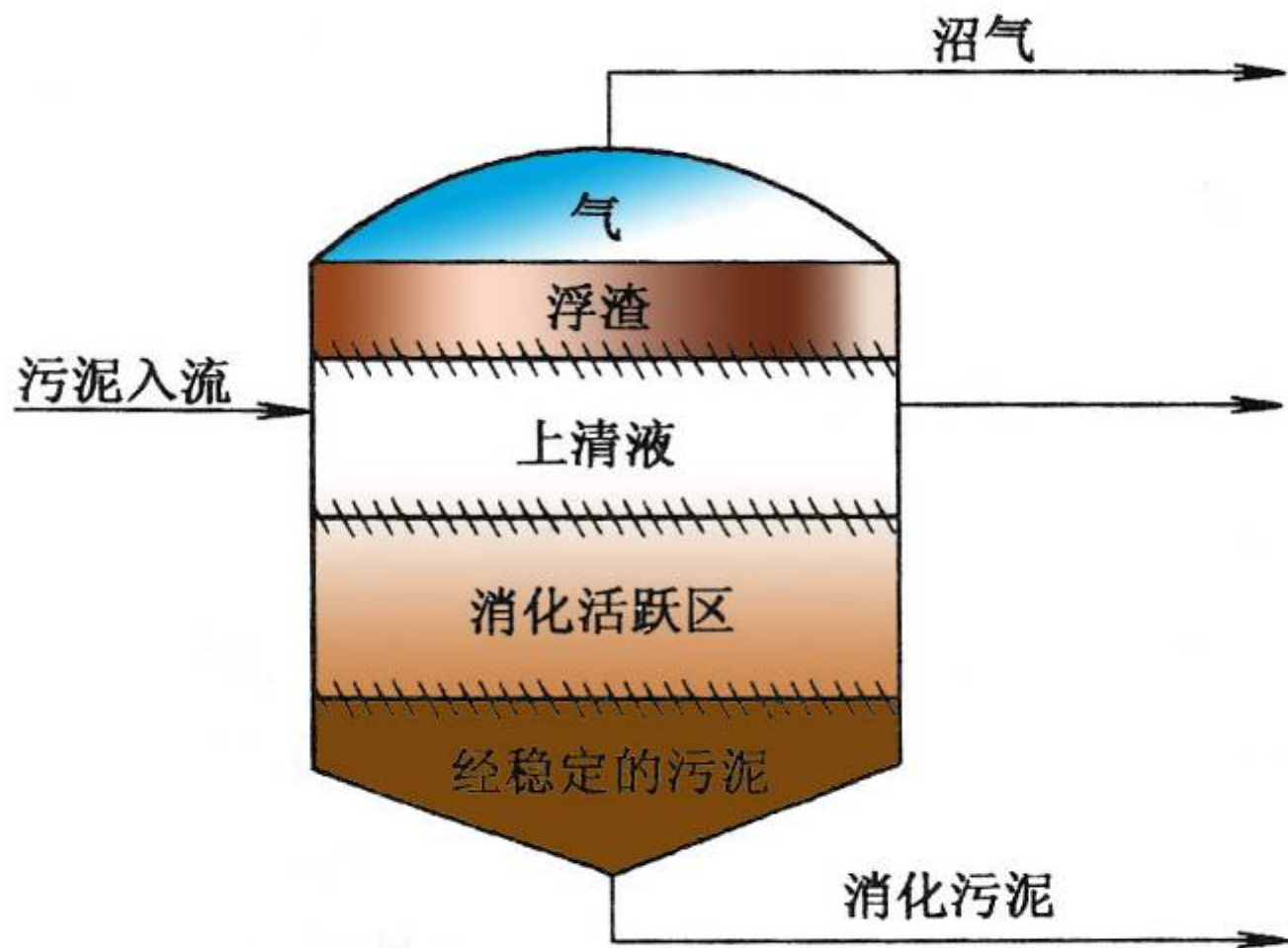


保证消化液碱度含量，增加缓冲体系，  
维持pH值稳定

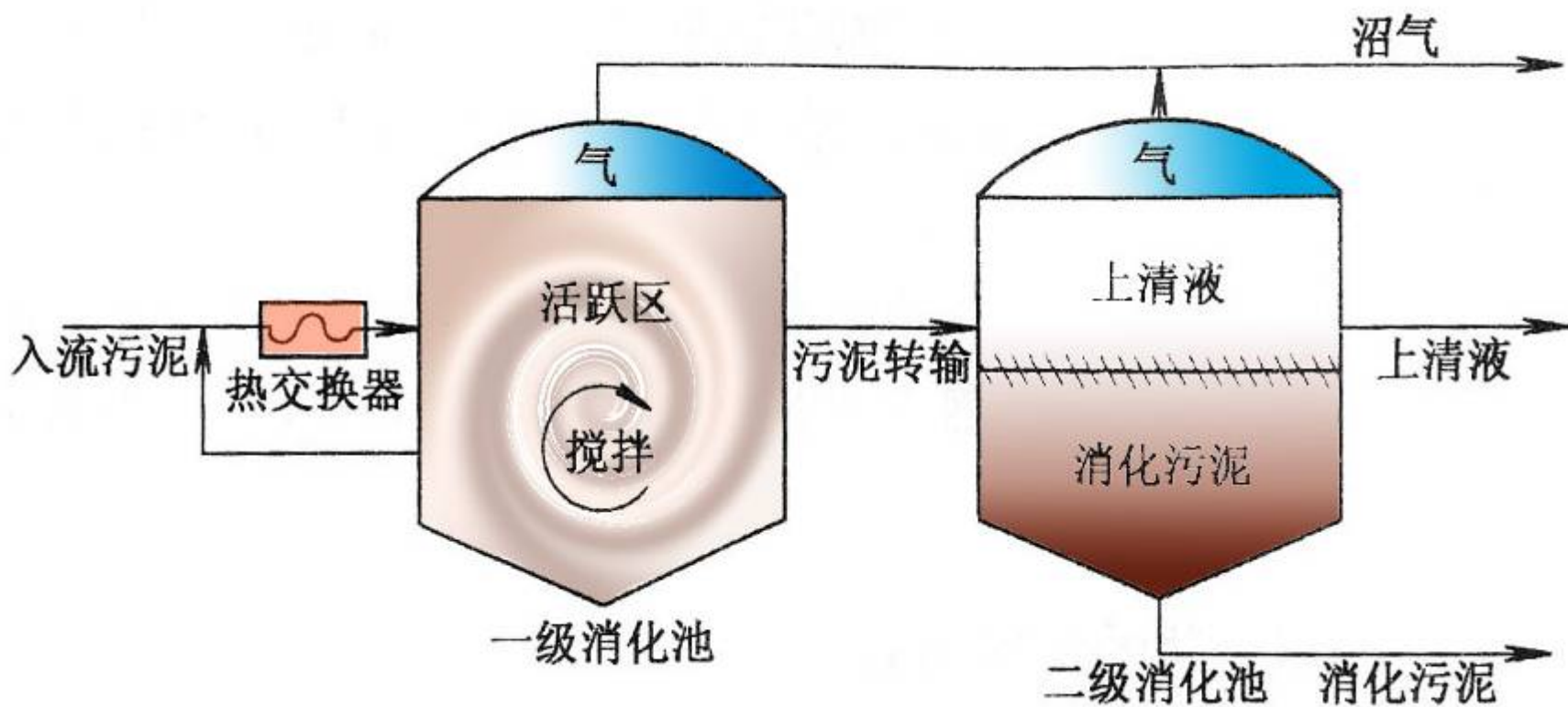


# 两级厌氧与两相厌氧处理

- 两级厌氧生物处理
- 两相厌氧生物处理



低负荷率厌氧消化池

