

第3章

混凝

3.1 水中的胶体杂质及其稳定性

自来水厂所去除的杂质主要是悬浮物和胶体颗粒。通过投加电解质可以使水中胶体颗粒及细小的悬浮颗粒相互聚结,这一过程称为“混凝”(coagulation)。混凝过程涉及水中胶体颗粒和细小悬浮物的性质、投加的电解质(混凝剂)水解聚合产物基本性质以及胶体颗粒与混凝剂的作用。在整个混凝过程中,一般把混凝剂水解后和胶体颗粒碰撞、改变胶体颗粒的性质,使其脱稳,称为“凝聚”(aggregation)。在外界水力扰动条件下,脱稳后颗粒相互聚结称为“絮凝”(flocculation)。混凝包括凝聚、絮凝的整个过程,也有将凝聚、混凝概念相互通用。本章沿用混凝即为凝聚和絮凝的概念。

在水处理中,混凝是影响处理效果最为关键的因素。混凝的作用不仅能够使处于悬浮状态的胶体和细小悬浮物聚结成容易沉淀分离的颗粒,而且能够部分地去除色度,无机污染物、有机污染物,以及铁、锰形成的胶体络合物。同时也能去除一些放射性物质、浮游生物和藻类。

3.1.1 胶体颗粒的动力学稳定性

天然水体中含有黏土、泥沙和腐殖物等杂质。从粒度分布考虑,应分为悬浮物、胶体颗粒及溶解杂质。它们和水体一起构成了水的分散系。从胶体化学角度来看,亲水的高分子溶液处于相对稳定状态,即不容易沉淀析出。而黏土类胶体颗粒及其他憎水化合物、胶体,久置后会逐渐沉淀析出,并不是稳定体系。但从水处理过程考虑,不允许有过长的沉淀分离时间,水中的一些胶体颗粒也就不能自然分离出来。所以,凡沉降速度十分缓慢的胶体颗粒,细小悬浮物均被看做是稳定的。于是,就把水中黏土胶体颗粒及细小悬浮物和水构成的分散体系认为是稳定体系。由此可知,所谓的稳定性是指胶体颗粒长期处于分散悬浮状态而不聚结沉淀的性能。

水中胶体颗粒一般分为两大类,一类是与水分子有很强亲和力的胶体,如蛋白质、烃类以及

一些复杂有机化合物的大分子形成的胶体,称为亲水胶体。其发生水合现象,包裹在水化膜之中。另一类与水分子亲和力较弱,一般不发生水合现象,如黏土、矿石粉等无机物属于憎水胶体。由于水中的憎水胶体颗粒含量很高,引起水的浑浊度变化,有时出现色度增加,且容易附着其他有机物和微生物,是水处理的主要对象。

胶体颗粒和水组成的分散系的性质取决于胶体颗粒粒度分布。也就是说,不同粒径的颗粒所占的比例大小不同,直接影响了其基本特性。天然水体中的胶体颗粒或细小悬浮物粒径在 $0.01\sim 10\ \mu\text{m}$ 之间时,会发生布朗运动。受到水分子和其他溶解杂质分子的布朗运动撞击后,也具有了一定的能量,处于动荡状态。这种胶体颗粒本身的质量很小,在水中的重力不足以抵抗布朗运动的影响,故而能长期悬浮在水中,称为动力学稳定。如果是较大颗粒($d>5\ \mu\text{m}$)组成的悬浮物,它们本身布朗运动很弱,虽然也受到其他发生布朗运动的分子、离子撞击,因粒径较大,四面八方的撞击作用趋于平衡。在水中的重力能够克服布朗运动及水流运动的影响,容易下沉,则称为动力学不稳定。

水分子和其他溶解杂质分子的布朗运动既是胶体颗粒稳定性因素,同时又是能够引起颗粒运动碰撞聚集的不稳定因素。在布朗运动作用下,如果胶体颗粒相互碰撞、聚结成大颗粒,其动力学稳定性随之消失而沉淀下来,则称为聚集不稳定。由此看出,胶体稳定性包括动力稳定和聚集稳定。如果胶体粒子很小,即使在布朗运动作用下有自发的相互聚集倾向,但因胶体表面同性电荷排斥或水化膜阻碍,也不能相互聚集。故认为胶体颗粒的聚集稳定性是决定胶体稳定性的关键因素。

