



上海交通大學
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



水处理工程

第二讲 混凝原理和工艺





内容提要

内容提要

概述

胶体的特性

混凝原理

混凝剂与助凝剂

混凝工艺

混凝影响因素

第一节 概述

混凝的作用

混凝定义

天然水中的胶体

混凝的应用

混凝的特点

废水中的大颗粒可以通过重力沉淀法去除，但微小粒径的悬浮物和胶体能在水中长期保持分散悬浮状态，即使静置数十个小时也不会自然沉降。

混凝所处理的对象，主要是水和废水中的微小悬浮物和胶体杂质。

废水类型	真溶液	胶体	悬浮液
分散相粒度	0.1~1nm	1~100nm	>100nm
去除方法		混凝处理	混凝、沉淀/过滤



混凝的作用

混凝定义

天然水中的胶体

混凝的应用

混凝的特点

- **凝聚 (coagulation)**: 投加混凝剂后水中的胶体失去稳定性, 胶体颗粒互相凝聚, 结果形成众多的“小矾花”。
- **絮凝 (flocculation)**: 凝聚过程中形成的“小矾花”通过吸附、卷带、架桥等作用, 形成颗粒较大絮凝体的过程。
- **混凝**: 是凝聚、絮凝两各过程的总称。是水中胶体粒子及微小悬浮物的聚集过程。
- 这一过程涉及**三方面**的问题:
 - 1) 水中胶体粒子的性质
 - 2) 混凝剂在水中的水解物种
 - 3) 胶体粒子与混凝剂之间的相互作用



混凝的作用

混凝定义

天然水中的
胶体

混凝的应用

混凝的特点

⇒ 通常是**负电荷胶体**，如粘土、细菌、病毒、藻类、腐殖质等。

{ 给水处理： 混凝+沉淀，微絮凝+过滤
废水处理：

{ 优点：设备简单，操作方便；
便于间歇运行，效果好。
缺点：运行费用高；
沉渣量大，处置困难。



第二节 胶体的特性

胶体的基本特性

胶体的结构
双电层理论
胶体的稳定性
胶体的类型

(一) **光学特性**: 指胶体在水溶液中能引起光的反射。

(二) **布朗运动**: 胶体为常见的分散体系之一。

(三) **表面特性**: 分散体系的分散度越大, 胶体颗粒的比表面积越大, 具有的表面自由能越大, 使胶体可以产生特殊的吸附能力和溶解现象。

(四) **动电现象 (电泳现象)**: 胶体具有带电性, 在电场力作用下, 胶体微粒向一个电极方向移动的现象。



第二节 胶体的特性

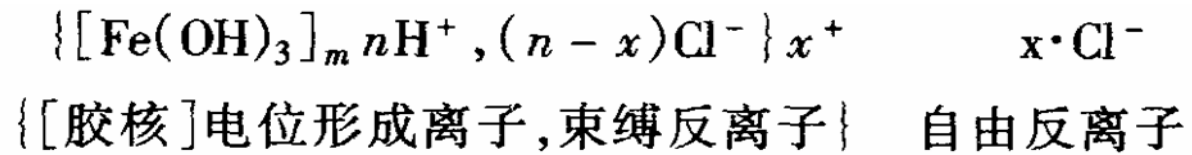
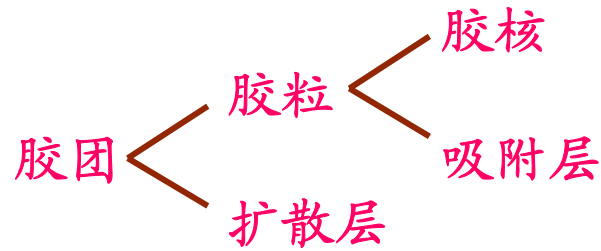
胶体的基本特性

胶体的结构

双电层理论

胶体的稳定性

胶体的类型



吸附层



扩散层



胶粒



胶团



第二节 胶体的特性

胶体的基本特性

胶体的结构

双电层理论

胶体的稳定性

胶体的类型

胶体粒子的结构及其电位分布

胶体在水中的运动和受力分析

问题：胶体在水中不能聚结的原因？



第二节 胶体的特性

胶体的基本特性

胶体的结构

双电层理论

胶体的稳定性

胶体的类型

(一) 定义：胶体的稳定性，指胶体粒子在水中长期保持分散悬浮状态的特性。

(二) 胶体的稳定性

(1) 动力学稳定：是指颗粒布朗运动对抗重力影响的能力。粒子越小，动力学稳定性越高。

(2) 聚集稳定性：指胶体粒子间不能相互聚集的特性。胶体粒子小，比表面积大，故表面能大，在布朗运动作用下，有自发地相互聚集的倾向，但由于粒子表面同性电荷的排斥力作用或水化膜的阻碍使这种自发聚集不能发生。

(三) 影响胶体稳定性的因素

胶体双电层结构

ξ 电位

排斥能峰



第二节 胶体的特性

胶体的基本特性

胶体的结构

双电层理论

胶体的稳定性

胶体的类型

疏水性胶体（憎水性胶体） 吸附层中的离子直接与胶核接触，水分子不能直接接触胶核。如**氢氧化铝、二氧化硅**在水中形成的胶体。

亲水性胶体 胶核表面存在某些极性基团和水分子亲和力很大，使水分子直接吸附到胶核表面而形成一层水化膜的胶体。



第三节 混凝原理

压缩双电层

电性中和

吸附架桥

网捕或卷扫

化学混凝的机理至今仍未完全清楚，因为它涉及的因素很多。从机理上解释主要有四种，**压缩双电层**、**电性中和**、**吸附架桥**、**网捕或卷扫**。在实际的水处理中，这四种机理往往同时或交叉发挥作用，只是依条件的不同而以其中的某一种起主导作用。



第三节 混凝原理

压缩双电层

电性中和

吸附架桥

网捕或卷扫

由胶体粒子的双电层结构可知，反离子的浓度在胶粒表面最大，并沿着胶粒表面向外扩散，与距离呈递减分布，最终与溶液中的离子浓度相等。

当向溶液中投加电解质，使溶液中离子浓度增高，则扩散层的厚度将减小。

该过程的实质是加入的反离子与扩散层原有的反离子之间的静电斥力把原有部分反离子挤压到吸附层中，从而使扩散层厚度减小。

DLVO理论

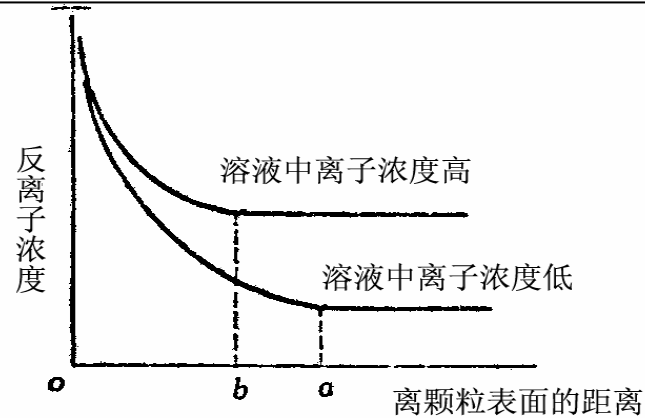
Schulze—Hardy法则



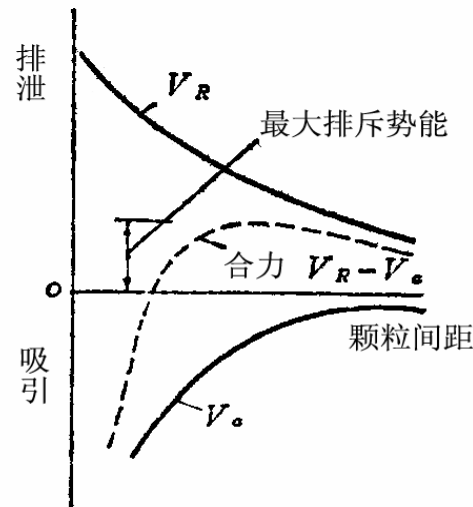
DLVO理论

- 由于扩散层厚度的减小， ξ 电位相应降低，胶粒间的相互排斥力也减少。
- 由于扩散层减薄，颗粒相撞时的距离减少，相互间的吸引力变大。**颗粒间排斥力与吸引力的合力由斥力为主变为以引力为主，颗粒就能相互凝聚。**