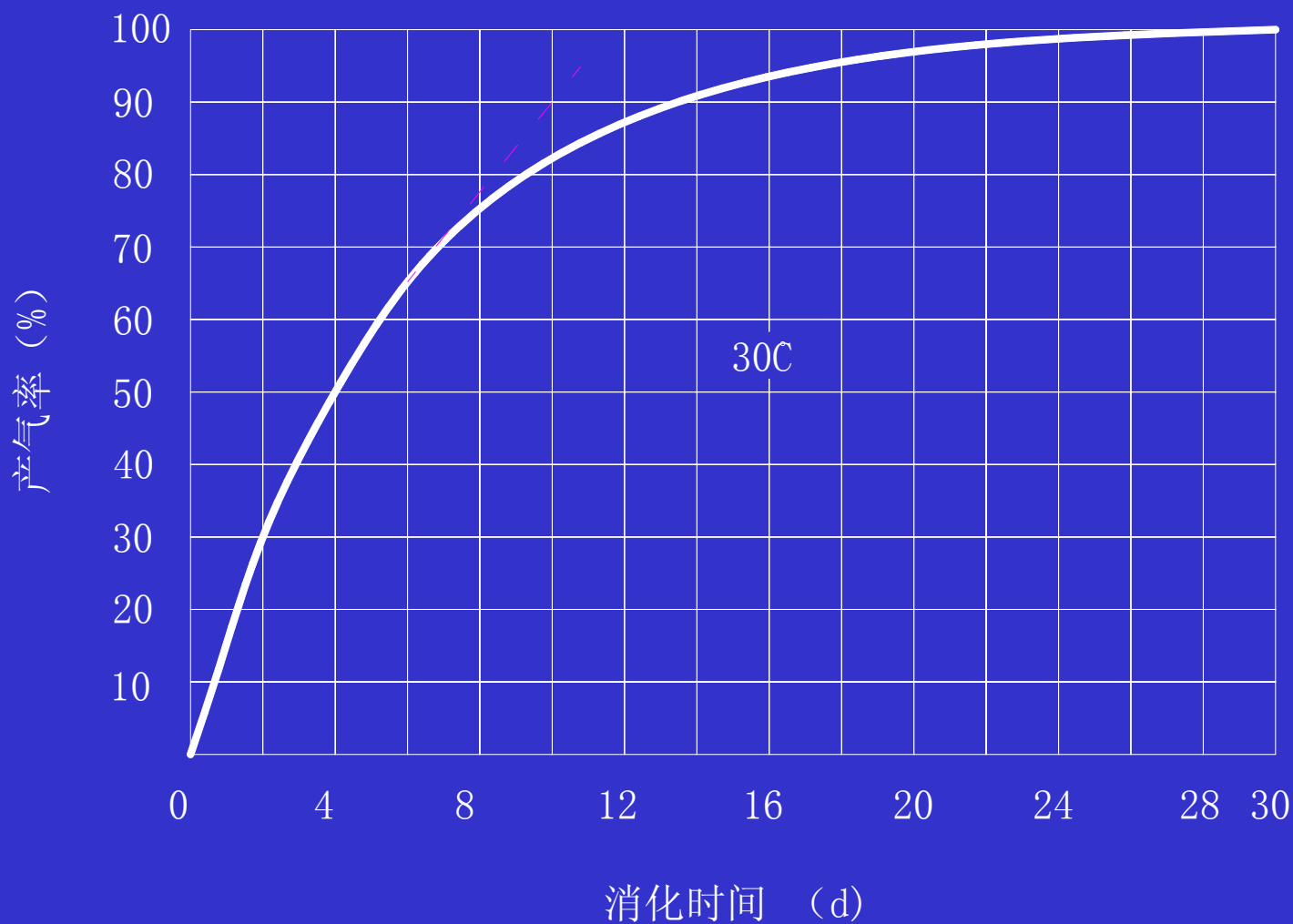


两级高负荷率厌氧消化系统

# 两级厌氧生物处理

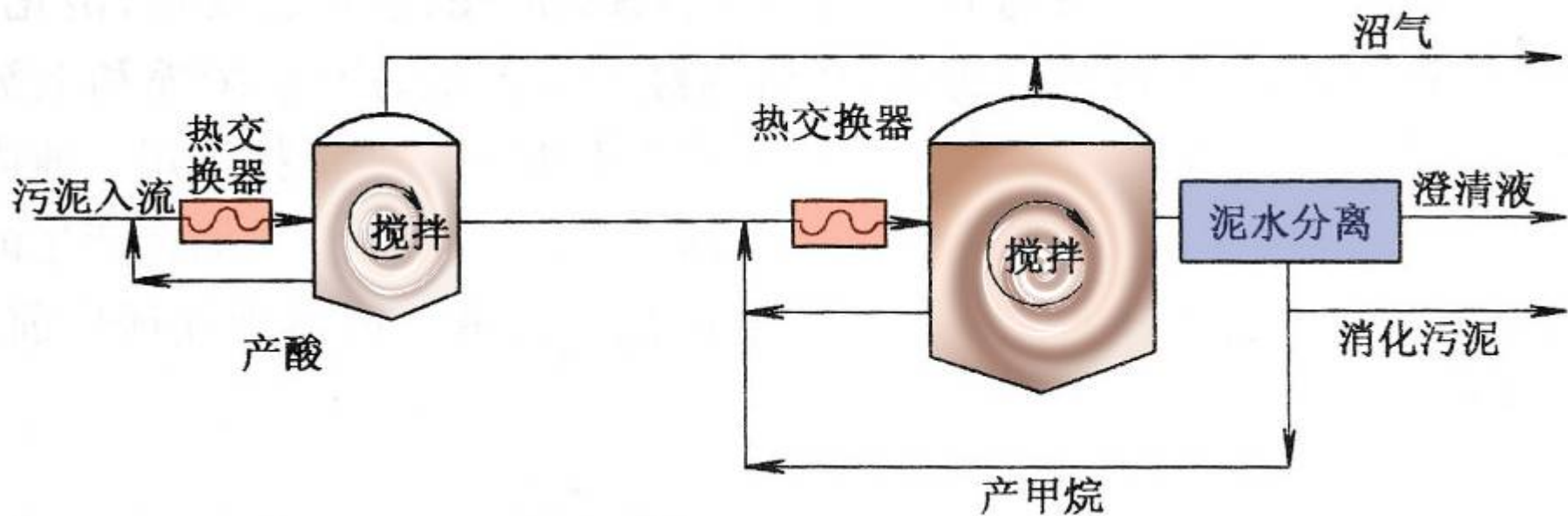
- 两级消化：根据沼气产生的规律设计。
- 目的：节省能量（节省污泥加温与搅拌的部分能量）
- 特点：第一级：加热（ $33\sim 35^{\circ}\text{C}$ ）、搅拌；  
第二级：不加热（ $20\sim 26^{\circ}\text{C}$ ）、不搅拌（可视为污泥浓缩池用）。

# 消化时间与产气率关系曲线



# 两相厌氧生物处理

- 两相厌氧消化：根据消化机理设计。
- 目的：改善厌氧消化条件，从而减少池容与能耗。
- 特点：
  - 第一相： $n=100\%$ ； $t_{\text{停}}=1\text{d}$   
处于水解与发酵、产氢产乙酸阶段（即消化的第一、二阶段）。  
需加热少、需要搅拌。
  - 第二相： $n=(15\sim17)\%$ ；  
处于产甲烷阶段（即消化的第三阶段）需加热、搅拌。
- 优点：
  - (1) 总容积小
  - (2) 加热耗热量少，
  - (3) 运行管理方便