3.1.2 胶体的结构形式

水中黏土胶体颗粒可以看成是大的黏土颗粒多次分割的结果。在分割面上的分子和离子改变了原来的平衡状态,所处的力场、电场呈现不平衡状况,具有表面自由能,因而表现出了对外的吸附作用。在水中其他离子作用下,出现相对平衡的结构形式(图3-1)。由黏土颗粒组成的胶核表面上吸附或电离产生了电位离子层,具有一个总电位(Φ 电位)。由于该层电荷作用,使其在表面附近从水中吸附了一层电荷符号相反的离子,形成了反离子吸附层。反离子吸附层紧靠胶核表面,随胶核一起运动,称为胶粒。总电位(Φ 电位)和吸附层中的反离子电荷量并不相等,其差值称为 ζ 电位,又称动电位,也就是胶粒表面(或胶体滑动面)上的电位,在数值上等于总电位中和了吸附层中反离子电荷后的剩余值。当胶粒运动到任何一处,总有一些与 ζ 电位电荷符号相反的离子被吸附过来,形成了反离子扩散层。于是,胶核表面所带的电荷和其周围的反离子吸附层、扩散层形成了双电层结构,双电层与胶核本身构成了一个整体的电中性构造,又称为胶团。如果胶核带有正电荷(如金属氢氧化物胶体),构成的双电层结构、电荷和黏土胶粒构成的双电层结构、电荷正好相反。天然水中的胶体杂质通常是带负电荷胶体。

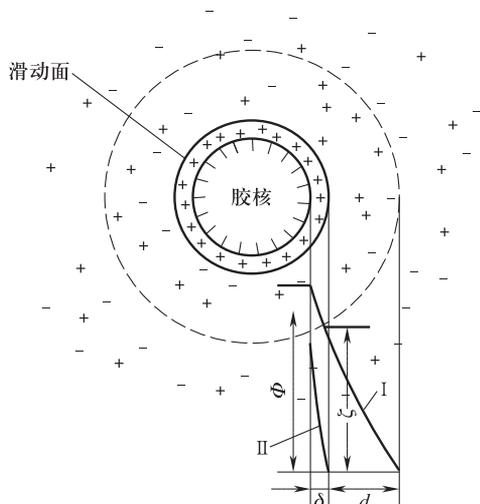


图 3-1 胶体双电层结构示意图

ζ 电位的高低和水中杂质成分、粒径有关。同一种胶体颗粒在不同的水体中,因附着的细菌、藻类及其他杂质不同,所表现的 ζ 电位值不完全相同。由于无法把吸附层中的反离子层分开,只能在胶粒带着一部分反离子吸附层运动时,测定其电泳速度或电泳迁移率换算成 ζ 电位。

带有 ζ 电位的憎水胶体颗粒在水中处于运动状态,并阻碍光线透过或光的散射而使水体产生浑浊度。水的浑浊度高低不仅和含有的胶体颗粒的重量浓度有关,而且还和胶体颗粒的分散程度(即粒径大小)有关。

3.1.3 胶体颗粒的聚集稳定性

天然水体中胶体颗粒虽处于运动状态,但大多不能自然碰撞聚集成大的颗粒。除因含有胶体颗粒的水体黏滞性增加,影响颗粒的运动和相互碰撞接触外,其主要原因还是带有相同性质的电荷所致。当两个胶粒接近到扩散层重叠时,便产生了静电斥力。静电斥力与两胶粒表面距离 x 有关,用排斥势能 E_R 表示。 E_R 随 x 增大而按指数关系减小(图 3-2)。然而,与斥力对应的还普遍存在一个范德华引力。两颗粒间范德华力的大小同样也和胶粒间距有关,用吸引势能 E_A 表示。对于两个胶粒而言,促使胶粒相互聚集的吸引势能 E_A 和阻碍聚集的排斥势能 E_R 可以认为是具有不同作用方向的两个矢量,其代数和即为总势能 E 。相互接触的两胶粒能否凝聚,决定于总势能 E 的大小和方向。

胶粒表面扩散层中反离子的化合价高低,直接影响胶体扩散层的厚度,从而影响两胶粒间的距离大小。显然,反离子化合价越高,观察到凝聚现象时的反离子浓度值(即临界凝聚值)越低。一般二价电子的凝聚能力是一价电子的 20~80 倍。

胶体颗粒聚集稳定性并非都是静电斥力引起的,有一部分胶体表面带有水合层,阻碍了胶粒直接接触,也是聚集稳定性的因素。一般认为无机黏土憎水胶体的水化作用对聚集稳定性影响较小。但对于有机胶体或高分子物质组成的亲水胶体来说,水化作用却是聚集稳定性的主要原因。亲水胶体颗粒周围包裹了一层较厚的水化膜,使之无法相互靠近,因而范德华引力不能发挥作用。如果一些憎水胶体表面附着有亲水胶体,同样,水化膜作用也会影响范德华引力作用。实践证明,亲水胶体虽然也存在双电层结构,但 ζ 电位对胶体稳定性的影响远小于水化膜的影响。

由上述分析可知,水中分子、离子的布朗运动撞击细小胶体颗粒使其处于动力学稳定状态,虽然能促使个别胶粒运动越过排斥能峰,在范德华引力作用下相互聚集,但对于绝大部分的胶粒而言,是无法克服排斥势能和水化膜作用影响的,也就不能发生聚集,而处于聚集稳定状态。