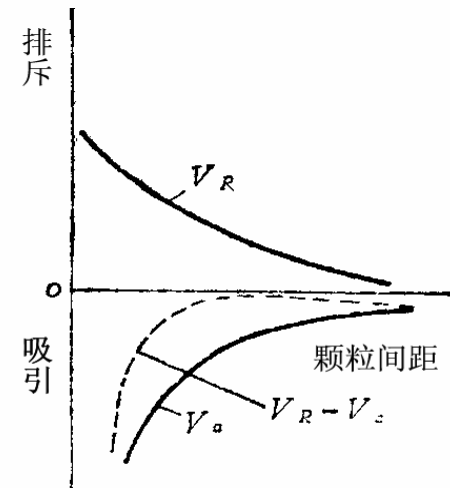
两个胶粒能否相互凝聚，取决于二者的总势能。



(a) 溶液中离子浓度与扩散层厚度的关系



(b) 溶液中离子浓度低



(c) 溶液中离子浓度高



第三节 混凝原理

压缩双电层

电性中和

吸附架桥

网捕或卷扫

DLVO理论

根据DLVO理论，要使胶粒通过布朗运动相互碰撞聚集，需要降低其排斥势能，即降低或消除胶粒的 ζ 电位，在水中投加电解质即可达到此目的。

对于水中的负电荷胶体，投入的电解质——混凝剂应是正电荷或聚合离子，其作用是压缩胶体双电层——保持胶体电性中和所要求的扩散层厚度。

Schulze—Hardy法则

浓度相同的电解质破坏胶体稳定性的效力随离子价数的增加而加大（高价电解质压缩胶体双电层的效果远比低价电解质有效）。

$$M^+ : M^{2+} : M^{3+} = 1 : 20 \sim 50 : 1500 \sim 2500$$

再稳现象：原因？



第三节 混凝原理

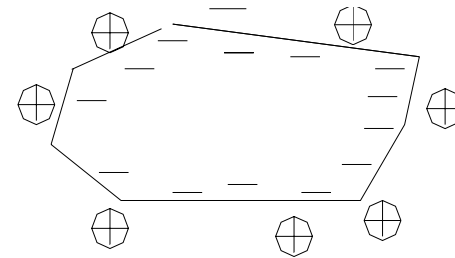
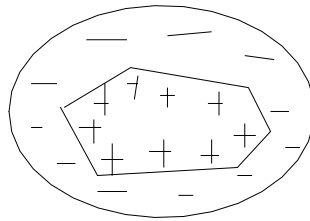
压缩双电层

电性中和

吸附架桥

网捕或卷扫

当投加的电解质为铁盐、铝盐时，它们能在一定条件下离解和水解，生成各种络离子。这些络离子不仅能够压缩双电层，而且能够通过胶核外围的反离子层进入固液界面，并中和电位离子所带电荷， ζ 电位降低，达到胶粒的脱稳和凝聚。



在水处理中，一般均投加高价电解质或聚合离子。

再稳现象：过多投加多核络合离子，胶核的强烈吸附作用，使胶体重新带电（电荷异号），而出现的再稳现象。



第三节 混凝原理

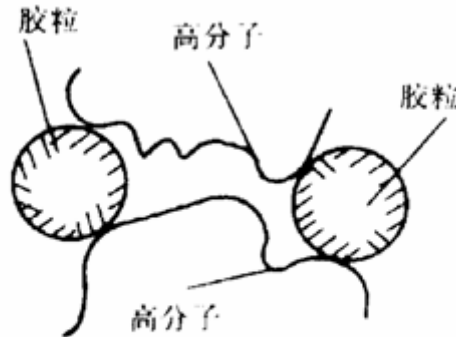
压缩双电层

电性中和

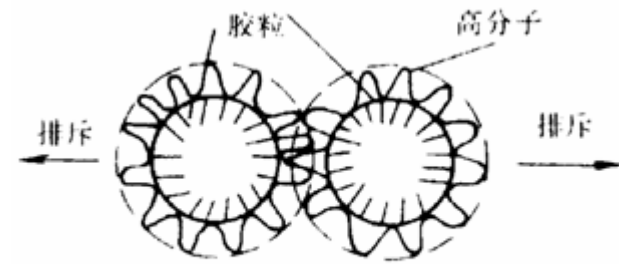
吸附架桥

网捕或卷扫

吸附架桥作用是指链状高分子聚合物在**静电引力**、**范德华力**和**氢键力**等作用下，通过活性部位与胶粒和细微悬浮物等发生吸附桥连的现象。



架桥模型示意



胶体保护示意

胶体再稳现象：

- (1) 高分子聚合物浓度较高时，对胶粒的包裹，产生“胶体保护”作用。
- (2) 胶粒较少时，高分子聚合物的缠绕作用；
- (3) 长时间的剧烈搅拌。



第三节 混凝原理

压缩双电层

电性中和

吸附架桥

网捕或卷扫

当采用硫酸铝、石灰或氯化铁等高价金属盐类作混凝剂时，当其投加量和介质条件足以使它们迅速生成金属氢氧化物(如 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 等难溶性氢氧化物沉淀时，沉淀就能把胶粒和细微悬浮物作为晶核或吸附质通过网捕或卷扫而将其一起除去。这基本上是一种机械作用。

混凝剂最佳投加量与被除去物质的浓度成反比，胶粒越多，金属混凝剂投加量越少。



第四节 混凝剂与助凝剂

混凝剂

助凝剂

混凝剂分类

无机混凝剂

铝盐

铁盐

无机高分子

PAC

PFS

有机混凝剂

天然高分子

人工合成高分子

混凝剂发展方向

定义

作用

分类



第五节 混凝工艺

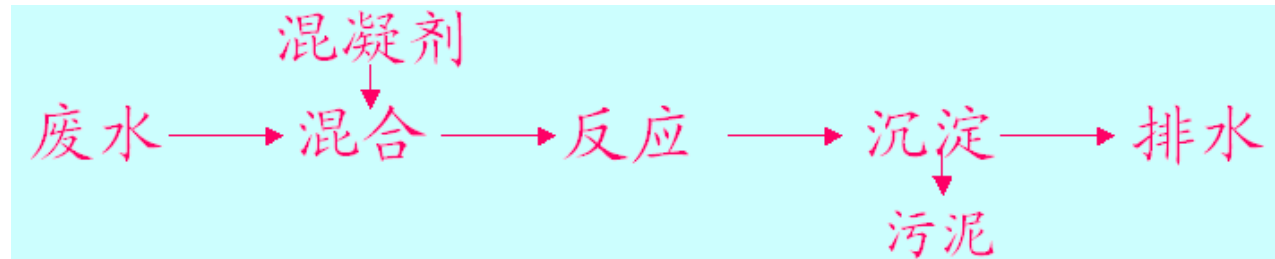
工艺流程

混凝剂的投加

混合

絮凝反应

混凝工艺流程由药剂投加、混合、反应及沉淀分离等单元组成。



混合

反应

沉淀

反应过程形成的大絮体进入沉淀池进行分离。(问题)

工艺流程

混凝剂的投加

混合

絮凝反应

固体投加、液体投加

方法	优点	缺点
干投法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 设备占地面积小 2. 投配设备无腐蚀问题 3. 药剂较为新鲜 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 当用药量大时，需要一套破碎混凝剂设备 2. 当用药量小时，不易调节 3. 药剂与水不易混合均匀 4. 劳动条件差 5. 不适用吸湿性混凝剂
湿投法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 容易与水充分混合 2. 适用于各种混凝剂 3. 投量易于调节 4. 运行方便 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 设备较复杂，占地面积大 2. 设备易受腐蚀 3. 当要求投药量突变时，投量调整较慢

投加方式



工艺流程

混凝剂的投加

混合

絮凝反应

(一) 混合的作用

(二) 速度梯度与搅拌强度

(三) 混合方式



工艺流程

混凝剂的投加

混合

絮凝反应

(一) 絮凝反应的作用

(二) 反应的水力条件

(三) 反应设备

(四) 絮凝反应器的设计要点



第六节 影响混凝的因素

浊度

浊度

浊度过高或过低都不利于絮凝，浊度不同，所需的絮凝剂用量也不同。

低浊水缺少凝聚核心，可将部分沉渣连续回流到混合池入口，以促进反应过程。

水温

pH值及碱度

共存杂质

混凝剂

水力条件



第六节 影响混凝的因素

浊度

水温

pH值及碱度

共存杂质

混凝剂

水力条件

水温

水温会影响无机盐类的水解。水温低，水解反应慢；水的粘度增大，布朗运动减弱，混凝效果下降。

另外，水温也影响反应后的沉降过程。



第六节 影响混凝的因素

浊度

水温

pH值及碱度

共存杂质

混凝剂

水力条件

pH值及碱度—影响混凝效果的重要因素

(1)pH值影响胶体颗粒表面电荷及 ξ 电位

对于带正电胶体，pH降低， H^+ 吸附量增加，胶粒电荷增大，电泳速度加快；pH升高，结果与上相反。

(2)pH值对混凝剂作用的影响

pH影响着混凝剂在水中的存在状态，不同的pH，混凝剂水解产物不同，所起的混凝作用各异。

工程上应充分考虑混凝剂水解而引起水pH值的变化，必要时进行适当调节，使其满足混凝作用的要求。



第六节 影响混凝的因素

浊度

水温

pH值及碱度

共存杂质

混凝剂

水力条件

共存杂质

(1) 有利成分:

可促进混凝过程。除硫、磷化合物以外的其他各种无机金属盐，均能压缩胶体粒子的扩散层厚度，促进胶体凝聚，且浓度越高，促进能力越强。

(2) 不利成分:

不利于混凝过程的进行。磷酸离子、亚硫酸离子、高级有机酸离子影响高分子絮凝作用。氯、螯合物、水溶性高分子物质和表面活性物质不利于混凝。



第六节 影响混凝的因素

浊度

水温

pH值及碱度

共存杂质

混凝剂

水力条件

混凝剂 (重点)

① 混凝剂种类

混凝剂的选择主要取决于胶体和细微悬浮物的性质、及浓度。

胶体 ζ 电位高，应投加无机混凝剂使其脱稳凝聚；絮体细小，须投加高分子混凝剂或配合使用助凝剂。

② 混凝剂投加量

投加量与水中微粒种类、性质、浓度有关。

废水的混凝处理，最佳混凝剂和最佳投药量的选择应通过实验确定。

③ 混凝剂的投加顺序

当使用多种混凝剂时，其最佳投药顺序可通过试验来确定。

一般而言，当无机混凝剂与有机混凝剂混用时，先投加无机混凝剂，再投加有机混凝剂。但当处理的胶粒在50 μm 以上时，常先投加有机混凝剂吸附架桥，再加无机混凝剂压缩扩散层使胶体脱稳。