两相厌氧消化系统

# 消化池的构造

## 主要设备

消化池

浮动式顶盖

固定式顶盖

附属设备

加料, 排料

加热

池外加热

池内加热

搅拌

螺旋桨

压缩机

射流器抽吸污泥气

破渣

用自来水或污泥上清液喷淋

集气

将循环污泥或污泥液送到浮渣层

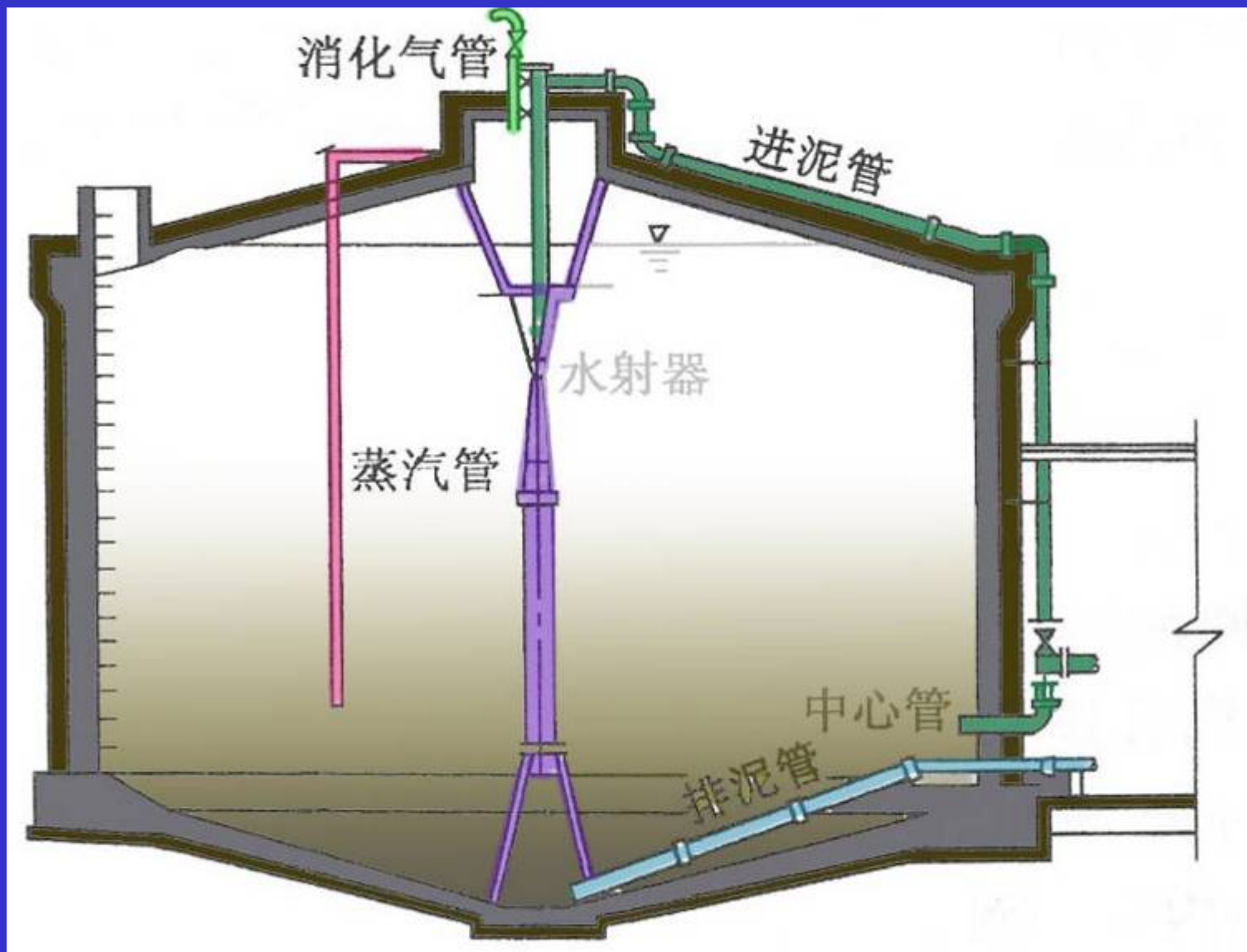
排液

用鼓风机或用射流器抽吸污泥气进行搅拌

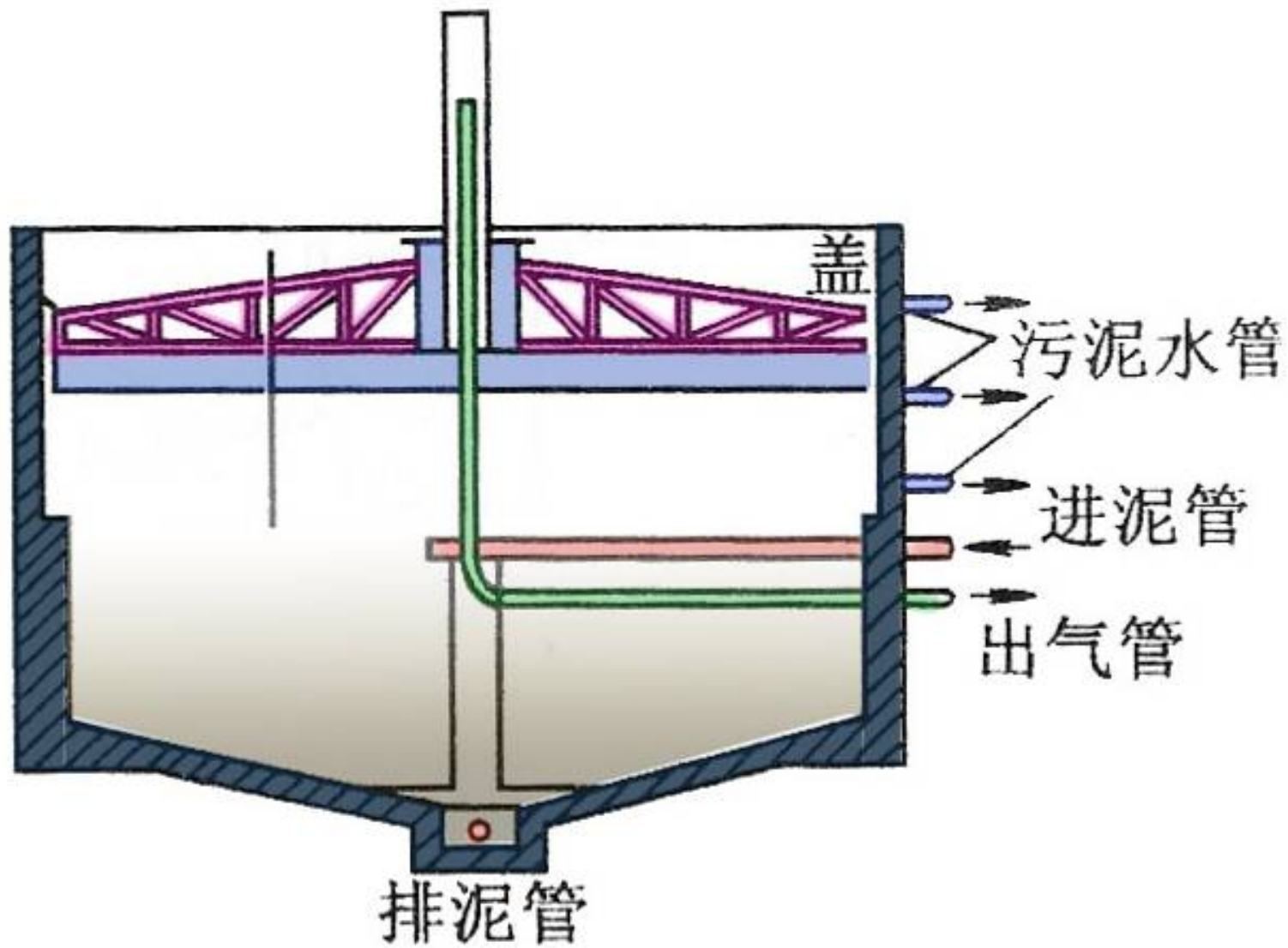
溢流

监测防护装置





消化池构造



浮动式盖消化池



污泥消化池

# 大型厌氧生物处理



# 消化池的设计计算

## 内容

### 池体设计

池体选型

确定池的数目和单池容积

确定池体各部尺寸

布置消化池的各种管道

### 加热保温系统设计

### 搅拌设备设计

消化池有效容积按每天处理污泥量及污泥投配率进行计算：