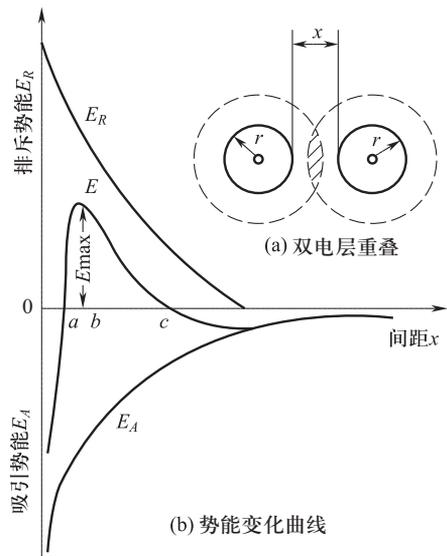


图 3-2 相互作用势能与粒间距离关系

3.2 混凝机理和动力学

3.2.1 混凝机理

水处理中的混凝过程比较复杂,不同类型的混凝剂以及在不同的水质条件下,混凝剂作用机理都有所不同。当前,比较一致的看法是,混凝剂对水中胶体粒子的混凝作用有3种:电性中和、吸附架桥和卷扫作用。这3种作用机理究竟以何种为主,取决于混凝剂种类和投加量、水中胶体粒子性质、含量以及水的pH等。3种作用机理有时会同时发生,有时仅其中1~2种机理发挥作用。目前,这3种作用机理尚限于定性描述,今后的研究目标除定性描述外将以定量计算为主。

一、电性中和作用机理

根据胶体颗粒聚集理论,要使胶粒通过布朗运动碰撞聚集,必须降低或消除排斥能峰。吸引势能与胶粒电荷无关,它主要取决于构成胶体的物质种类、尺寸和密度。对于一定水源的水质,水中胶体特性基本不变。因此,降低或者消除 ζ 电位,即会降低排斥能峰,减小扩散层厚度,使两胶粒相互靠近,更好发挥吸引势能作用。向水中投加电解质(混凝剂)可以达到这一目的。

水中的黏土胶体颗粒表面带有负电荷(ζ 电位),其数量和扩散层包围的反离子电荷总数相等,符号相反。向水中投加一些带正电荷的离子,即增加反离子的浓度,可使胶粒周围较小范围内的反离子电荷总数和 ζ 电位值相等,则为压缩扩散层厚度。如果向水中投加高化合价带正电荷的电解质,即增加反离子的强度,则可使胶粒周围更小范围内的反离子电荷总数和 ζ 电位平衡,也就进一步压缩了扩散层厚度。

当投加的电解质离子吸附在胶粒表面时,胶体颗粒扩散层厚度会变得很小, ζ 电位会降低,甚至于出现 $\zeta=0$ 的等电状态,此时排斥势能消失。实际上,只要 ζ 电位降至临界电位 ζ_c 时, $E_{\max}=0$ 。这种脱稳方式称为压缩双电层作用。

在混凝过程中,有时投加高化合价电解质,会出现胶粒表面所带电荷符号反逆重新稳定(再稳)现象。试验证明,当水中铝盐投量过多时,水中原来带负电荷的胶体可变成带正电荷的胶体。在水处理中,一般均投加高价电解质(如三价铝或铁盐)或聚合离子。以铝盐为例,只有当水的pH<3时, $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ 才起到压缩扩散(双电)层作用。当pH>3时,水中便出现聚合离子及多核羟基配合物。这些物质往往会吸附在胶核表面,分子量越大,吸附作用越强。

带正电荷的高分子物质和带负电荷胶粒吸附性很强。分子量不同的两种高分子电解质同时投入水中,分子量大的优先被胶粒吸附。如果不同时投入水中,先投加分子量低者吸附后再投入分子量高的电解质,会发现分子量高的电解质将慢慢置换出分子量低的电解质。这种分子量大、正电荷价数高的电解质优先涌入到吸附层表面中和 ζ 电位的原理称为“吸附-电性中和”作用。在给水处理中,天然水体的pH通常总是大于3,而投加的混凝剂多是带高价正电荷的电解质,则压缩双电层作用就会显得非常微弱了。实际上,吸附-电性中和的混凝过程中,包含了压缩双电层作用。

二、吸附架桥作用机理

不仅带异性电荷的高分子物质具有强烈吸附作用,不带电荷甚至带有与胶体同性电荷的高

分子物质与胶粒也有吸附作用。当高分子链的一端吸附了某一胶粒后,另一端又吸附了另一胶粒,形成“胶粒-高分子-胶粒”的絮凝体(图 3-3)。高分子物质在这里起到了胶粒与胶粒之间相互结合的桥梁作用,故称吸附架桥作用。高分子物质性质不同,吸附力的性质和大小不同。当高分子物质投量过多时,将产生“胶体保护”现象(图 3-4)。即认为:当全部胶粒的吸附面均被高分子覆盖以后,两胶粒接近时,就会受到高分子的阻碍而不能聚集。这种阻碍来源于高分子之间的相互排斥。排斥力可能来源于“胶粒-胶粒”之间高分子受到压缩变形(像弹簧被压缩一样)而具有排斥势能,也可能由于高分子之间的电性斥力(对带电高分子而言)或水化膜。因此,高分子物质投量过少不足以将胶粒架桥连接起来,投量过多又会产生胶体保护作用。最佳投量应是既能把胶粒架桥连接起来,又可使絮凝起来的最大胶粒不易脱落。根据吸附原理,胶粒表面高分子覆盖率等于 1/2 时絮凝效果最好。但在实际水处理中,胶粒表面覆盖率无法测定,故高分子混凝剂投加量通常由试验决定。