第六节 影响混凝的因素

浊度

水温

pH值及碱度

共存杂质

混凝剂

水力条件

水力条件

水力条件对混凝剂效果有重要影响。主要的控制指标为**搅拌强度**和**搅拌时间**。

混合阶段，要求混凝剂于废水迅速均匀混合，为此要求 G 在 $500-1000s^{-1}$ ，搅拌时间 t 应在 $10-30s$ 。

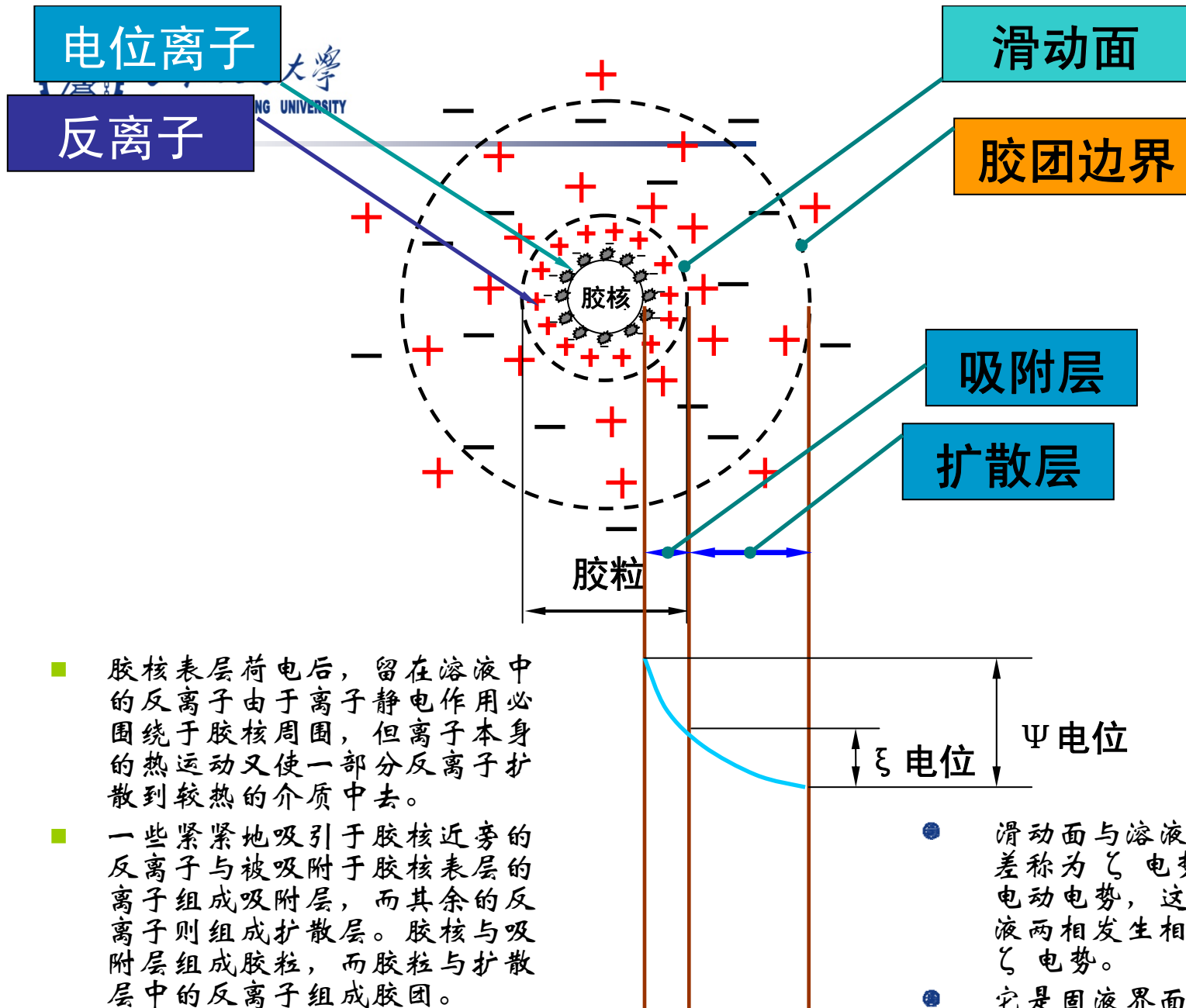
反应阶段，相应 G 和 t 值分别应在 $20-70s^{-1}$ 和 $15-30min$ 。

为确定最佳的工艺条件，一般情况下，可以用烧杯搅拌进行混凝的模拟实验。



谢 谢!





- 胶核表层荷电后，留在溶液中，反离子由于静电作用必围绕于胶核周围，但反离子本身的热运动又使一部分反离子扩散到较热的介质中去。
- 一些反离子紧紧地吸附于胶核表层，而其余的反离子则组成扩散层。胶核与吸附层组成胶粒，而胶粒与扩散层中的反离子组成胶团。

- 滑动面与溶液本体之间的电势差称为 ζ 电势。有时也称为电动电势，这是因为只有当固液两相发生相对移动时才有 ζ 电势。
- 它是固液界面静电排斥力大小的量度，也是衡量分散体系稳定性的重要参数。



胶体在水中受到几个方面的影响：

(1) 由于胶粒的带电现象，带相同电荷的胶体产生**静电斥力**，而且 ξ 电位越高，胶体间的静电斥力越大。

(2) 受水分子热运动的撞击，使胶体在水中做不规则的**布朗运动**。

(3) 胶粒之间还存在着**相互引力——范德华引力**。范德华引力的大小与胶粒间距离的平方成反比，当间距较大时，可忽略不计。

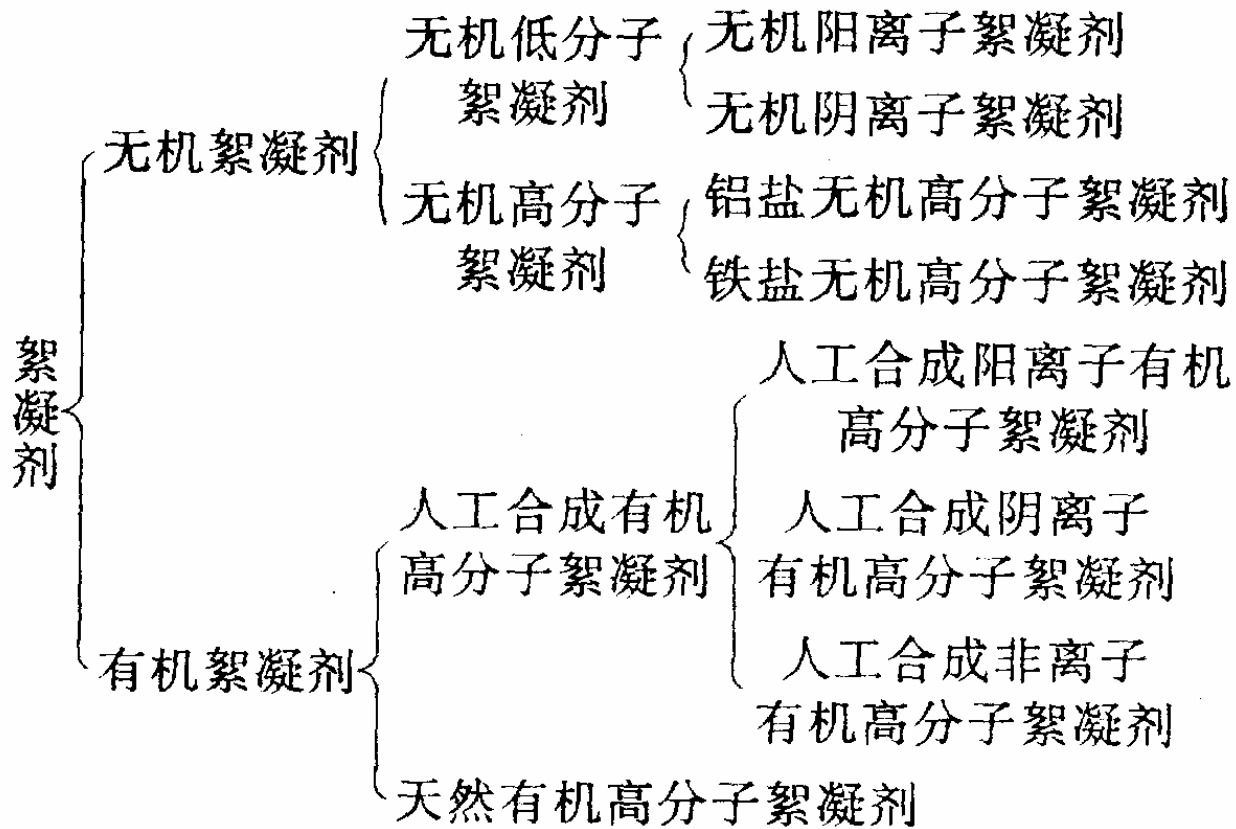


一般水中的胶粒， ξ 电位较高。其互相间斥力不仅与电位有关，还与胶粒的间距有关，距离愈近，斥力愈大。而布朗运动的动能不足以将两颗胶粒推进到使范德华引力发挥作用的距离。因此，胶体微粒不能相互聚结而长期保持稳定的分散状态。