$$V = \frac{V'}{p} \times 100$$

消化池座数

$$n = \frac{V}{V_0}$$

消化池有效容积按有机负荷( $N_s$ )计算：

$$V = \frac{G_s}{N_s}$$

式中： $V$ ——消化池有效容积， $m^3$ ；

$V'$ ——每天要处理的污泥量， $m^3/d$ ；

$p$ ——污泥投配率，城市污水厂高负荷率消化池，当消化温度为 $30\sim 35^\circ C$ 时， $p$ 可取 $5\%\sim 8\%$ ；

$n$ ——消化池的座数；

$G_s$ ——每日要处理的污泥干固体量， $kg\ VSS/d$ ；

$N_s$ ——单位容积消化池污泥(VSS)负荷率， $0.6\sim 1.5\ kg\ VSS/(m^3/d)$ 。

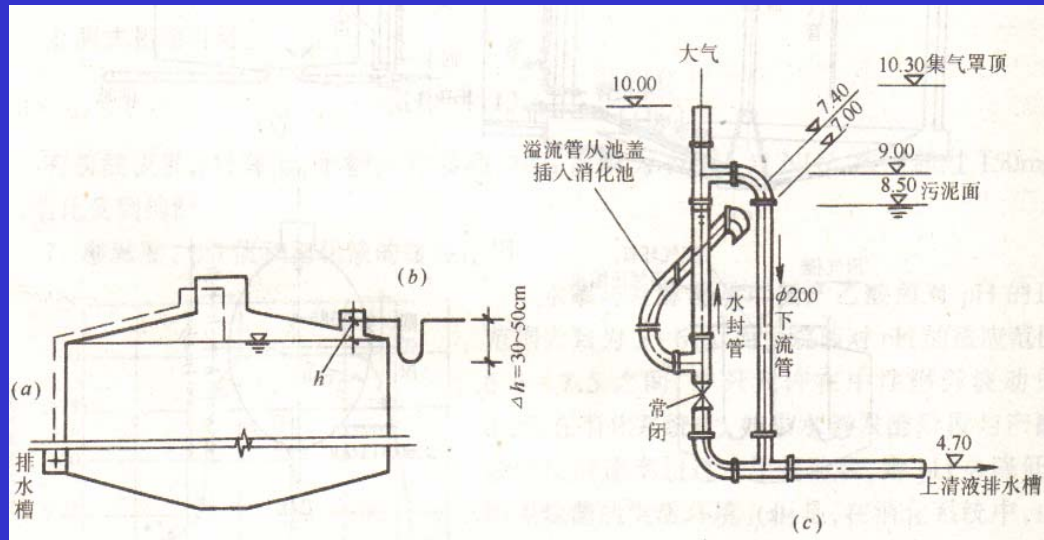
## 计算消化池的构造尺寸：

消化池必须附设各种管道：污泥管、上清液排放管、溢流管、沼气管和取样管。

### 溢流装置（安全装置）

及时溢流——保持沼气压力恒定，

防止投配过量、排泥不及时、气量不平衡等情况发生。



溢流管的设计应避免无浮渣层，以避免堵塞，加泥器应尽量接近池底，以免断流。

排泥，（不用溢流排泥） 泵排泥

## （2）沼气的收集与贮存

柜容：日均产气量的**25%-40%**，产气量——即**6-10h**的平均产气量计算

## （3）搅拌设备

目的：污泥浓度不超过**10%**的差，**5-10h**全池污泥搅拌一次

① 泵加水射器— { 泵压**>0.2Mpa** 0.2-0.3 m以下，污泥面  
泥量（生）**1: 3-5m**，池径大于**10m**，可设  
**>21m**以上的水射器