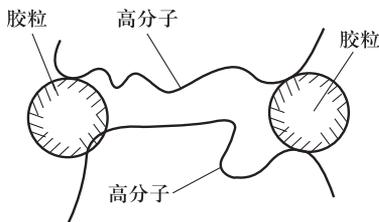


图 3-3 架桥模型示意

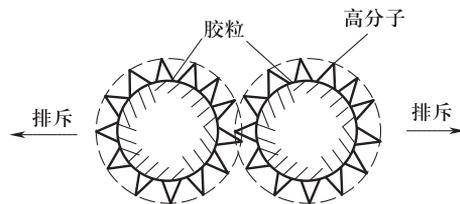


图 3-4 胶体保护示意

起架桥作用的高分子都是线性分子且需要一定长度。长度不够不能起到粒间架桥作用,只能被单个分子吸附。显然,铝盐的多核水解产物,其分子尺寸都不足以起到粒间架桥作用。只能被单个分子吸附发挥电性中和作用。而中性氢氧化铝聚合物 $[\text{Al}(\text{OH})_3]_n$ 则可能起到架桥作用。

不言而喻,若高分子物质为阳离子型聚合电解质,它具有电性中和及吸附架桥双重作用;若为非离子型(不带电荷)或阴离子型(带负电荷)的聚合电解质,只能起到粒间架桥作用。

三、网捕或卷扫

当铝盐或铁盐混凝剂投量很大而形成氢氧化物沉淀时,可以网捕、卷扫水中胶粒一并产生沉淀分离,称为卷扫或网捕作用。这种作用,基本上是一种机械作用,所需混凝剂量与原水杂质含量成反比,即原水中胶体杂质含量少时,所需混凝剂多;水中胶体杂质含量多时,所需混凝剂少。

3.2.2 混凝动力学和混凝控制指标

要使杂质颗粒之间或杂质与混凝剂之间发生絮凝,一个必要条件是使颗粒相互碰撞。碰撞速率和混凝速率问题属于混凝动力学范畴,这里仅介绍一些基本概念。

推动水中颗粒相互碰撞的动力来自两方面:颗粒在水中的布朗运动,在水力或机械搅拌下所造成的水体运动。由布朗运动所引起的颗粒碰撞聚集称为“异向絮凝”,由水体运动所引起的颗粒碰撞聚集称为“同向絮凝”。

一、异向絮凝

颗粒在水分子热运动的撞击下所作的布朗运动是无规则的。这种无规则运动必然导致颗粒相互碰撞。当颗粒已完全脱稳后,一经碰撞就可能发生絮凝,从而使小颗粒聚集成大颗粒。因水

中固体颗粒总质量没有发生变化,只是颗粒数量浓度(单位体积水中的颗粒个数)减少,颗粒的絮凝速率决定于碰撞速率。假定颗粒为均匀球体,如果两个颗粒每次碰撞后均会发生聚集,取颗粒的[絮凝速率] = -1/2[碰撞速率],则由布朗运动引起胶体颗粒的聚集速率,即为异向絮凝速度:

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{1}{2}N_p = -\frac{4}{3\nu\rho}KT\eta n^2 \quad (3-1)$$

式中, n :颗粒数量浓度,个/cm³; N_p :碰撞速率; η :有效碰撞系数; K :玻尔兹曼(Boltzmann)常数, $1.38 \times 10^{-16} \text{ g} \cdot \text{cm}^2 / (\text{s}^2 \cdot \text{K})$; T :水的热力学温度, K; ν :水的运动黏度, cm²/s; ρ :水的密度, g/cm³。

由布朗运动引起胶粒碰撞聚集成大颗粒的速度,就是原有胶粒个数减少的速率,与水的温度成正比,与颗粒数量浓度的平方成正比。从表面上看来,与颗粒尺寸无关,而实际上,这是一个用发生布朗运动颗粒平均粒径代入求出的絮凝速度表达式。只有微小颗粒才具有布朗运动的可能性,且速度极为缓慢。随着颗粒粒径的增大,布朗运动的影响逐渐减弱,当颗粒粒径大于 1 μm 时,布朗运动基本消失,异向絮凝自然停止。显然,异向絮凝速度是和颗粒粒径有关系的。由此还可以看出,要使较大颗粒进一步碰撞聚集,需要靠水体流动或扰动水体完成这一过程。

例 3-1 设天然河水中细小黏土颗粒的个数浓度为 9×10^6 个/mL,在布朗运动作用下发生异向絮凝,有效碰撞系数 $\eta = 0.5$,水的密度 $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$,求在水温 20°C 条件下水中胶体颗粒个数减少 20% 的时间。