使胶体微粒不能相互聚结的另一个因素是水化作用。由于胶粒带电，将极性水分子吸引到它的周围形成一层水化膜。水化膜同样能阻止胶粒间相互接触。但是，水化膜是伴随胶粒带电而产生的，如果胶粒的电位消除或减弱，水化膜也就随之消失或减弱。



混凝剂的分类





对于混凝剂而言，在废水处理时：（带负电胶体）

（1）普通电解质

只有压缩双电层和吸附电中和作用；

（2）高分子物质

A、阳离子型（带正电荷）聚合电解质，具有电中和作用和吸附架桥功能。

B、非离子型（不带电荷）或阴离子型（带负电荷）聚合电解质，只能起吸附架桥作用。



传统无机混凝剂和无机高分子混凝剂。

① 铝盐

硫酸铝 ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)

明矾 ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$)

由于铝的比重小，在水温低的情况下，絮粒较轻而疏松，处理效果较差。

pH有效范围较窄，在5.5-8之间。

投加量大。



以铝盐为例，介绍混凝的过程：

在水中， Al^{3+} 以 $\text{Al}(\text{OH})_6^{3+}$ 的形态存在，发生水解：

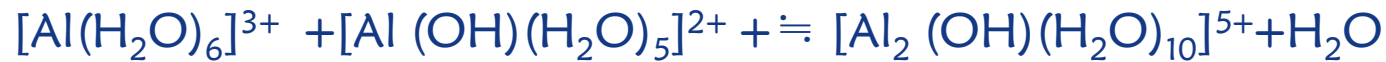


- (1) $\text{pH} \leq 4$ 时，水中以 $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 为主；
- (2) $\text{pH} 4 \sim 5$ 时，以 $[\text{Al}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$ 、 $[\text{Al}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4]^+$ 及少量的 $[\text{Al}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3]$ ；
- (3) $\text{pH} 7 \sim 8$ 时，水中以 $[\text{Al}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3]$ 为主。
- (4) $\text{pH} > 9$ 时，水中产生 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沉淀。

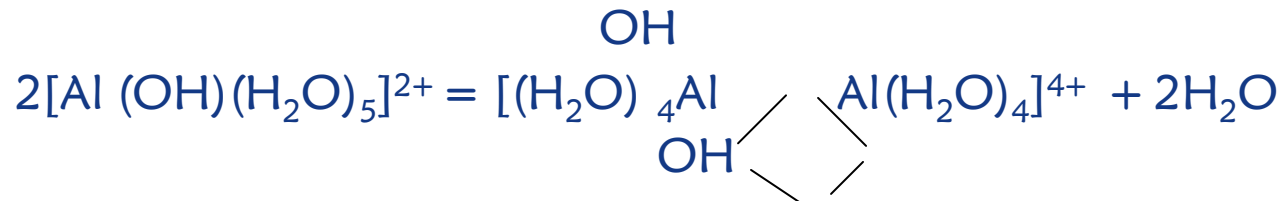


铝离子在水中化学反应的全过程

单核络合物通OH-桥键缩聚成单核羟基络合物:



两个单羟基络合物可缩合成双羟基双核络合物:



生成物 $[\text{Al}_2(\text{OH})_2(\text{OH})_8]^{4+}$ 还可进一步缩合成 $[\text{Al}_3(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_{10}]^{5+}$ 缩合产物同时也会发生水解反应:



水解与缩聚两种反应交替进行, 最终生成聚合度极大的中性氢氧化铝, 浓度超过其溶解度时析出氢氧化铝沉淀。



Al^{3+} 在水中的存在状态和pH有关:

在pH较低时, 高电荷低聚合度的络合物占多数;

在pH较高时, 低电荷高聚合度的络合物占多数。

其中:

对于高电荷低聚合度的水解聚合物, 主要起到压缩双电层和吸附架桥作用;

对于低电荷高聚合度的水解聚合物, 主要起到吸附架桥作用和沉淀网捕作用;

对于高聚合度的水解沉淀物, 以吸附、网捕、卷带作用为主。



② 铁盐

三氯化铁 ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

硫酸亚铁 ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

生成的絮粒在水中的沉淀速度较快；

处理浊度高、水温较低的废水，效果比较显著；

FeCl_3 容易吸水潮解，故不易保管；腐蚀性强，对混凝土也产生腐蚀作用；生成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 它的溶解度很大，残留水中的 Fe^{2+} 会使处理后的水带色。



③无机高分子混凝剂

聚合氯化铝 (碱式氯化铝, 简称PAC)

化学通式为 $[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]_m$, 式中 $n \leq 5$, $m \leq 10$ 。

制备: 以铝灰或含铝矿物作原料, 采用酸溶法或碱溶法加工制成的。[参考书: 《碱式氯化铝》李润生]

A 对水质适应性较强, 适用pH范围广, 5-9之间;

B 絮凝体形成快, 比重大, 沉降性好;

C 投药量低。

D 碱化度较高, 对设备的腐蚀性小, 处理后的水pH和碱度下降较小。



聚合硫酸铁(碱式硫酸铁)(简写PFS)

化学通式为 $[\text{Fe}_2(\text{OH})_n(\text{SO}_4)_{3-n/2}]_m$ 式中 $n < 2, m > 10$ 。

- A 适用范围广：pH 4-11；低水温，混凝效果稳定；
- B 用量小，絮凝体沉降性能好；
- C COD去除率和脱色效果好；
- D 处理后水中铁残留量低，腐蚀性较小。



1、高分子混凝剂分类

(1) 天然高分子混凝剂

主要有动物胶、淀粉、甲壳素等。

特点：电荷密度小，分子量较低，且易发生降解而失去活性。

(2) 人工合成高分子混凝剂

水处理中常用阴离子型、阳离子型、非离子型3种高分子混凝剂。

2、高分子混凝剂的作用

- 靠氢键、静电、范德华力的作用对胶粒强烈的吸附作用。
- 高聚合度的线型高分子在溶液中保持适当的伸展形状，从而发挥吸附架桥作用，把许多细小颗粒吸附后，缠结在一起。



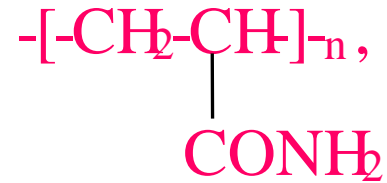
人工合成高分子混凝剂

- ① 阴离子型：主要含 $-\text{COOM}$ (M 为 H^+ 或金属离子)或 $-\text{SO}_3\text{H}$ 的聚合物，如阴离子聚丙烯酰胺(CPAM)和聚苯乙烯磺酸钠(PSS)等。
- ② 阳离子型：主要是含有 $-\text{NH}_3^+$ 、 $-\text{NH}_2^+$ 和 $-\text{N}^+\text{R}_4$ 的聚合物，如阳离子聚丙烯酰胺(APAM)等。
- ③ 非离子型：所含基团未发生反应的聚合物。如非离子型聚丙烯酰胺(NPAM)和聚氧化乙烯(PEO)等。



聚丙烯酰胺

简称PAM，又称三号混凝剂，PAM的分子结构通式为：



PAM是线状水溶性高分子，其分子量在300-1800万。

阴离子聚丙烯酰胺(CPAM)

阳离子聚丙烯酰胺 (APAM)

非离子型聚丙烯酰胺 (NPAM)

两性离子型聚丙烯酰胺 (NPAM)



混凝剂研究发展方向

➡ 有机高分子混凝剂

- 天然有机高分子混凝剂：如壳聚糖及其改性产物、淀粉改性
- 聚丙烯酰胺改性产品：阴离子型、阳离子型、非离子型、两性

➡ 无机混凝剂

无机复合混凝剂的研制，如：聚硅酸铝、聚硅酸铁、聚硅酸铝铁

➡ 微生物絮凝剂



(一) 定义

当单用混凝剂不能取得良好效果时，可投加某些辅助药剂以提高混凝效果，这种辅助药剂称为助凝剂。

(二) 作用

(调节或改善混凝的条件)

