

《水污染控制工程》



沈耀良

Ph.D/Professor

2010-3-9

苏州科技大学

University of Science and technology of Suzhou(USTS)

1

《水污染控制工程》

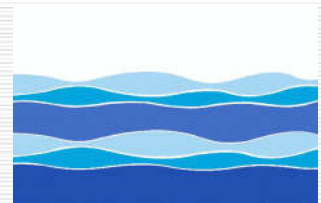
第2篇



物理、化学及物理化学处理工艺原理

□ 主要内容

- [6.1](#) 气浮工艺的基本原理与类型
- [6.2](#) 加压溶气气浮工艺原理
- [6.3](#) 加压溶气气浮工艺系统
- [6.4](#) 加压溶气气浮工艺设计



推荐几本参考书

- 顾夏声、黄铭荣等编著，《水处理工程》，北京：清华大学出版社，1985年（第一版）
- 许保玖等，当代给水与废水处理原理，北京：高等教育出版社，2000（第二版）
- 张自杰主编，排水工程（下册），第四版，北京：中国建筑工业出版社，2000
- 尹士君编著，水处理构筑物设计与计算，北京：化学工业出版社，2004
- C.P.Leslie Grady,Jr.,et al., **Biological Wastewater Treatment**, Marcel Dekker, Inc., New York, 1999
- 张自杰主编，废水处理理论与设计，北京：中国建筑工业出版社，2003
- 崔玉川等编，城市污水回用深度处理设施设计计算，北京：化学工业出版社，2003

6.1 气浮工艺的基本原理与类型

- 6.1.1 基本原理
- 6.1.2 处理对象
- 6.1.3 主要特点
- 6.1.4 工艺类型
- 6.1.5 气浮工艺的比较



6.1.1 基本原理

- 在**一定条件**下，向被处理水中通入空气，**并产生或以微小气泡的形式释放**，使水中细小的SS**粘附**在气泡上并随之上浮至水面而**形成浮渣**，达到固液分离的目的。

6.1.2 处理对象

- 废水中仅依靠自然沉淀或自然上浮难以去除的细小的SS。
 - *石油工业或煤气发生站的含乳化油废水 (0.5~25 μm)
 - *毛纺工业洗毛废水中的羊毛脂及洗涤剂
 - *食品工业废水中的油脂
 - *洗煤车间废水中的细煤粉颗粒 (0.5~1mm)
 - *造纸废水中的纸浆
 - *纤维工业废水中的细小纤维
 - *地表水体中的藻类
 - *废水处理工艺出水中残留的细小的絮体或污泥
 - *污泥气浮浓缩处理

6.1.3 主要特点

与沉淀处理工艺相比，有以下特点：

- *处理负荷高(一般为 $5\sim 10\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ，高达 $12\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$)、基建投资低(停留时间仅需 $20\sim 40\text{min}$)。
- *出水DO高，不发生腐化现象，利于后续生物处理。
- *浮渣稳定、含水率低(一般低于96%)，便于后处理和处置。
- *电耗高：处理一吨水要比普通沉淀法多耗 $0.02\sim 0.04$ 度电，运行费用较高。
- *设备维护和维修工作量大，处理效果浮渣易受风雨影响。

6.1.4 工艺类型

6.1 气浮工艺的基本原理与类型

□ 根据产生气泡方法的不同，分为：

- 电解气浮
- 分散空气气浮
- 溶气气浮
 - ◆ 真空气浮
 - ◆ 加压溶气气浮

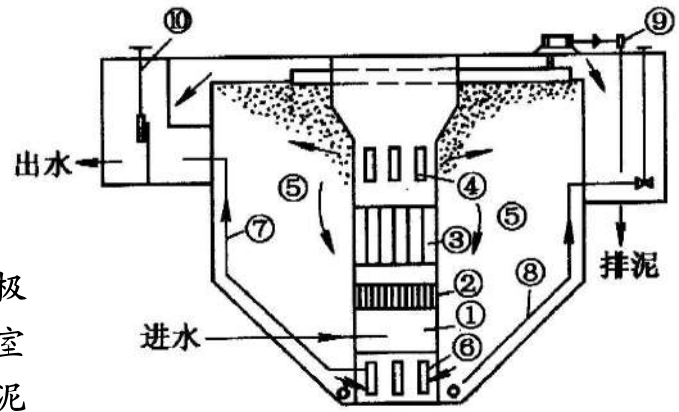


□ 产气方式

- 多组电极电解产生氢、氧微气泡

□ 运行过程

- 1—进水室 2—整流栅 3—电极组 4—出水孔 5—分离室
- 6—集水孔 7—出水管 8—排泥管
- 9—刮渣机 10—水位调节器



竖流式电解气浮工艺

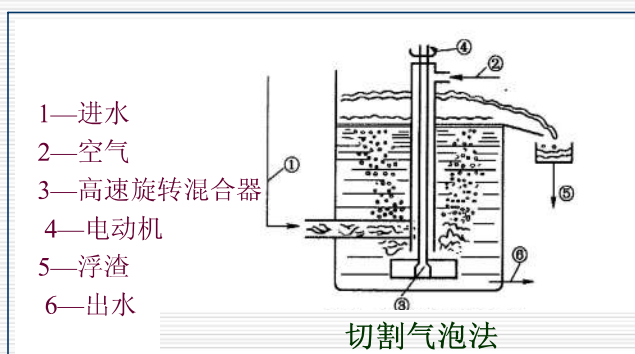
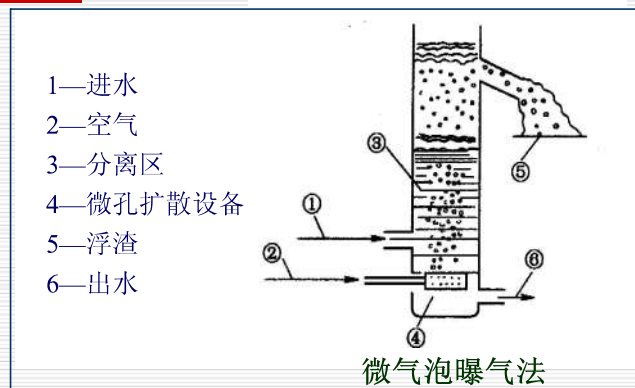
分散空气气浮