解 20°C 时水的运动黏度 $\nu = 0.01 \text{ cm}^2/\text{s}$,根据式(3-1),得

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= -\frac{4}{3\nu\rho}KT\eta n^2, \\ \frac{dn}{n^2} &= -\frac{4}{3\nu\rho}KT\eta dt, \\ \frac{1}{n} - \frac{1}{n_0} &= \frac{4}{3\nu\rho}KT\eta t \end{aligned}$$

取 $n = 0.8n_0$,得

$$t = \frac{0.25}{n_0} \cdot \frac{3\nu\rho}{4KT\eta} = \frac{0.25 \times 3 \times 0.01 \times 1}{9 \times 10^6 \times 4 \times 1.38 \times 10^{-16} \times (273 + 20) \times 0.5} = 10\,304.9 \text{ s} = 2.86 \text{ h}$$

二、同向絮凝

同向絮凝在整个混凝过程中具有十分重要的作用。最初的理论公式是根据水流在层流状态下导出的,显然与实际处于紊流状态下的絮凝过程不相符合。但由层流条件下导出的颗粒碰撞凝聚公式及一些概念至今沿用。同样,假定颗粒为均匀球体,如果两个颗粒每次碰撞后均会发生聚集,取颗粒的[絮凝速率] = -1/2[碰撞速率],则由水体搅动引起胶体颗粒的聚结速率,即为同向絮凝速度:

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{1}{2}N_0 = -\frac{2}{3}\eta Gd^3 n^2 \quad (3-2)$$

式中, N_0 :水体搅动引起的胶体颗粒的碰撞速率, $N_0 = \frac{4}{3}\eta Gd^3 n^2$; G :速度梯度, s⁻¹; η :有效碰撞系数; d :颗粒粒径, cm; n :颗粒数量浓度, 个/cm³。

上式中的 n 和 d 均属于原水杂质特性参数,是在混凝过程中不断发生变化的,杂质的体积浓

度等于 $\phi = \frac{\pi d^3}{6} n$, 则不发生变化。引入体积浓度概念, 上式变为

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{1}{2} N_0 = -\frac{4}{\pi} \eta G \phi n \quad (3-3)$$

G 值是控制混凝效果的水力条件, 故在絮凝设备中, 往往以速度梯度 G 值作为重要控制参数。

根据牛顿内摩擦定律, 得

$$G = \sqrt{\frac{p}{\mu}} \quad (3-4)$$

式中, μ : 水的动力黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; p : 单位体积水体所耗散的功率, W/m^3 。

当用机械搅拌时, 式(3-4)中的 p 由机械搅拌器提供。当同水力絮凝池时, 水中的 p 应为水流本身能量消耗:

$$Vp = \rho ghQ \quad (3-5)$$

V 为水流体积, $V = QT$ 代入式(3-5)中, 得

$$G = \sqrt{\frac{\rho gh}{\mu T}} = \sqrt{\frac{gh}{\nu T}} \quad \text{或} \quad G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu T}} \quad (3-6)$$

式中, ρ : 的密度, kg/m^3 ; h : 混凝设备中的水头损失, m ; ν : 水的运动黏度, m^2/s ; γ : 水的重度, $9800 \text{ N}/\text{m}^3$; T : 水流在混凝设备中的停留时间, s ; g : 重力加速度, $9.81 \text{ m}/\text{s}^2$ 。

上式中 G 值反映了能量消耗概念, 具有工程上的意义, 无论层流、紊流作为同向絮凝的控制指标, 式(3-6)仍可应用, 在工程设计上是安全的。同时, 把一个十分复杂过程的同向絮凝问题大为简化了。

例 3-2 一座絮凝池, 水流停留时间 15 min, 水头损失 0.30 m。已知原水中含有悬浮颗粒杂质 40.20 mg/L, 杂质(含有毛细水)的密度为 $1.005 \text{ g}/\text{cm}^3$, 水的动力黏度 $\mu = 1.14 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 颗粒碰撞聚结有效系数 $\eta = 0.5$ 。则经絮凝池后水中悬浮颗粒个数减少率是多少?

解 水中杂质的体积浓度为

$$\phi = \frac{40.20 \text{ mg/L}}{\frac{1.005 \text{ g}}{\text{cm}^3} \times \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{\text{L}}} = 4 \times 10^{-5} \text{ L/L}$$

$$\text{水流速度梯度} \quad G = \sqrt{\frac{\gamma H}{\mu T}} = \sqrt{\frac{(9800 \text{ N}/\text{m}^3) \times 0.30 \text{ m}}{1.14 \times 10^{-3} \times 15 \times 60}} = 53.53 \text{ s}^{-1}$$

根据式(3-3), 令 $k = \frac{4}{\pi} \eta G \phi = \frac{4}{3.14} \times 0.5 \times 53.53 \times 4 \times 10^{-5} = 1.36 \times 10^{-3}$, 代入式(2-10), 得

$$\frac{n_i}{n_0} = \frac{1}{1+kt} = \frac{1}{1+1.36 \times 10^{-3} \times 15 \times 60} = 0.4496$$