改善絮粒结构，增大颗粒粒度及比重。

调整废水的pH和碱度，使其达到最佳的混凝条件。

(三) 助凝剂分类

A、pH调整剂：调节废水的pH符合混凝处理工艺要求。常用石灰、硫酸、氢氧化钠等。

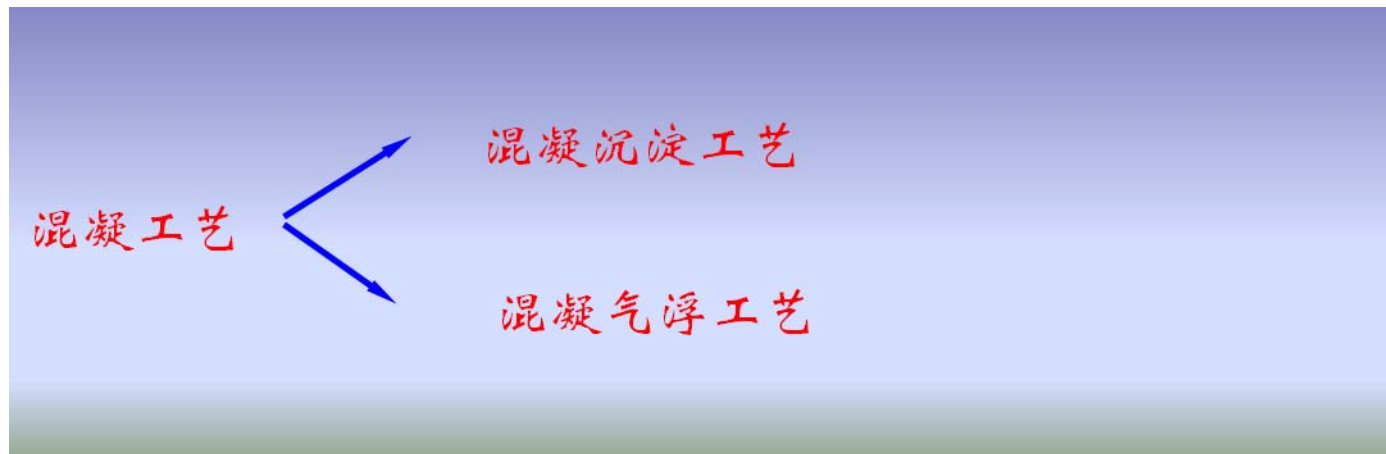
B、絮凝结构改良剂：投加絮体结构改良剂以增大絮体的粒径、密度。常用骨胶、活化硅酸、海藻酸钠、粘土、水玻璃、PAM等。

C、氧化剂：有机物含量高，易起泡沫，絮凝体不易沉降。投加氯气、次氯酸、臭氧等分解有机物，使胶体脱稳，还可将 Fe^{2+} 转化成 Fe^{3+} ，以提高混凝效果。



问题：

分离絮体可以采用哪些工艺？





(一) 凝剂干投法 (应用较少)

工艺流程:

药剂输送→粉碎→提升→计量→加药混合



(二) 混凝剂湿投法

工艺流程：

溶解池→溶液池→定量控制设备→投加设备→混合池

溶解设备：溶解池、搅拌设备。

药剂调配：水力调配、机械调配、压缩空气调配和人工调配等。

溶液池：配制一定浓度溶液的设施。

其它设备：（略）



(三) 混凝剂投加方式

- ① 重力投加
- ② 虹吸式定量投加
- ③ 水射器投加
- ④ 用计量泵投加药剂



(一) 混合的作用

使药剂能**快速、均匀**地分散到废水中。

★★**快速**：是因混凝剂在废水中发生水解反应的速度很快，而且只是通过快速搅拌以生成大量细小絮体，并不要求使

★★**均匀**：是为了化学反应能在废水中各部分得到均衡发展。

水力条件要求：

搅拌时间：10–30s，工业应用常取2min。

速度梯度： $G=500\sim 1000s^{-1}$ 。



(二) 搅拌强度用速度梯度 G 来表示。

速度梯度与搅拌时间的乘积 Gt 值可间接表示整个反应时间内颗粒碰撞的总次数，可用来控制反应效果，一般 Gt 值应控制在 $10^4 \sim 10^5$ 之间。在 G 值给定的情况下，可调节 t 值来改善反应效果。



(三) 混合方式

常见混合方式:

管式混合

其他水力混合

水泵混合

机械混合



1、管式混合

A、普通管道混合

B、管式静态混合器

C、扩散混合器



A、普通管道混合

把药剂投入水泵压水水管内，借助水流进行混合。

药剂加入方式：

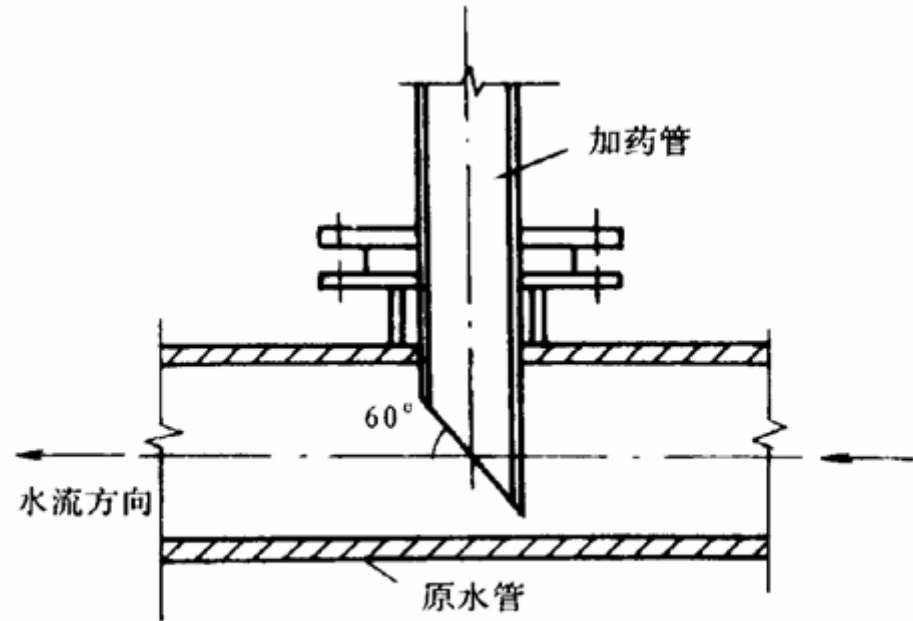


图 药剂注入管道方式



B、管式静态混合器

管内装设若干个固体混合单元体。

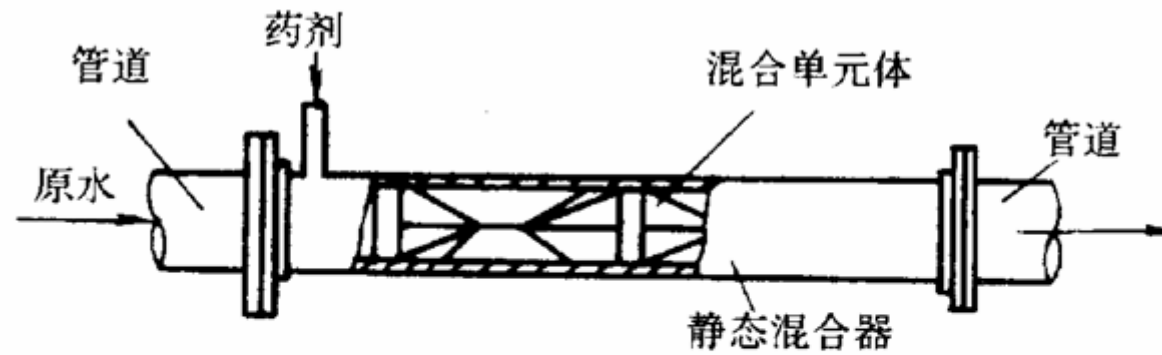
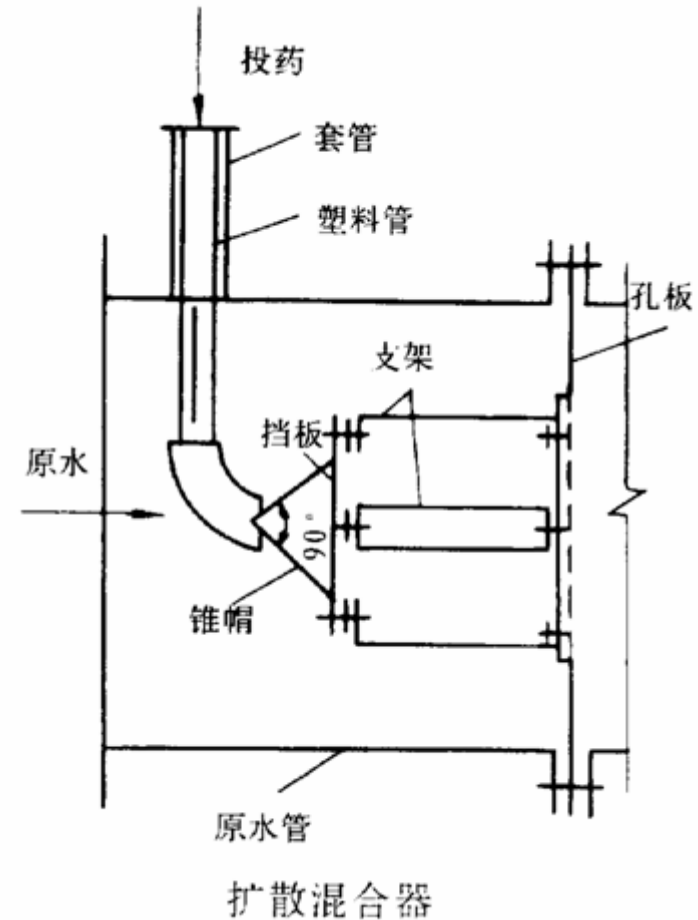