6.1 气浮工艺的基本原理与类型

□ 产气方式

- 微气泡气浮法：将压缩空气引入微孔板并将其分散为细小气泡。
- 剪切气泡气浮法：通过高速旋转的混合器将空气吸入并将其切割为细小气泡。

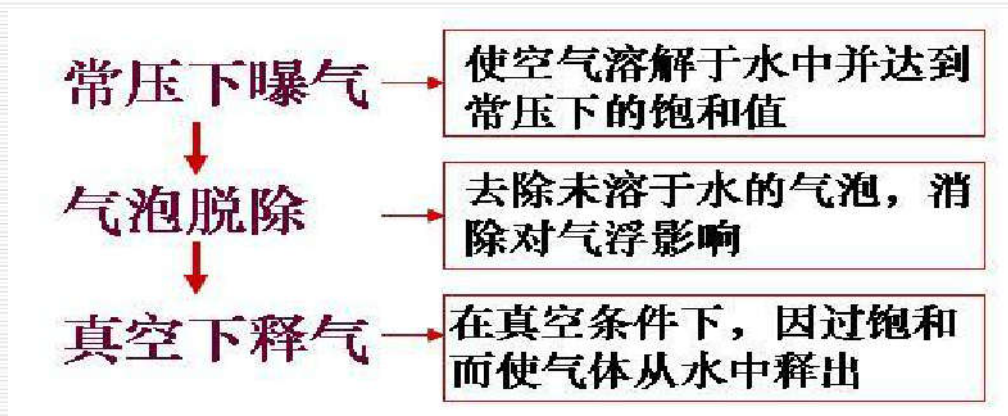
□ 运行过程

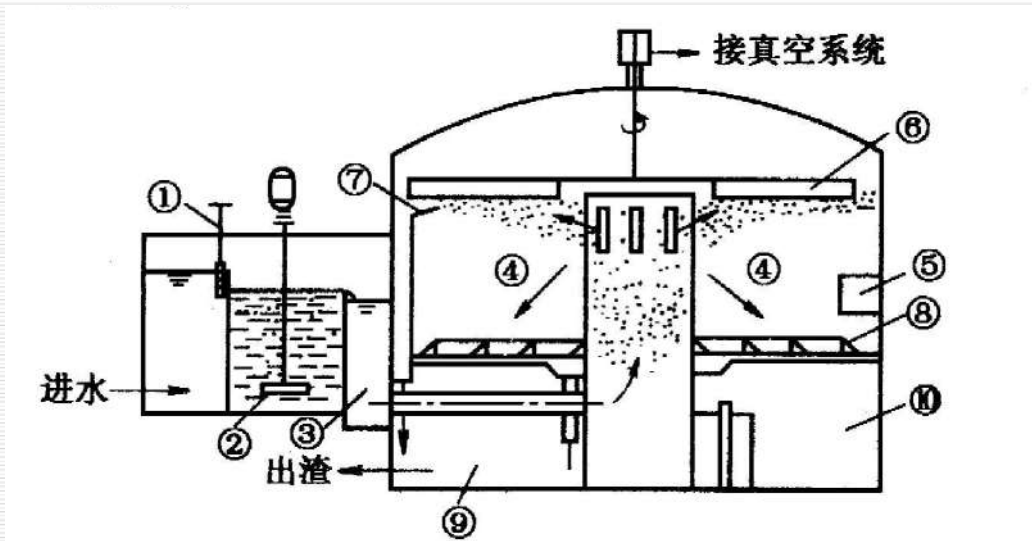


□ 产气方式

- 常压下将空气溶解于水中，在真空条件下释气。

□ 运行过程





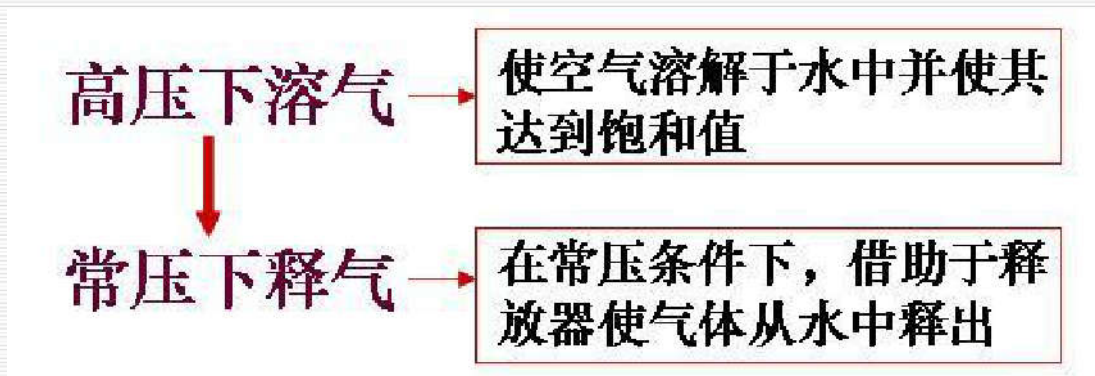
真空气浮系统

- 1—流量调节器 2—曝气器 3—脱气井 4—分离区 5—环形出水槽 6—刮渣板
7—集渣槽 8—池底刮泥板 9—出渣室 10—操作室（包括抽真空设备）

□ 产气方式

- 高压下将空气溶解于水中并使其过饱和，在常压条件下释气。

□ 运行过程



6.1.5 气浮工艺的比较

6.1 气浮工艺的基本原理与类型

名称	加压溶气	真空溶气	分散空气	电解
产气方式	加压溶气、常压释气	常压溶气、真空释气	微孔扩散	电解产气
气泡尺寸	25~100 μm	20~100 μm	0.5~1.0mm	30~60 μm
表面负荷 ($\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$)	5~10	5~10	5~10	2~5
主要应用	给水处理、生活污水、工业废水处理；废水深度处理的预处理及污泥浓缩处理	给水处理、生活污水、工业废水处理；废水深度处理的预处理及污泥浓缩处理	矿物浮选、生活污水和工业废水处理；油脂、羊毛脂等废水的初级处理。表面活性剂的泡沫分离	工业废水处理。含各种金属离子、油脂、乳酪、色度和有机物的废水处理
主要特点	对设备要求相对较低，应用广、处理能力强，效果好，运转费用较高，受环境影响较大	对设备要求较高，处理能力较小，运转费用和设备投资及维护费较高	处理效果较差、溶气效率低	处理能力小、运行费高、维护管理复杂