经絮凝池悬浮颗粒个数减少率为 $1 - 0.4496 = 0.5504 = 55.04\%$ 。

三、混凝控制指标

投加在水中的电解质(混凝剂)与水均匀混合, 然后改变水力条件形成大颗粒絮凝体, 在工艺上总称为混凝过程。与其对应的设备或构筑物有混合设备、絮凝设备或构筑物。从混凝机理

分析已知,在混合阶段主要发挥压缩扩散层、电中和脱稳作用。絮凝阶段主要发挥吸附架桥作用。由此可知,混合、絮凝是改变水力条件,促使混凝剂和胶体颗粒碰撞以及絮凝粒间相互碰撞聚集的过程。

在混合阶段,对水流进行剧烈搅拌的目的主要是使药剂快速均匀地分散于水中以利于混凝剂快速水解、聚合及颗粒脱稳。由于上述过程进行很快(特别是对铝盐和铁盐混凝剂而言),故混合要快速剧烈,通常在 $10\sim 30\text{ s}$ 至多不超过 2 min 即告完成。搅拌强度按速度梯度计算,一般 G 在 $700\sim 1000\text{ s}^{-1}$ 之内。在此阶段,水中杂质颗粒微小,同时存在一定程度的颗粒间异向絮凝。

在絮凝阶段,主要依靠机械或水力搅拌,促使颗粒碰撞聚集,故以同向絮凝为主。搅拌水体的强度以速度梯度 G 值的大小来表示。同时考虑絮凝时间(也就是颗粒停留时间) T ,因为 TN_0 即为整个絮凝时间内单位体积水体中颗粒碰撞次数。因 N_0 与 G 值有关,所以在絮凝阶段,通常以 G 值和 GT 值作为控制指标。在絮凝过程中,絮凝体尺寸逐渐增大。由于大的絮凝体容易破碎,故自絮凝开始至絮凝结束, G 值应渐次减小。絮凝阶段,平均 $G=20\sim 70\text{ s}^{-1}$,平均 $GT=1\times 10^4\sim 1\times 10^5$ 。这些都是沿用已久的数据,随着混凝理论的发展,将会出现更符合实际、更加科学的新的参数。

还应该明确,絮凝是分散的絮凝体相互聚集的过程,并非絮凝时间越长,聚集后的颗粒粒径越大。在不同的水力速度梯度 G 值条件下,会聚集成与之相对应的不同粒径的“平衡粒径”颗粒。当水流速度梯度 G 值大小不变时,絮凝时间增加,絮凝体不断均匀化、球形化,聚集后的颗粒粒径不会变得很大。

3.2.3 影响混凝效果的主要因素

一、水温

水温对混凝效果有明显的影响。在我国气候寒冷地区,冬季从江河水面以下取用的原水受地面温度影响,到达水处理构筑物时,水温有时低至 $0\sim 2\text{ }^\circ\text{C}$ 。通常絮凝体形成缓慢,絮凝颗粒细小、松散。其原因主要有以下几点:

1. 无机盐混凝剂水解是吸热反应,低温水混凝剂水解困难。
2. 低温水的黏度大,使水中杂质颗粒布朗运动强度减弱,颗粒迁移运动减弱,碰撞几率减少,不利于胶粒脱稳凝聚。同时,水的黏度大时,水流剪力增大,也会影响絮凝体的成长。
3. 水温低时,胶体颗粒水化作用增强,阻碍胶体凝聚。而且水化膜内的水由于黏度和密度增大,影响了颗粒之间粘附强度。
4. 水温影响水的 pH ,水温低时,水的 pH 提高,相应的混凝最佳 pH 也将提高。

为提高低温水的混凝效果,通常采用增加混凝剂投加量或投加高分子助凝剂等。

二、水的 pH 和碱度

水的 pH 对混凝效果的影响程度,视混凝剂品种而异。对硫酸铝而言,水的 pH 直接影响 Al^{3+} 的水解聚合反应,即影响铝盐水解产物的存在形态。用以去除浊度时,最佳 pH 在 $6.5\sim 7.5$ 之间,絮凝作用主要是氢氧化铝聚合物的吸附架桥和羟基配合物的电性中和作用;用以去除水的色度时, pH 宜在 $4.5\sim 5.5$ 之间。有试验数据显示,在相同除色效果下,原水 $\text{pH}=7.0$ 时的硫酸铝投加量约比 $\text{pH}=5.5$ 时的投加量增加一倍。

采用三价铁盐混凝剂时,由于 Fe^{3+} 水解产物溶解度比 Fe^{2+} 水解产物溶解度小,且氢氧化铁不

是典型的两性化合物,故适用的 pH 范围较宽。

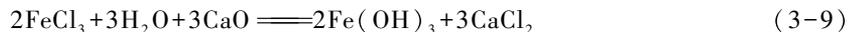
高分子混凝剂的混凝效果受水的 pH 影响较小。例如聚合氯化铝在投入水中前聚合物形态基本确定,故对水的 pH 变化适应性较强。