图 管式静态混合器



C、扩散混合器

在管式孔板混合器前加一锥形帽，水流和药剂对冲锥形帽而后扩散形成剧烈紊流，使药剂和水达到快速混合。





2、其它水力混合方式

A、分流隔板混合池

B、跌水混合池

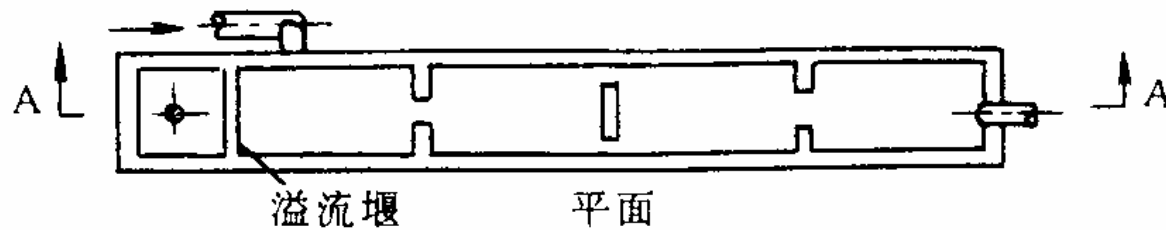
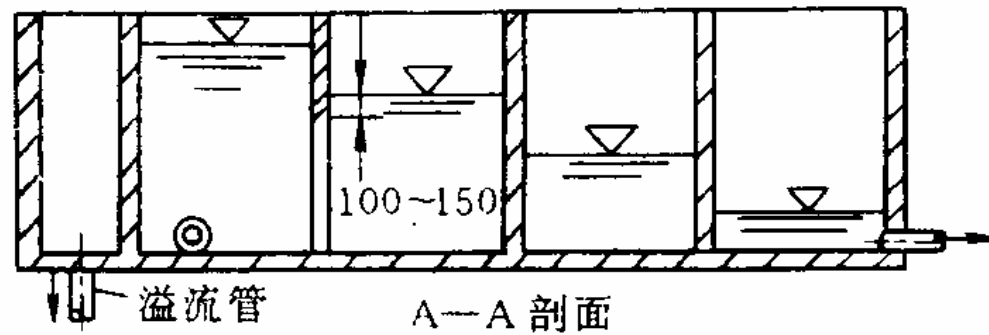
C、水跃式混合池

D、涡流式混合设备

E、廊道式格板混合池



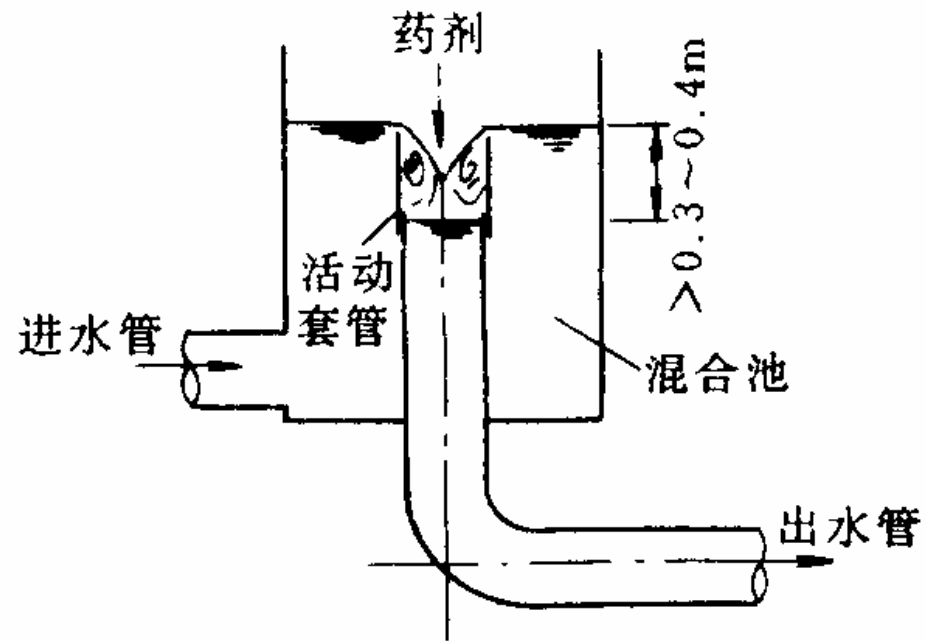
A、分流隔板混合池





B、跌水混合池

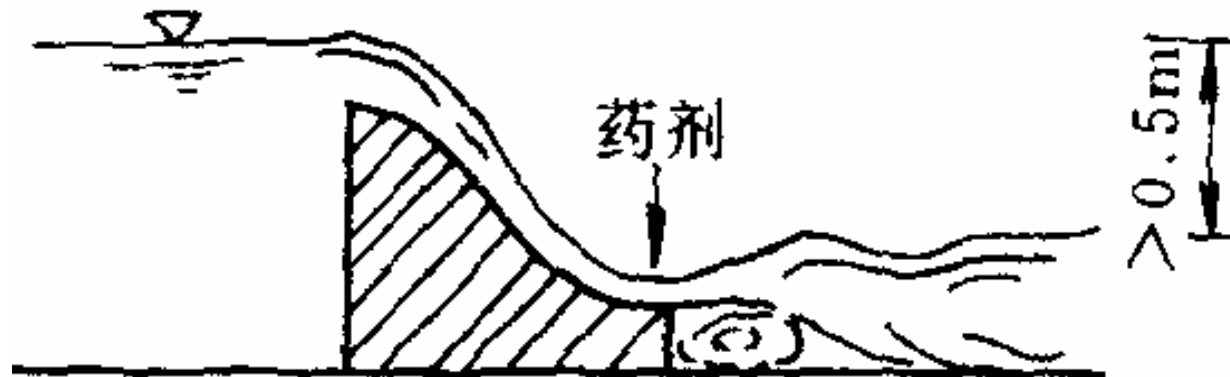
利用水流在跌落过程中产生的冲击达到混合的效果。





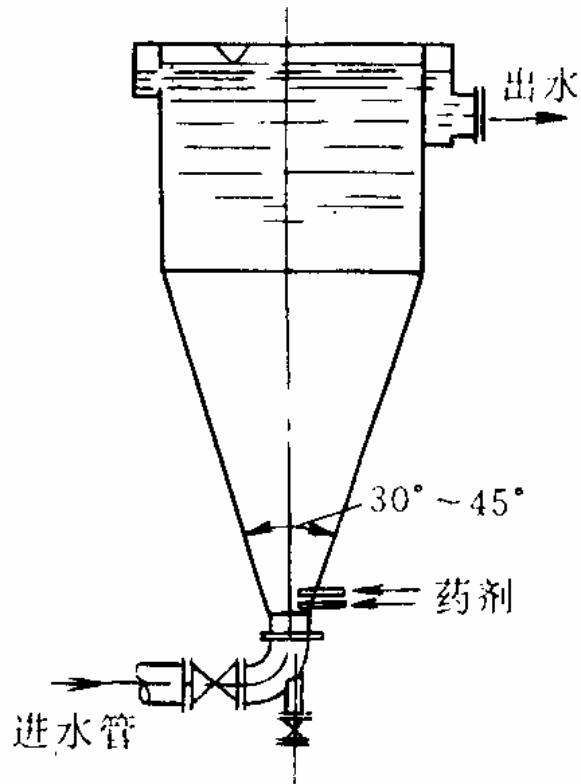
C、水跃式混合池

利用3m/s以上的流速迅速流下时所产生的水跃进行混合。





D、涡流式混合设备



设计要点:

底部锥角 $30-45^{\circ}$;

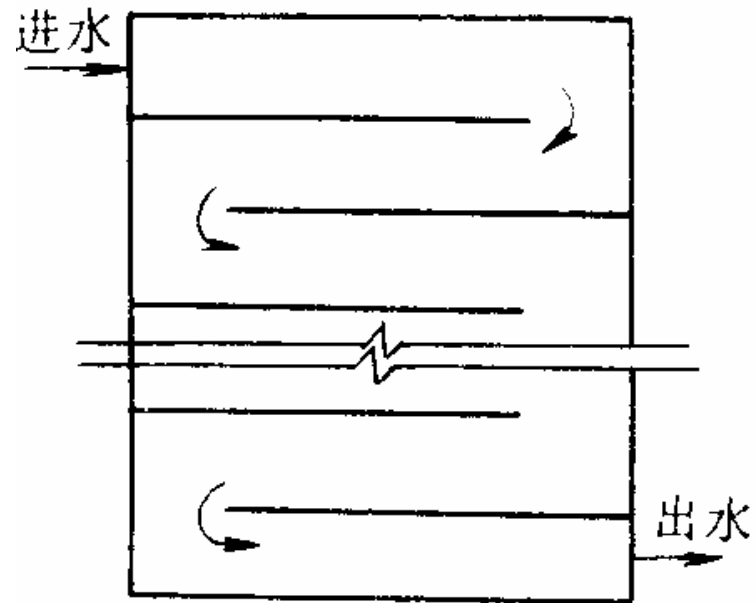
反应时间 $1-1.5\text{min}$, $\leq 2\text{min}$;

入口流速 $1-1.5\text{m/s}$;