6.2 加压溶气气浮工艺原理

- [6.2.1](#) 溶气及释放系统
- [6.2.2](#) 悬浮物与气泡粘附的条件
- [6.2.3](#) 气泡与颗粒的粘附形式及共聚作用



□ 加压溶气系统

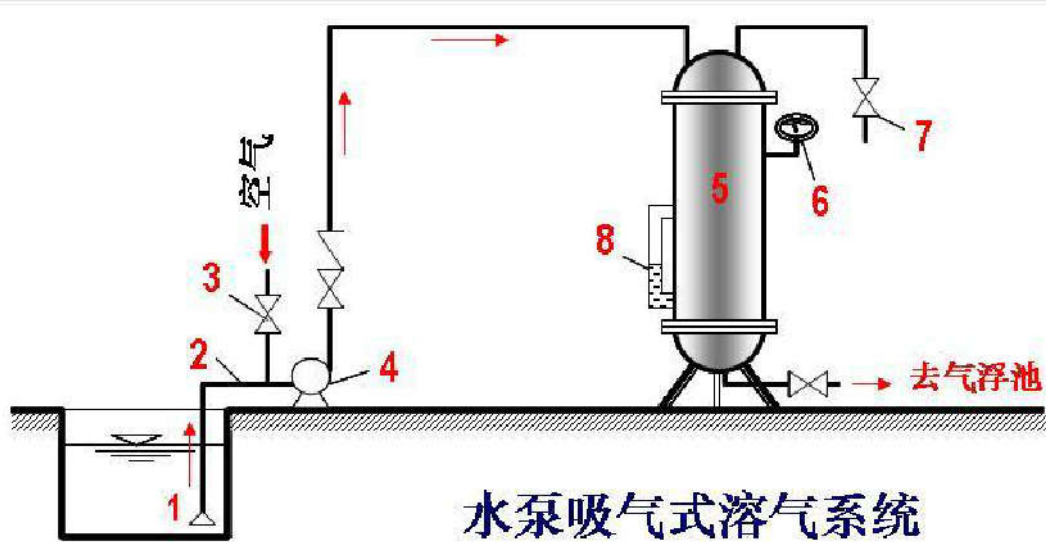
包括供气及溶气设备

■ 供气设备

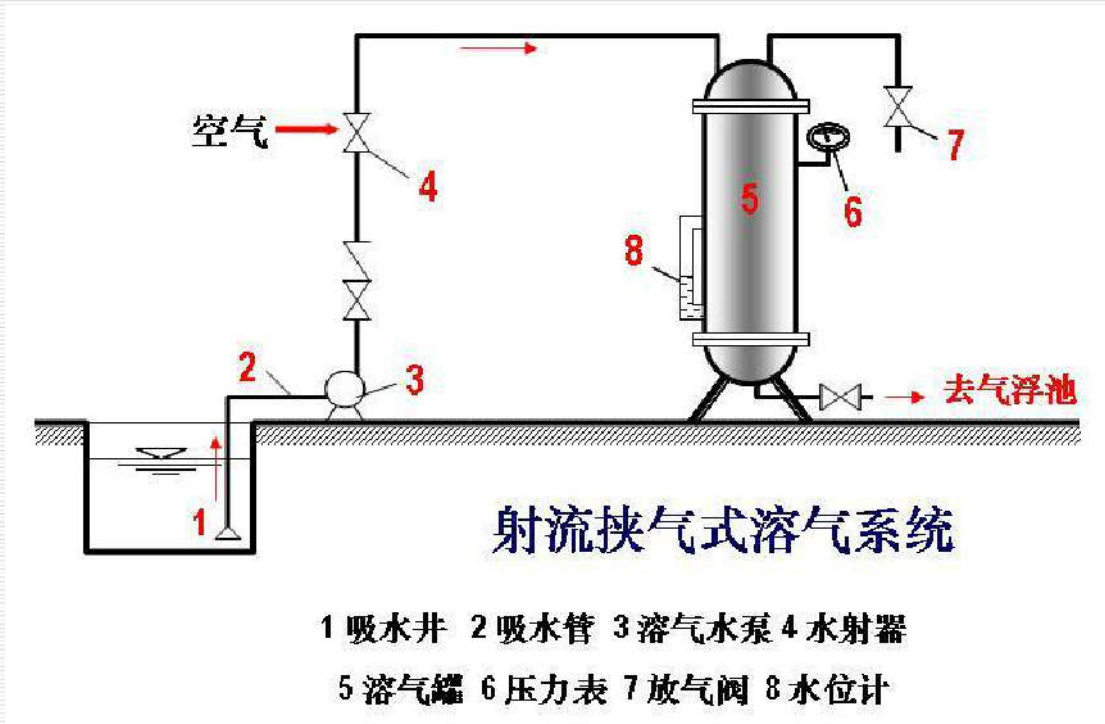
- 在水泵吸水管上吸入空气
- 在水泵压水管上设水射器
- 采用空气压缩机供气

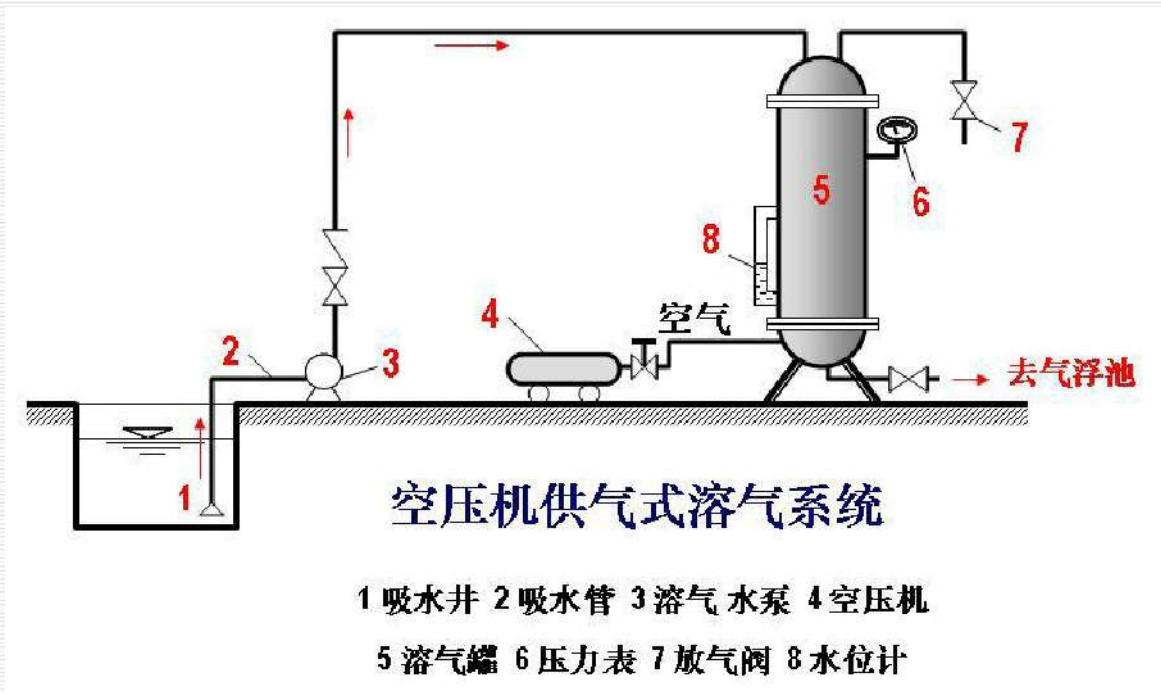
■ 溶气设备

- 溶气罐



1 吸水井 2 吸水管 3 进气调节阀
4 溶气水泵 5 溶气罐 6 压力表 7 放气阀 8 水位计



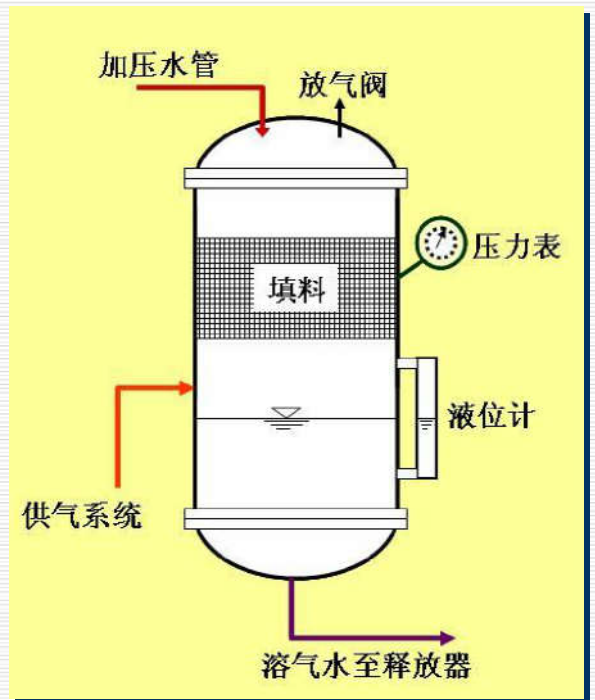


☆ 溶气罐的基本构造

☆ 溶气罐的基本设计参数

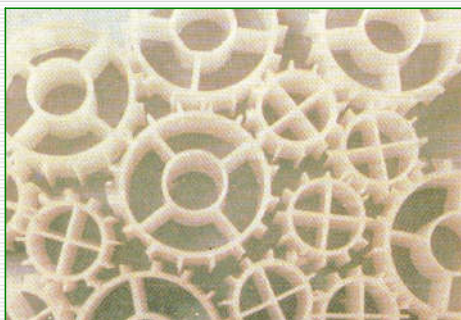
- * 工作压力：3~4kg/cm²（表压）
- * 停留时间：2~4min
- * 溶气效率：50%~80%