从铝盐(铁盐类似)水解反应可知,水解过程中不断产生 H^+ ,从而导致水的 pH 不断下降,直接影响了铝(铁)离子水解后生成物结构和继续聚合的反应。因此,应使水中有足够的碱性物质与 H^+ 中和,才能有利于混凝。

天然水体中能够中和 H^+ 的碱性物质称为水的碱度。其中包括氢氧化物碱度(OH^-);碳酸盐碱度(CO_3^{2-});重碳酸盐碱度(HCO_3^-)。当水的 $pH > 10$ 时, OH^- 和 CO_3^{2-} 各占一半; $pH = 8.3 \sim 9.5$ 时, CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 约各占一半; $pH < 8.3$ 时以 HCO_3^- 存在最多。所以,一般水源水 $pH = 6 \sim 9$,水的碱度主要是 HCO_3^- 构成的重碳酸盐碱度,对于混凝剂水解产生的 H^+ 有一定中和作用:



当原水碱度不足或混凝剂投量较高时,水的 pH 将大幅度下降以至影响混凝剂继续水解。为此,应投加碱剂(如石灰)以中和混凝剂水解过程中所产生的氢离子 H^+ ,反应如下:



应当注意,投加的碱性物质不可过量,否则形成的 $Al(OH)_3$ 会溶解为负离子 $Al(OH)_4^-$ 而恶化混凝效果。由反应式(3-8)可知,每投加 1 mmol/L 的 $Al_2(SO_4)_3$,需投加 3 mmol/L 的 CaO,将水中原有碱度考虑在内,石灰投量按下式估算:

$$[CaO] = 3[a] - [x] + [\delta] \quad (3-10)$$

式中, $[CaO]$:纯石灰 CaO 投量,mmol/L; $[a]$:混凝剂投量,mmol/L; $[x]$:原水碱度,按 mmol/L, CaO 计; $[\delta]$:保证反应顺利进行的剩余碱度,一般按 0.25~0.5 mmol/L, CaO 计。

为了经济合理,石灰投量最好通过试验决定。

例 3-3 某地表水源水的总碱度为 0.2 mmol/L, CaO 计,市售精制硫酸铝(含 Al_2O_3 约 16%)投量 28 mg/L。试估算石灰(市售品纯度为 50%)投量为多少 mg/L?

解 投药量折合 Al_2O_3 为 $28 \times 16\% = 4.48$ mg/L。

Al_2O_3 分子量为 102,故投药量相当于 $\frac{4.48}{102} = 0.044$ mmol/L。剩余碱度取 0.37 mmol/L,得

$$[CaO] = 3 \times 0.044 - 0.2 + 0.37 = 0.3 \text{ mmol/L}$$

CaO 分子量为 56,则市售石灰投量为

$$0.3 \times \frac{56}{0.5} = 33.6 \text{ mg/L}$$

三、水中悬浮物浓度

从混凝动力学方程可知,水中悬浮物浓度很低时,颗粒碰撞率大大减小,混凝效果差。为提高低浊度原水的混凝效果,通常采用以下措施:① 在投加铝盐或铁盐的同时投加助凝剂,如活化硅酸或聚丙烯酰胺等。② 投加矿物颗粒(如黏土等)以增加混凝剂水解产物的凝结中心,提高颗粒碰撞速率并增加絮凝体密度。如果矿物颗粒能吸附水中有机物,效果更好,能同时达到去除部分有机物的效果。③ 采用直接过滤法。即原水投加混凝剂后经过混合直接进入滤池过滤。如果原水浊度低而水温又低,即通常所称的“低温低浊”水,混凝更加困难,应同时考虑水温浊度的

影响,这是人们一直关注的研究课题。

如果原水悬浮物含量过高,如我国西北、西南等地区洪水季节的高浊度水源水,为使悬浮物达到吸附电中和脱稳作用,所需铝盐或铁盐混凝剂量将相应地大大增加。为减少混凝剂用量,通常投加高分子助凝剂。

近年来,取用水库水源的水厂越来越多,出现了原水浊度低、碱度低的现象。可首先调节碱度,投加石灰水,选用高分子混凝剂及活化硅酸具有明显的混凝效果。

3.3 混凝药剂及其投加方式

3.3.1 混凝剂

为了促使水中胶体颗粒脱稳以及悬浮颗粒相互聚集,常常投加一些化学药剂,这些药剂统称为混凝剂。按照混凝剂在混凝过程中的不同作用可分为凝聚剂、絮凝剂和助凝剂。习惯上把凝聚剂、絮凝剂统称作混凝剂,本教材沿用这一习惯。