## ②联合搅拌

生污泥回流与沼气搅拌

## ③沼气搅拌

**5-7m<sup>3</sup>/min.1000m<sup>3</sup>**池容，气流速度**7-15m/s**





沼气搅拌压缩机

## 沼气(消化气)的收集和利用

污泥和高浓度有机废水的厌氧消化均会产生大量沼气。

在设计消化池时必须同时考虑相应的沼气收集、储存和安全等配套设施，以及利用沼气加热入流污泥和池液的设备。

沼气贮柜 → 沼气压缩机 → 沼气脱硫 → 沼气发电



贮气罐

## (4) 加温设备及计算

- 加温方法 { 直接通入热水水蒸气，含水率增加，局部污泥温度高，  
热交换器加热，盘管外壁结壳，  
池外污泥预热，

- ①所需总热量 { 提高生污泥温度  $Q_1$   
池体耗热量  $Q_2$   
管道，热交换等耗热量  $Q_3$

②热交换器的设计

③热水锅炉的选择

锅炉的加热面积为：

$$F=(1.1-1.2)Q_{\max}/E$$

$E$ 为锅炉加热面的发热强度， $\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$



热交换器

# 消化池的运行、管理

## 1、消化污泥的培养与驯化

### (1) 逐步培养法

初沉污泥+浓缩后的活性污泥→投入消化池→加热**30-40d**

### (2) 一次培养法

污泥经过滤后投入

## 2、正常运行的化学指标

(1) 产气量 (**CO<sub>2</sub>30%、CH<sub>4</sub>50%**)

(2) 投配污泥含水率**94-96%**

(3) 有机物含量**60-70%**

(4) 有机物分解程度**45-55%**

(5) 脂肪酸与总碱度**2000mg/l**

(6) **NH<sub>3</sub>—N 500---1000mg/l**

### 3、正常运行控制参数

- (1) 投配率，温度；
- (2) 搅拌:连续或间歇搅拌；
- (3) 进排泥, 池内污泥浓度不低于**30g/l**，投配率不易过高；
- (4) **pH**值和酸碱度.

### 4、消化池异常现象

气量下降，上清液水质恶化

#### (1) 产气量下降

- ①底物不足
- ②排泥量过大
- ③消化池温度低
- ④消化池容积减少
- ⑤有机酸积累，碱度不足

(2) 上清液水质恶化 原因：排泥量不够，固体负荷过大，搅拌过度

(3) 沼气的气泡异常  
三种形式

- 啤酒泡：排泥量大,负荷过高
- 大量气泡喷出：浮渣层过厚
- 不起泡：中止投配污泥。

## 5、维护与管理

保温，防止在空气中，**CH<sub>4</sub>**占空气**5-16%**，避免爆炸。

①高温甲烷菌不能用中温条件下的甲烷菌直接接种,但可驯化  
驯化时，升温速度为**10℃ /h**，最佳达到**53℃**

原因：温度高于**38℃**，中温甲烷菌大量死亡，污泥易变质

②人工加碱控制**PH6.5-7.5**,



# 污泥稳定的其他方法

好氧消化法

氯化氧化法

石灰稳定法

热处理法

## 好氧消化法

既在不投加底物的条件下，对污泥进行较长时间的曝气，使污泥中的微生物处于内源呼吸的阶段，使污泥达到稳定。

### 好氧消化的机理



### 好氧消化的特点

可生物降解有机物的降解程度高；  
上清液的**BOD**浓度低；  
消化污泥量少，稳定，易脱水；  
消化池运行管理简单。

好氧消化能耗高；  
不能回收沼气；  
适合少量污泥稳定处理

氯化氧化法

投加氯气

石灰稳定法

投加石灰  
提高pH值

热处理法

提高温度

杀菌

抑制微生物

改善污泥脱水性能