溶气罐的基本构造





应用中的溶气罐



溶气罐中常用的填料

□ 释放器的作用

- 将在压力条件下溶于水中并达到过饱和的溶气水，经压力的突然降低而使溶于水中空气以极为微小的气泡向被处理水中释放而为气浮创造必要条件。

□ 溶气水的释气量

- 根据亨利定律，空气在水中溶解度为：

$$V=K_T P (L_{\text{气}}/m^3_{\text{水}})$$

■ 则单位体积溶气水中所能释放的空气量为：

$$\Delta V = K_T \Delta P \quad (L_{\text{气}}/m^3_{\text{溶气水}})$$

式中： K_T —空气的溶解度系数（与温度有关）；

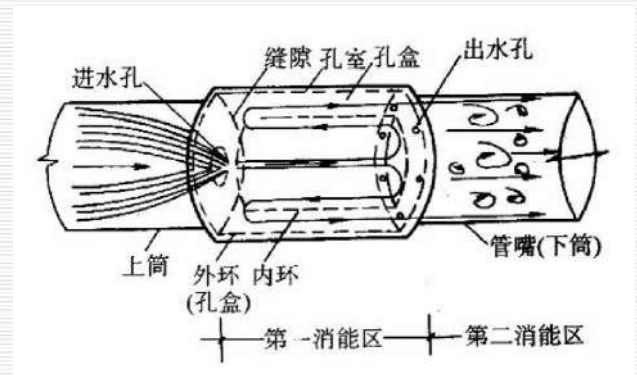
P —绝对压力（mmHg）

例：把温度为20℃、表压为4kg/cm²的1m³溶气水突然减压至常压。问其能释放出多少空气？

$$\begin{aligned} \Delta V &= K_T \Delta P \quad (L_{\text{气}}/m^3_{\text{溶气水}}) \\ &= 0.024 \times (5-1) \times 735.6 = 70.6 \quad (L/m^3) \end{aligned}$$

□ 释放器的基本构造及类型

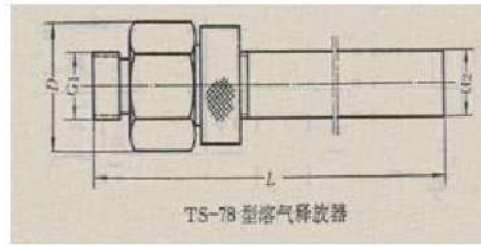
- 英国WRC的喷嘴、针形阀
- 同济大学研制的TJ、TS、TV型释放器
- 常用的普通截止阀等



TS型溶气释放器工作原理



TJ型释放器



TS-78型溶气释放器

TS-78型释放器



TV型释放器

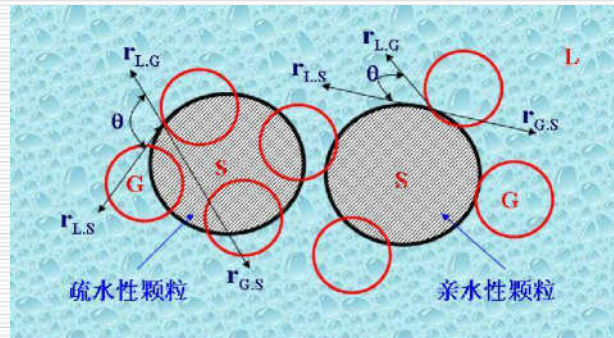
常用溶气释放器的主要特性

名称	基本构造	主要特性
TS型	孔口-多孔室-小平行圆盘缝隙-管嘴	<p>(1) 溶气释放率高(99%以上), 微气泡密集尺寸小(20~40μm), 工作压力低(0.2MPa)。</p> <p>(2) 易堵塞, 流量小, 单个服务范围小(作用直径25~70cm)</p>
TJ型	孔口-单孔室-大平行圆盘缝隙-舌簧-管嘴	<p>(1) 溶气释放率高(99%以上), 微气泡密集尺寸小(20~40μm), 工作压力低(0.2MPa)。</p> <p>(2) 易清洗(水射器), 单个服务范围大(作用直径50~110cm)</p>
TV型	孔口-单孔室-上下大平行圆盘缝隙	<p>(1) 溶气释放率高(99%以上), 微气泡密集尺寸小(20~40μm), 工作压力低(0.2MPa)。</p> <p>(2) 易清洗(压缩空气), 单个服务范围大(作用直径40~80cm)</p>

6.2.2 悬浮物与气泡粘附的条件

□ 几个基本概念

- 表面张力 (r)
- 表面能 (W)
- 界面张力 (Δr)
- 界面能 (ΔW)



不同悬浮颗粒与水的润湿情况

□ 接触角 (θ)

- 悬浮颗粒与气泡接触时所形成的与水的夹角。
- 反映水中SS颗粒被水润湿程度，即亲水性程度的指标。
- $\theta < 90^\circ$ 为亲水性物质，难以与气泡粘附； $\theta > 90^\circ$ 为疏水亲物质，易于与气泡粘附。

6.2.2 悬浮物与气泡粘附的条件

□ 改进气泡与颗粒粘附的措施

■ 投加混凝剂

——削弱废水中SS颗粒的亲水性，提供尺寸较小的絮体以截留吸附气泡

■ 投加浮选剂

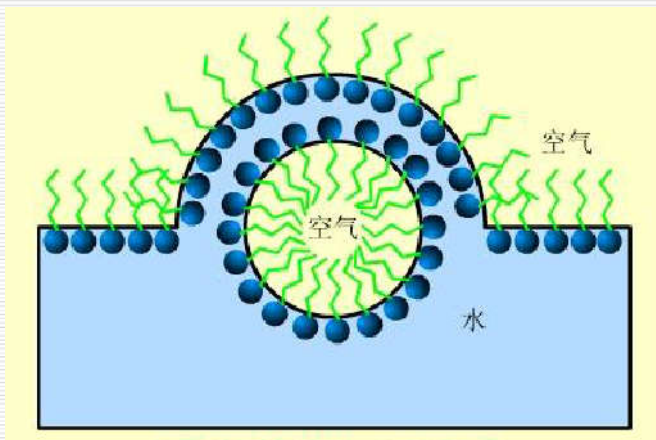
——一种极性-非极性物质；改变SS颗粒的表面特性，亲水性→疏水性；种类有：松香油、石油及煤油产品、含碳酸根的盐、表面活性剂（苯磺酸盐、脂肪酸盐等）