圆柱部分上升流速 25mm/s 。



E. 廊道式格板混合池





3. 水泵混合（泵前投加，泵后投加）

泵前投加是指将药剂投加在水泵的吸水管内或喇叭口处，利用水泵叶轮高速旋转达到快速混合的目的，目前多以这种方式为主。

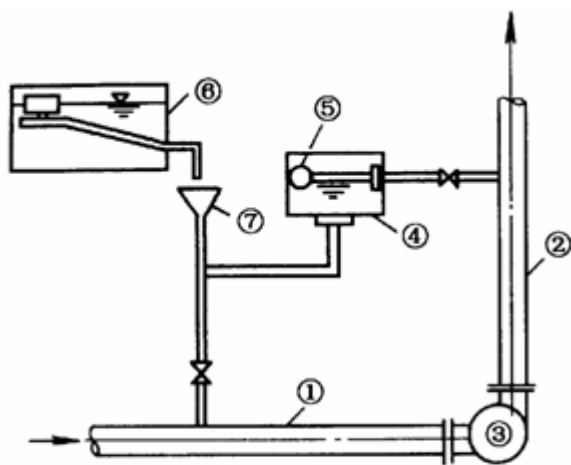


图 泵前重力投加

①吸水管；②出水管；③水泵；④水封箱；
⑤浮球阀；⑥溶液池；⑦漏斗管

特点：

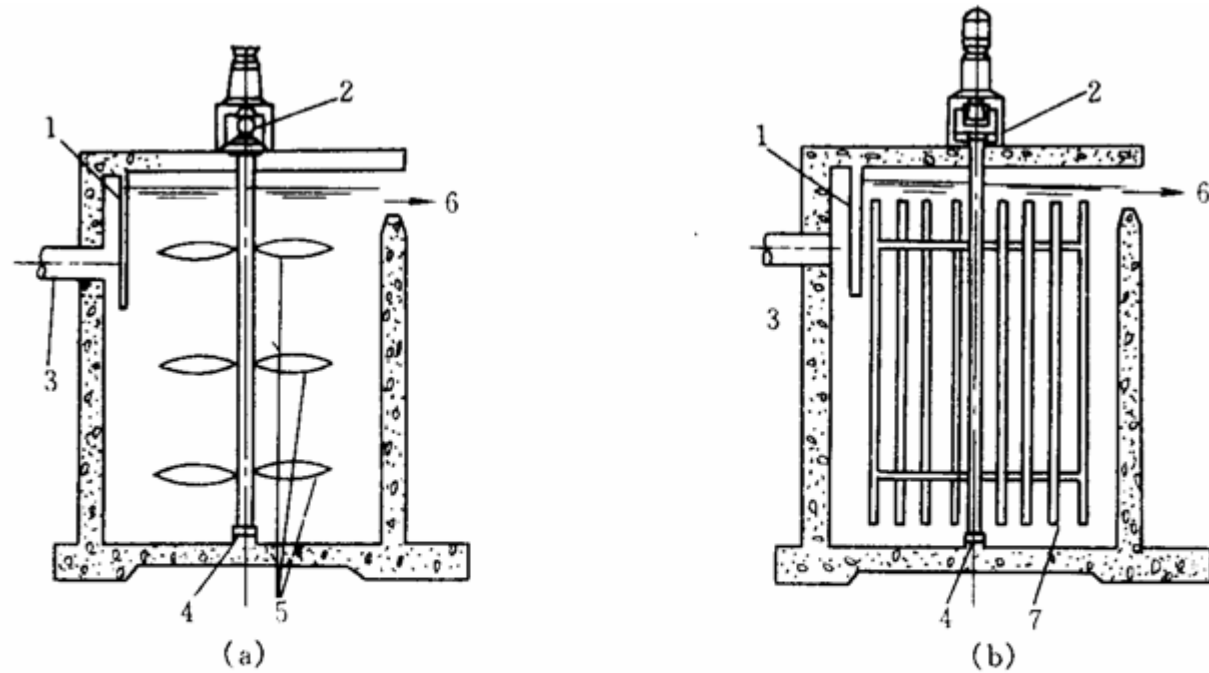
混合效果好，不需另建混合设施；
节省动力；
各型水厂均可采用；

要求：

泵房距离处理设备不大于150m。



4. 机械搅拌混合



机械搅拌混合

(a) 螺旋桨式; (b) 直桨叶框式



(一) 反应的作用

是使混合形成的小絮凝体经过充分碰撞接触，絮凝成较大颗粒的过程。



(二) 反应过程的水力条件

反应设备应有一定的停留时间和适当的搅拌强度，使小絮体有一

絮凝控制指标：

速度梯度 $G=10\sim 70s^{-1}$ 。

水流速度 $v=15-30mm/s$ 。

反应时间 $t=15-30min$ 。

絮凝控制指标 Gt 值 $=10^4-4\times 10^5$ » » » »



絮凝控制指标研究

(1) Gt 值

(2) GtC 值

(3) $aGtC$ 值

考虑颗粒浓度及脱稳程度等因素进去，提出 (2)、(3)。



(三) 絮凝反应设备

设备分类 (按搅拌方式分)