■ 助凝剂

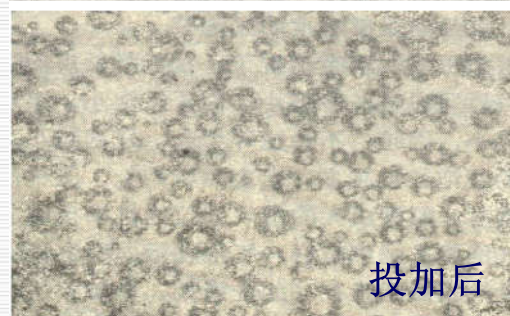
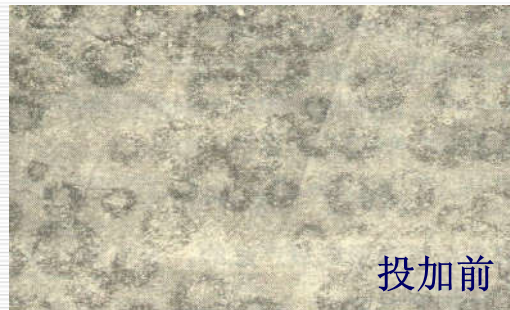
■ 抑制剂（石灰、硫化钠等）

■ 调节剂（酸、碱）

6.2.2 悬浮物与气泡粘附的条件



表面活性剂的发泡作用



投加浮选剂前后气泡大小的比较



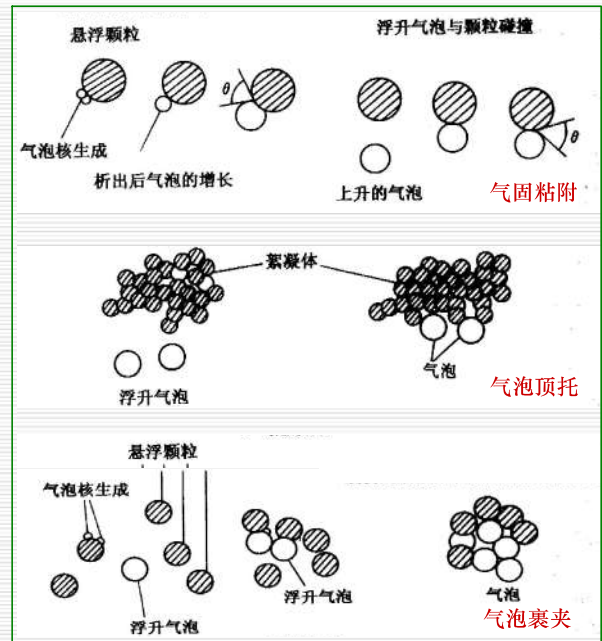
6.2.3 气泡与颗粒的粘附形式及其共聚作用

■ 粘附形式及其分析

——气固粘附

——气泡顶托

——气泡裹夹



微气泡与悬浮颗粒的三种粘附方式

6.2.3 气泡与颗粒的粘附形式及共聚作用

■ 共聚作用

☆**何为共聚作用**——向水中投加混凝剂，使微气泡与刚刚形成的微细絮体粘附，并在上浮过程中相互聚合成长而形成气泡裹夹的过程。

☆**实现共聚作用的条件**——只需将混凝剂与废水快速混合形成细小絮体即可，无需长的反应时间（一般在5~10min之内）。

☆**共聚作用的特点**——气泡在上升过程中不易受外界的影响，复合体上升过程稳定；浮渣在水面不易受外界干扰而破碎下沉，利于保证处理效果；可减小反应设备的容积，节省投资。



6.3 加压溶气气浮工艺系统

- 6.3.1 工艺组成
- 6.3.2 工艺类型
- 6.3.3 气浮池的构造与类型



6.3.1 工艺组成

6.3 加压溶气气浮工艺系统

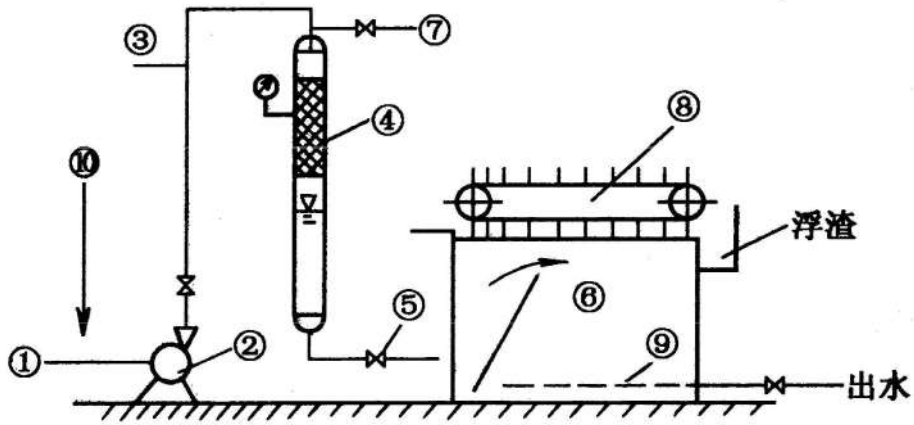
- 溶气设备
 - 加压水泵
 - 溶气罐
 - 空气供设备
- 释放器及混合设备
- 固液分离设备（气浮池）



6.3.2 工艺类型

6.3 加压溶气气浮工艺系统

□ 全溶气工艺

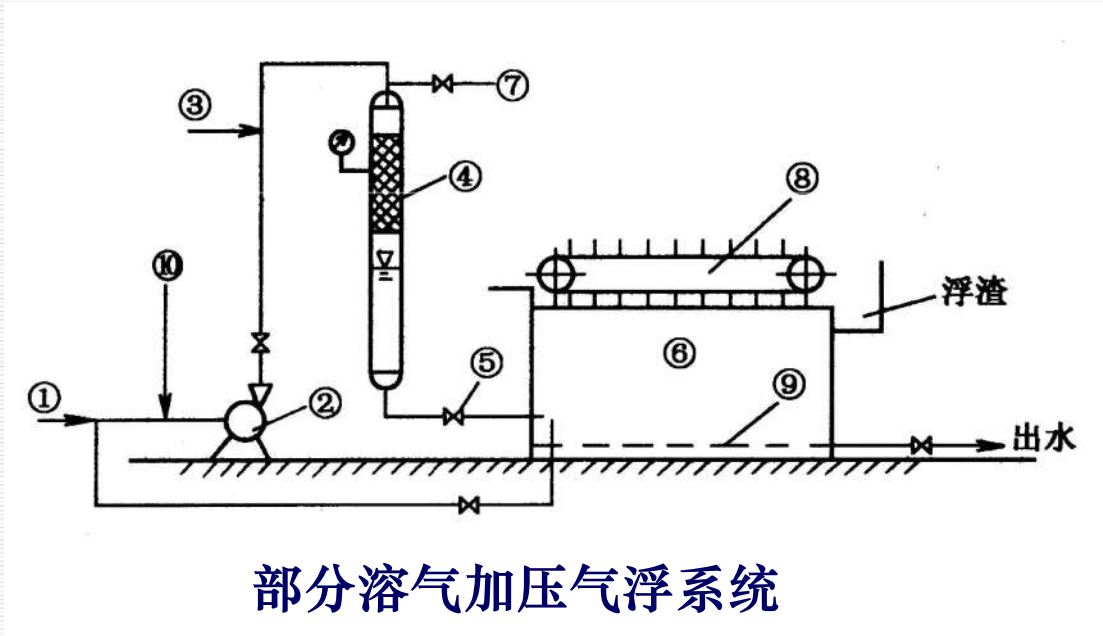


全溶气加压气浮系统

6.3.2 工艺类型

6.3 加压溶气气浮工艺系统

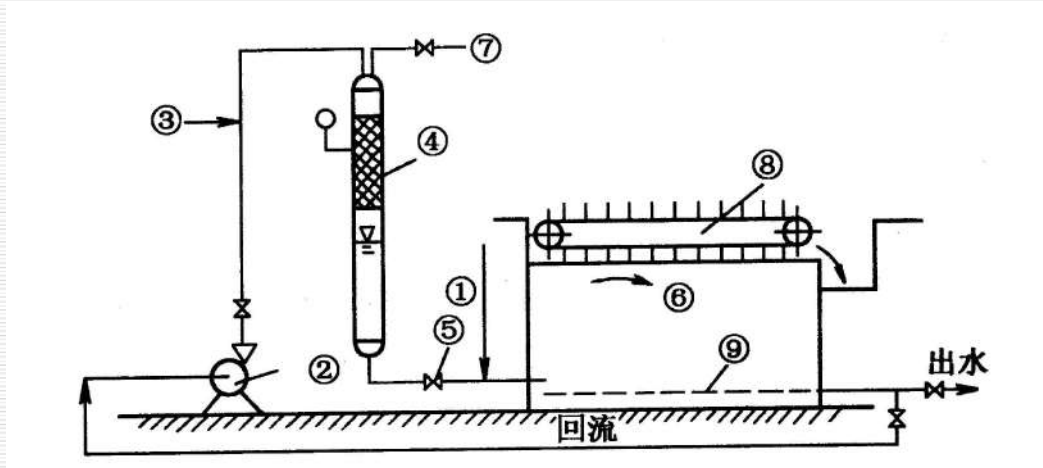
□ 部分溶气工艺



6.3.2 工艺类型

6.3 加压溶气气浮工艺系统

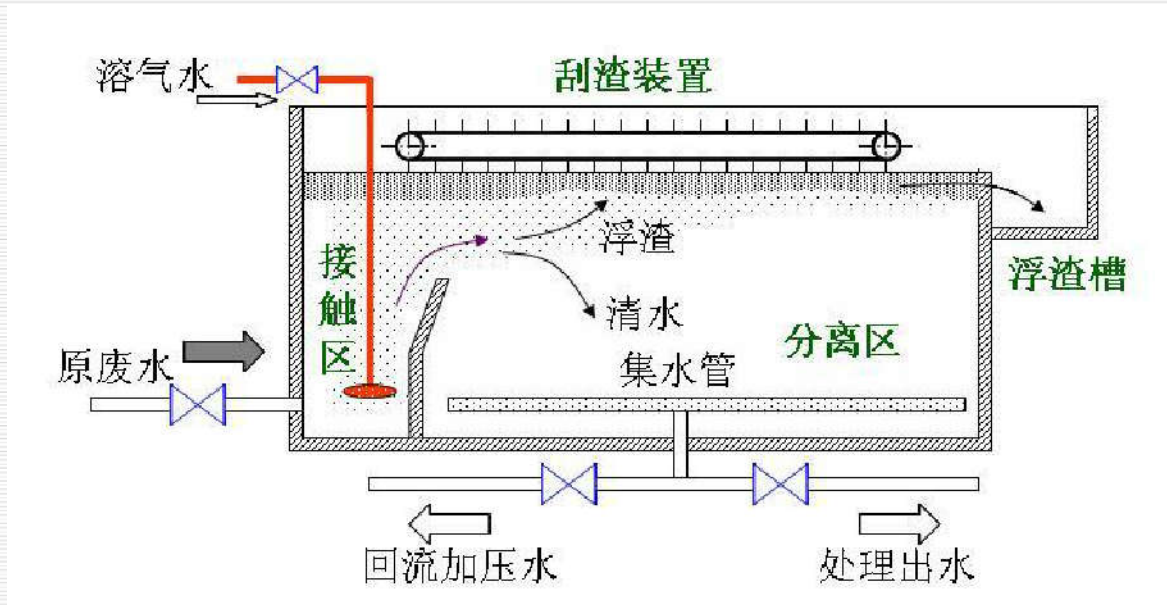
□ 回流加压溶气工艺



回流加压气浮系统

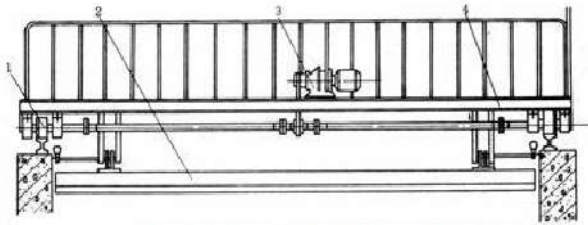
6.3.3 气浮池的构造与类型

□ 气浮池的基本构造



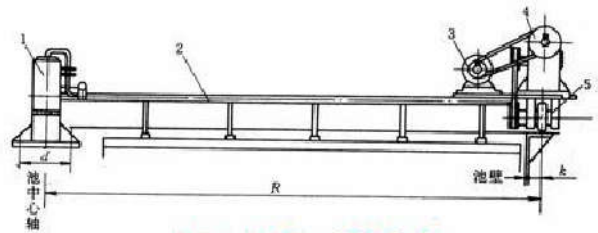
6.3.3 气浮池的构造与类型

气浮池的刮渣装置



气浮池桥式刮渣机

1—行走部分 2—刮板 3—驱动机构 4—桁架
(适用于矩形气浮池)

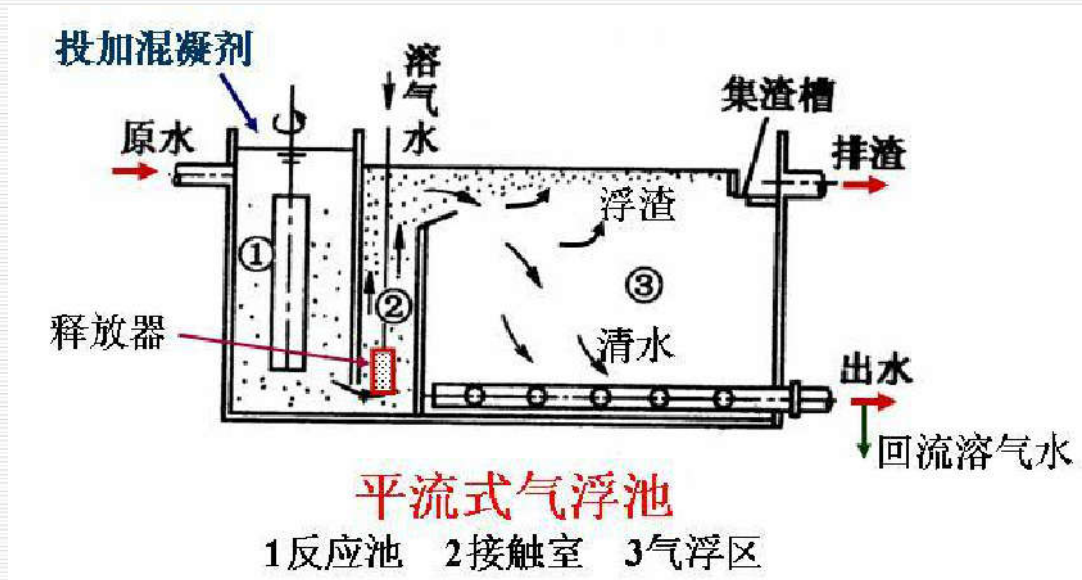


行星式刮渣机

1—中心管柱 2—行星臂 3—电机
4—传动部分 5—行走轮
(适用于圆形气浮池)