1、水力搅拌反应池

2、机械搅拌反应池

3、组合反应池



1、水力搅拌反应池

A、隔板反应池

B、折板反应池

C、穿孔旋流反应池

D、旋流式反应池

E、涡流式反应池



A、隔板反应池

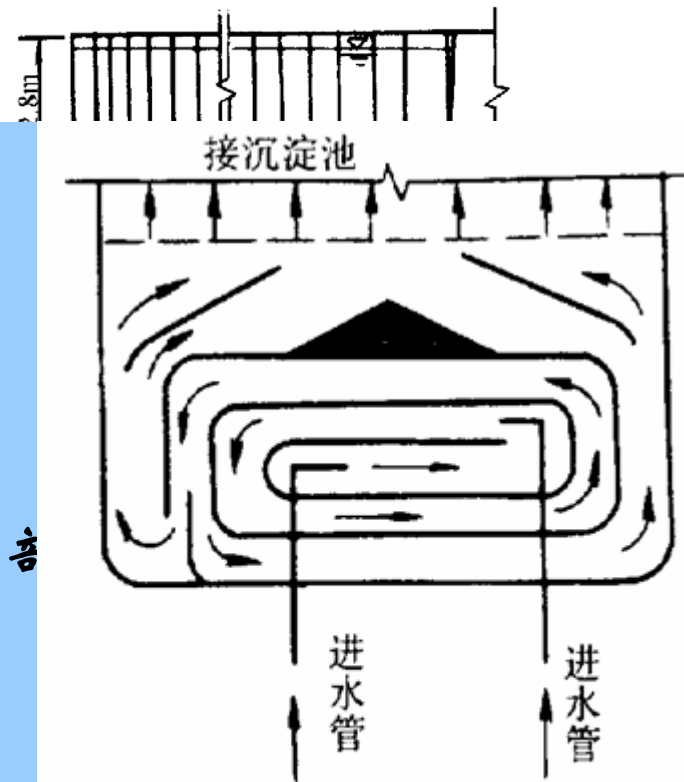
a、往复式

b、回转式

特点：

水流在池内作90°转弯，局部紊动
且絮凝效果有所提高。

水头损失比往复式小40%。



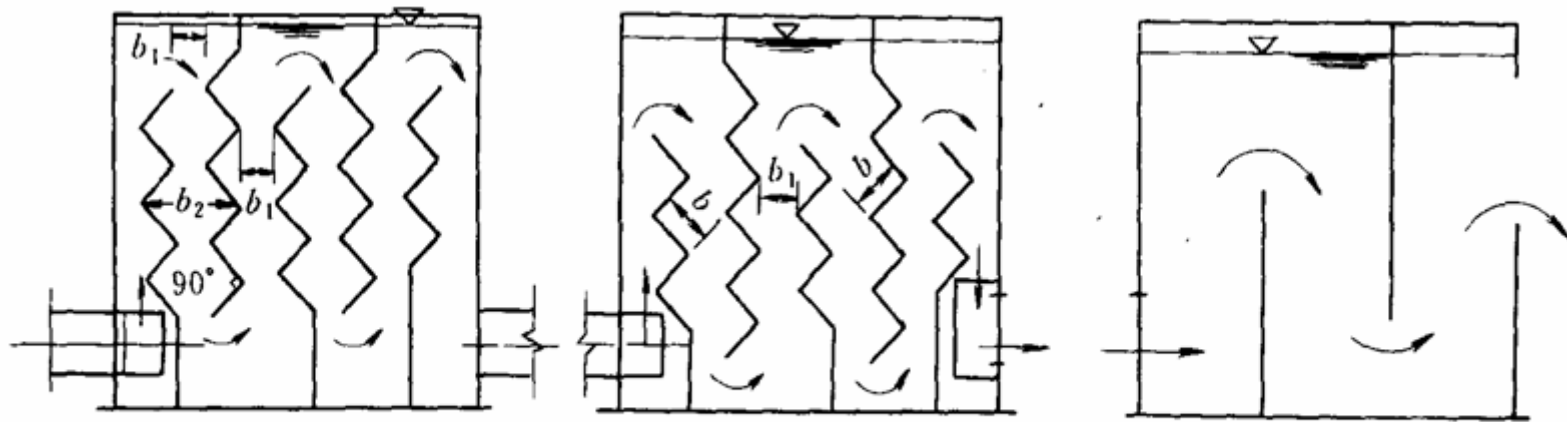
回转式隔板絮凝池



B、折板反应池

平折板反应池一般分为三段。三段的折板布置可分别采用相对折板、平行折板和平行直板。

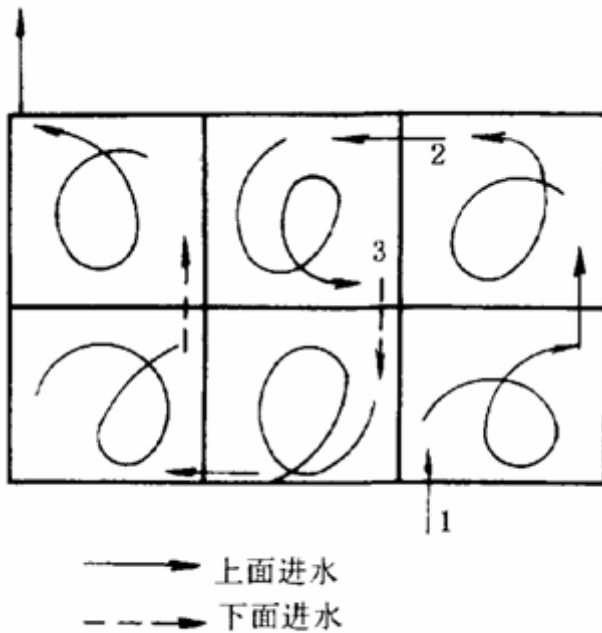
另外还有采用波形板的。



折板反应布置



C、穿孔旋流反应池



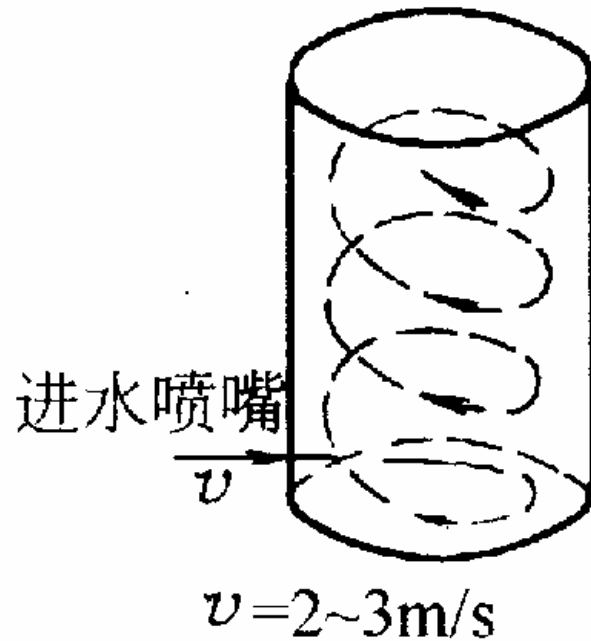
穿孔旋流絮凝池平面示意图

由若干方格组成，
分格数不少于6格。

隔墙上下开孔，水
流沿池壁切线进入形成
旋流。第一格孔口小，
旋转速度大，随后依次
递减，对应G值递减。



D、旋流式反应池



设计要点:

反应时间8-15min;

喷嘴入口流速2-3m/s。



E、涡流式反应池

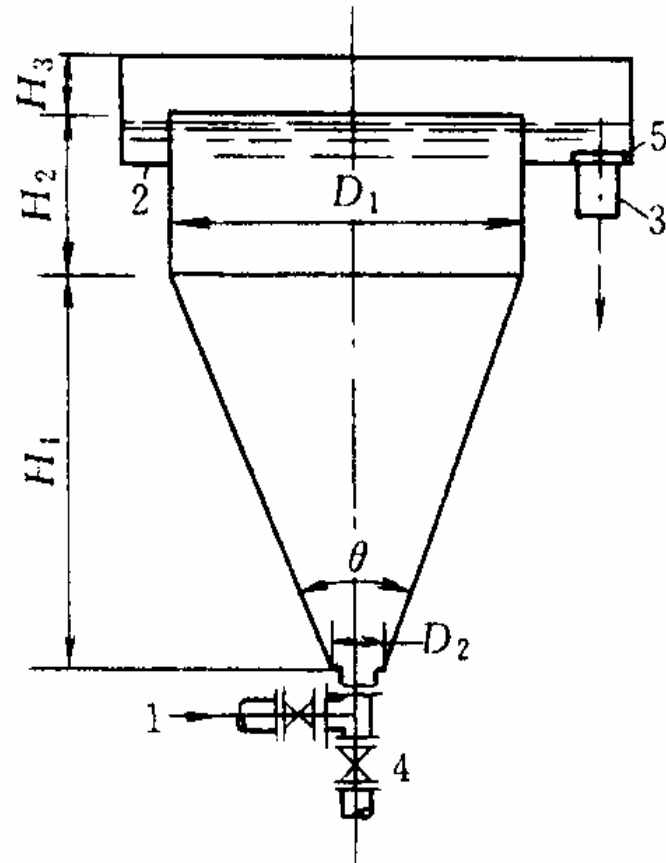
设计要点:

底部锥角 $30-45^\circ$,

反应时间 $6-10\text{min}$,

入口流速 0.7m/s ,

圆柱部分上升流速 $4-6\text{mm/s}$ 。

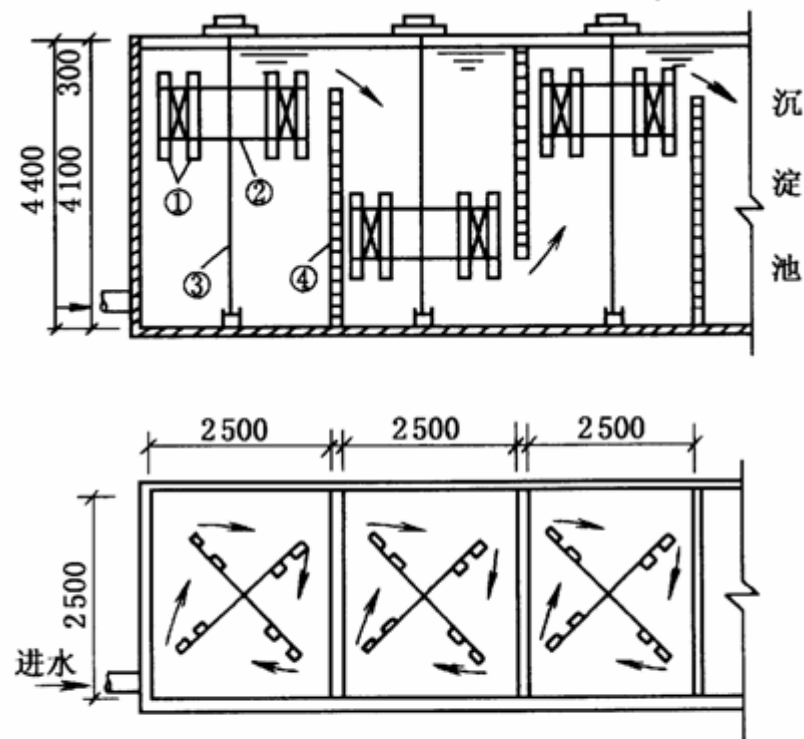




2 机械搅拌反应池

分格串联，每格设以搅拌机。分格越多，絮凝效果越好。但造价高和维修量大。

为适应絮体形成规律，第一格搅拌强度最大，其余依次递减，对应G值也递减。



机械搅拌反应池

①桨板；②叶轮；③旋转轴；④隔墙

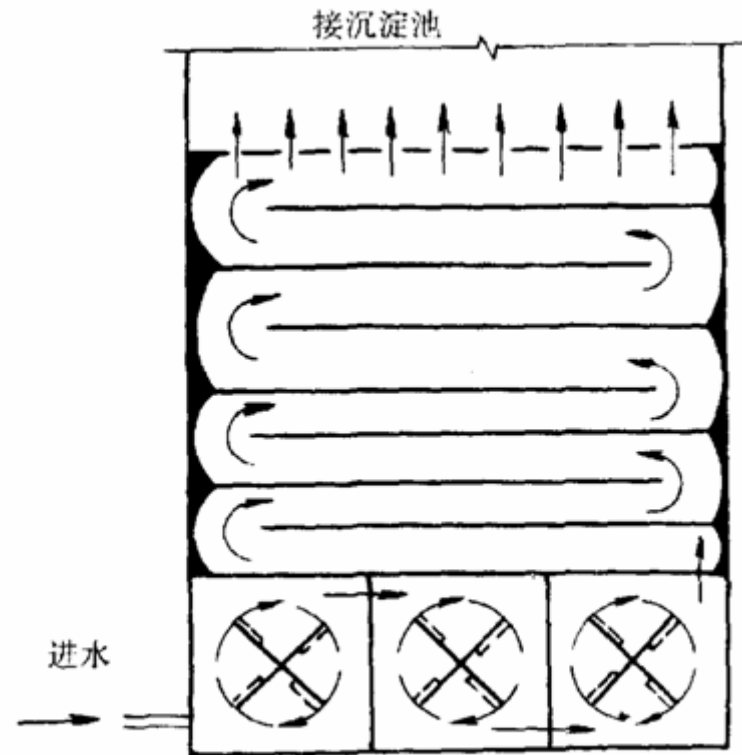


机械搅拌反应池设计参数:

- A、絮凝时间为15-20min。
- B、池内设3-4挡搅拌机。
- C、隔墙上下开孔，防止水流短路。
- D、叶轮线速度自第一挡0.5m/s起逐渐减小到末挡的0.25m/s。



3 组合絮凝池



机械絮凝池和隔板絮凝池组合



(四) 混凝反应池的设计要点:

- 反应流速一般按由大逐渐变小进行设计。为防止絮粒被破碎，应控制反应器内的流速。
- 要有足够的反应时间（10-30min为宜），并控制反应速度，使梯度值G值达到 $10-75s^{-1}$ ，通常 $20-60s^{-1}$ ，使Gt值应控制在 $10^4 \sim 10^5$ 之间，保证反应过程的充分完全。
- 对于低浊度、低碱度废水宜采用较大的t值；对粗分散、杂质含量高的废水宜采用较大的G值。
- 采用水力搅拌的反应设备，其搅拌强度可由水流速度来控制，搅拌时间即水在反应设备中的停留时间，一般采用6~30min。