6.3.3 气浮池的构造与类型

□ 气浮池的基本类型



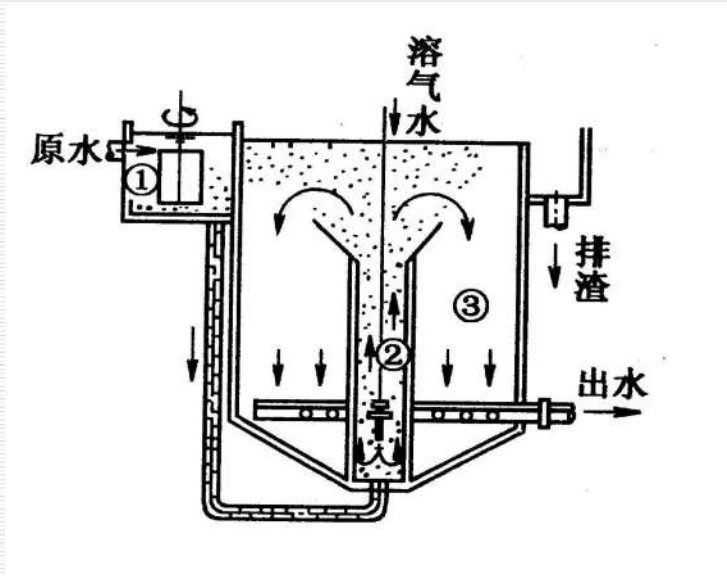
6.3.3 气浮池的构造与类型

□ 气浮池的基本类型



6.3.3 气浮池的构造与类型

□ 气浮池的基本类型



竖流式气浮池

1反应池 2接触室 3气浮区

6.3.3 气浮池的构造与类型

□ 高效浅层气浮池

Dissolved Air Flootation Corporation
 P.O. Box 467, Kalamazoo, MI 49001-0467
 Phone: (269) 796-6072
 Fax: (269) 796-6074
 E-mail: info@dafcorp.com
 Internet: www.dafcorp.com

Specializing in cost-effective shallow depth separation equipment, DAF Corporation provides innovative solutions to unique wastewater treatment problems. Excellence in design, engineering and construction.

Introducing the DAF Corp.® Maximum Clarifier

- Successfully operates in a diverse range of industries
- Significantly smaller than conventional rectangular units
- Most of the air compressor capacity fully recoverable
- Minimal operator supervision
- Factory installed, fitted and construction minimizes installation costs.
- All products are manufactured to higher quality standards.
 - 32' Dia. Available: 4 - 70' Diameter
 - Capacity: 20 GPM - 11,200 GPM
 - Hydraulic Loading: 3 - 11 Gallons Per Sq. Ft.

Advanced DAF Technology... Performance and Customer Support Guarantees

Clear clarifier units are available in an increasingly diverse range of developing the most cost-effective, efficient treatment systems.

DAF Corp. shallow clarifiers allow you to provide floating and/or of your water treatment system, available for demonstrating the capability and to providing maintenance costs.





AMF-1300 AMF-300

The high efficiency AMF Air Mixing System is an essential component to a dissolved air flotation system. It is designed over 100% reliable air distribution and greater dissolved air volume than conventional air dissolving systems. This advanced equipment will reduce electrical consumption and energy costs while increasing the effectiveness of dissolved air flotation. Ideal for existing and upgrading existing rectangular and round clarifiers, these air dissolving systems are well as pre-packaged models.

eleven models with capacities from 20 GPM to 1000 GPM. All models can be piped in series for unlimited capacity.

Filter models are available for setting at customer's location.

Rectangular DAF clarifiers manufactured in various sizes, structure or carbon steel construction, with or without removable lamella plate packs, mobile or permanent installation. Models available with capacities from 20 - 1000 GPM.



高效浅层气浮池 (DAF)

6.3.3 气浮池的构造与类型

平流式气浮池和竖流式气浮池的比较

类型	优点	缺点
平流式	池深较浅，构造简单、 造价低、运行管理方便	分离室容积利 用率不高
竖流式	水力条件较好、 池深较大、构造 较复杂	整体容积利用率 不高、与反应池 衔接较困难



6.4 加压溶气气浮工艺设计

- [6.4.1](#) 溶气罐的设计
- [6.4.2](#) 释放器的选择
- [6.4.3](#) 气浮池的工艺设计

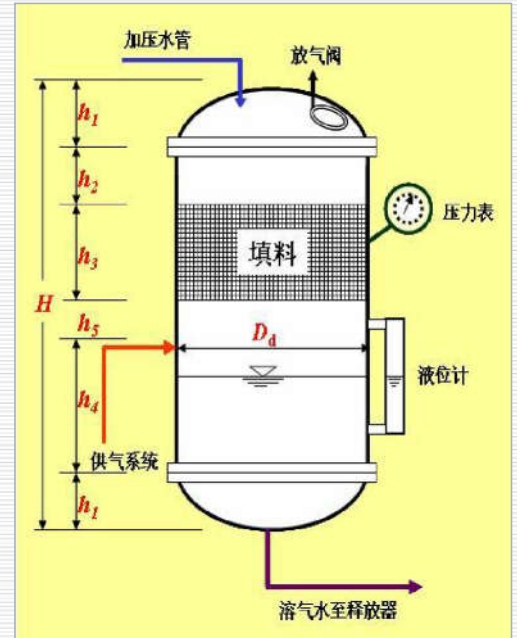


6.4.1 溶气罐的设计

6.4 加压溶气气浮工艺设计

□ 主要设计参数

- 工作压力 (P_0): 3~4kg/cm² (表压)
- 停留时间 (t): 2~5min
- 溶气效率 (f): 50%~80%
- 填料层高度:0.8~1.3m
- 过流密度 (I):1000~5000m³/m².d
- 液位高度:0.6~1.0m(自罐底计)
- 加压溶气水回流比 ($R=Q_R/Q_S$): 25~50%



6.4.1 溶气罐的设计

6.4 加压溶气气浮工艺设计

□ 气固比 ($a_s = A/S$)

- 决定所需释放气体量和回流加压水量的重要参数!
- 单位时间内的释气量(A , kg)与单位时间内进入气浮池的SS量(S , kg)之比。

$$a_s = A/S$$
$$= A/S = \frac{1.3c_a(fP_0 - 14.7f - 14.7)Q_R}{14.7Q_S[SS]}$$

式中: a_s —气固比 (g释放的气体/g悬浮固体)。一般为0.005~0.06, 原水[SS]浓度较低时选用下限0.005~0.006, [SS]较高时选用上限0.03~0.06;
1.3—1mL空气的重量, mg; c_a —某一温度下空气的溶解度; f —压力为 P 时的溶气效率; P_0 —表压 (KPa);
 Q_R —加压回流量 (m³/h); Q_S —处理水量 (m³/h); [SS]—废水中的悬浮固体浓度 (mg/L)。

6.4.1 溶气罐的设计

6.4 加压溶气气浮工艺设计

□ 回流加压水量 Q_R (溶气水量)

$$Q_R = \frac{a_s (14.7 Q_s [\text{SS}])}{1.3 c_a (f P_0 - 14.7 f - 14.7)}$$

□ 溶气罐的直径 (D_d)

$$D_d = \sqrt{\frac{4 \times Q_R}{\pi l}}$$

式中： l —溶气罐的过流密度。对于空罐，一般为1000~2000 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。对于填料罐，一般2500~5000 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$

6.4.1 溶气罐的设计

6.4 加压溶气气浮工艺设计

□ 溶气罐的高度 (H)

$$H = 2h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$$

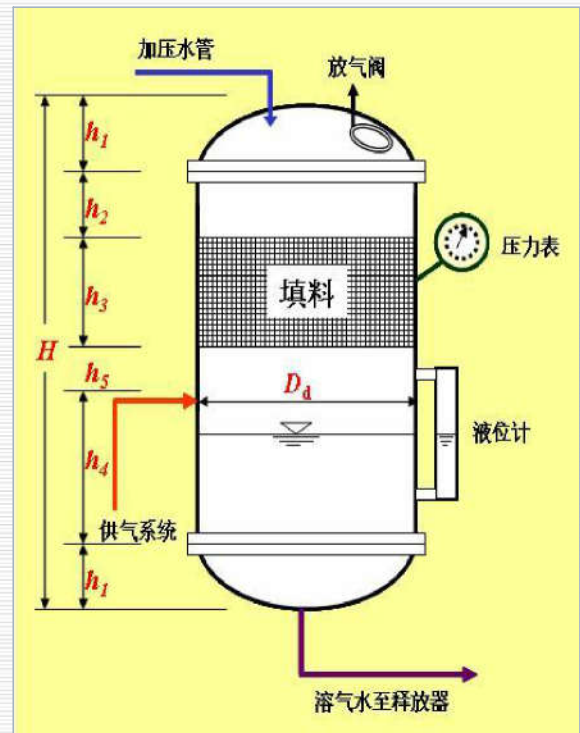
式中： h_1 —罐顶、底封头高度（据直径而定），m；

h_2 —布水区高度，一般为 0.2~0.3m；

h_3 —液位高度，一般为0.6~1.0m；

h_4 —填料层高度，一般为 0.8 ~ 1.3m；

h_5 —保护高度，一般为 0.2~0.5m；



6.4.2 释放器的选择

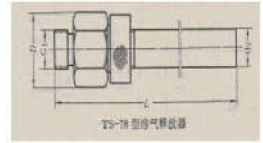
6.4 加压溶气气浮工艺设计

常用溶气释放器的主要特性

名称	基本构造	主要特性
TS型	孔口-多孔室-小平行圆盘缝隙-管嘴	(1) 溶气释放率高(99%以上), 微气泡密集尺寸小(20~40 μ m), 工作压力低(0.2MPa)。 (2) 易堵塞, 流量小, 单个服务范围小(作用直径25~70cm)
TJ型	孔口-单孔室-大平行圆盘缝隙-舌簧-管嘴	(1) 溶气释放率高(99%以上), 微气泡密集尺寸小(20~40 μ m), 工作压力低(0.2MPa)。 (2) 易清洗(水射器), 单个服务范围大(作用直径50~110cm)
TV型	孔口-单孔室-上下大平行圆盘缝隙	(1) 溶气释放率高(99%以上), 微气泡密集尺寸小(20~40 μ m), 工作压力低(0.2MPa)。 (2) 易清洗(压缩空气), 单个服务范围大(作用直径40~80cm)



TJ型释放器



TS-78型释放器



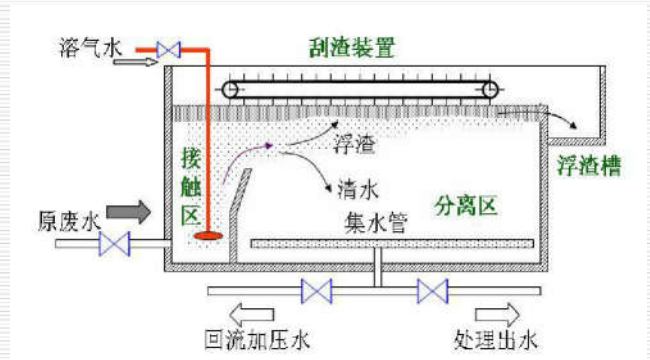
TV型释放器



□ 接触区的设计

■ 工艺设计参数

- ★上升流速 (v_c):
 - 隔板下端 (直壁部分) 5~10mm/s,
 - 隔板上端 (斜板部分) 20mm/s
- ★停留时间 (t_c): 2~4min
- ★隔板直壁部分高度一般为300~500mm;
- ★隔板上端倾角一般为60°, 其顶离水面距离一般不小于300mm。



■ 接触室的表面积 (A_c)

$$A_c = (Q_s + Q_R) / v_c$$

□ 分离室的设计

■ 工艺设计参数

★水流速度 (v_s): 1~3mm/s (SS较高时, 取低限)

★表面负荷率 (q_s): 5~10m³/m².h

★停留时间 (t_s): 20~30min (以10~20min校核)

★有效水深 (H): 一般为1.5~2.5m

■ 分离室的表面积 (A_s)

$$A_s = (Q_s + Q_R) / v_s$$

□ 气浮池的有效容积 (V)

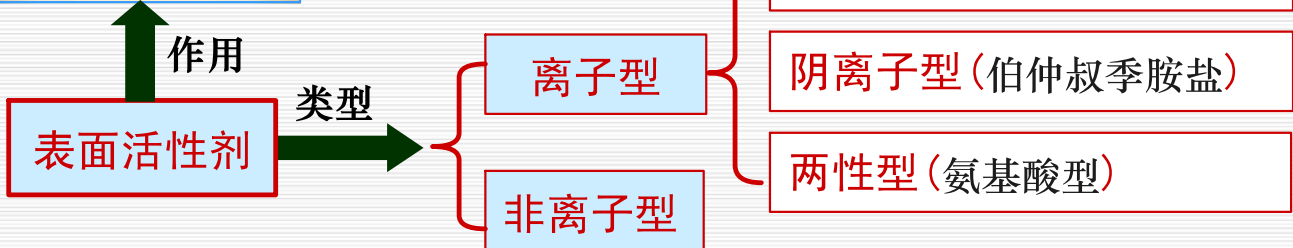
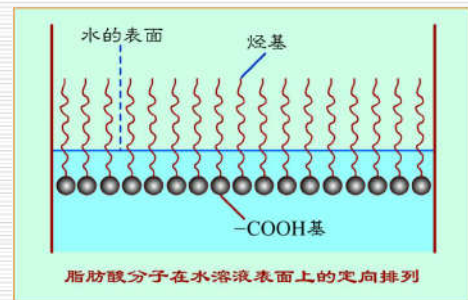
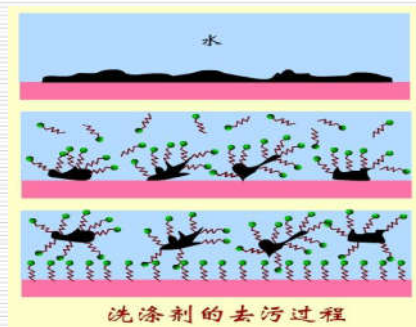
$$V = (A_c + A_s) H$$

□ 气浮池的平面布置

- 平流式气浮池：长宽比 (L/B) 一般为 1:1~2:1，用于污泥浓缩处理可达 1:3~1:5；宽深比 (B/H) 不小于 0.3。
- 竖流式气浮池：一般为圆形

表面活性剂的作用

- 润湿作用
- 起泡作用
- 增溶作用
- 乳化作用
- 洗涤作用



致谢



THANKS

for your keeping the water quality
after you use it.

A handwritten signature in brown ink, appearing to be 'J. P. Lee'.