应用于饮用水处理的混凝剂应符合以下基本要求:混凝效果良好、对人体健康无害、使用方便、货源充足、价格低廉。

混凝剂种类很多,有二三百种。按化学成分可分为无机和有机两大类。按分子量大小又分为低分子无机盐混凝剂和高分子混凝剂。无机混凝剂品种很少,目前主要是铁盐和铝盐及其聚合物,在水处理中用得最多。有机混凝剂品种很多,主要是高分子物质,但在水处理中的应用比无机的少。

一、无机混凝剂

常用的无机混凝剂见表 3.1。

表 3.1 常用的无机混凝剂

名称		化学式
铝系	无机盐	硫酸铝 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$
	高分子	聚(合)氯化铝(PAC) $\text{Al}_n(\text{OH})\text{Cl}_{3-n} (0 < m < 33)$ 聚(合)硫酸铝(PAS) $[\text{Al}_2(\text{OH})_n(\text{SO}_4)_{3-\frac{n}{2}}]_m$
铁系	无机盐	三氯化铁 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
		硫酸亚铁 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
	高分子	聚(合)硫酸铁(PFS) $[\text{Fe}_2(\text{OH})_n(\text{SO}_4)_{3-\frac{n}{2}}]_m$ 聚(合)氯化铁(PFC) $[\text{Fe}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$
复合型 高分子	聚硅氯化铝(PASiC) 聚硅氯化铁(PFSiC) 聚硅硫酸铝(PSiAS) 聚(合)氯化铁银(PAFC)	$\text{Al}+\text{Si}+\text{Cl}$ $\text{Fe}+\text{Si}+\text{Cl}$ $\text{Al}_m(\text{OH})_n(\text{SO}_4)_p(\text{SiO}_x)_q(\text{H}_2\text{O})_y$ $\text{Al}+\text{Fe}+\text{Cl}$

1. **硫酸铝**:硫酸铝有固、液两种形态,我国常用的是固态硫酸铝。固态硫酸铝产品有精制和粗制之分。精制硫酸铝为白色结晶体,相对密度约为 1.62, Al_2O_3 含量不小于 15%,不溶杂质含量不大于 0.5%,价格较贵。

固态硫酸铝是由液态硫酸铝浓缩和结晶而成,其优点是运输方便。如果水厂附近就有硫酸铝混凝剂生产厂家,最好采用液态。

2. **聚合铝**:聚合铝包括聚(合)氯化铝(PAC)和聚(合)硫酸铝(PAS)等。目前使用最多的是聚(合)氯化铝,我国也是研制聚(合)氯化铝较早的国家之一。

聚(合)氯化铝又名碱式氯化铝或羟基氯化铝。它是采用工业合成盐酸、工业氢氧化铝或高岭土、一水软铝石、三水铝石、铝酸钙加工制成。由于原料和生产工艺不同,产品规格也不一致。示性式为: $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3-m}$, 式中的 m 取值范围为 $0 < m < 3n$ 。

聚(合)氯化铝溶于水后,即形成聚合阳离子,对水中胶粒发挥电性中和及吸附架桥作用,其效能优于硫酸铝。聚(合)氯化铝在投入水中前的制备阶段即已发生水解聚合,投入水中后也可能发生新的变化,但聚合物成分基本确定。其成分主要决定于羟基(-OH)和铝(Al)的摩尔数之比,通常称之为碱化度或盐基度,以 B 表示:

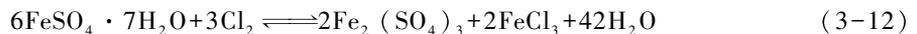
$$B = \frac{[-\text{OH}]}{3[\text{Al}]} \times 100\% \quad (3-11)$$

生活饮用水用聚(合)氯化铝分为液体和固体,液体呈无色至黄褐色,固体为白色至黄褐色颗粒或粉末。液体聚(合)氯化铝密度 $\geq 1.12 \text{ g/cm}^3$, 含氧化铝(Al_2O_3)约 10%,盐基度 40%~90%。固体聚氯化铝含氧化铝(Al_2O_3) $\geq 29\%$,盐基度同液体。

聚(合)硫酸铝(PAS)也是聚合铝类混凝剂。聚(合)硫酸铝中的 SO_4^{2-} 具有类似羟桥的作用,可以把简单铝盐水解产物桥联起来,促进铝盐水解聚合反应。聚(合)硫酸铝目前在生产上尚未广泛使用。

3. **三氯化铁**:氯化铁 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 是黑褐色的有金属光泽的结晶体。固体三氯化铁溶于水后的化学变化和铝盐相似,水合铁离子 $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ 也进行水解,聚合反应。在一定条件下, Fe^{3+} 通过水解聚合可形成多种成分的配合物或聚合物,如单核组分 $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ 及多核组分 $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$ 、 $\text{Fe}_3(\text{OH})_4^{5+}$ 等,以至于产生 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀物。三氯化铁的混凝机理也与硫酸铝相似,但混凝特性与硫酸铝略有区别。在多数情况下,三价铁适用的 pH 范围较广,氯化铁腐蚀性较强,且固体产品易吸水潮解,不易保存。

4. **硫酸亚铁**:硫酸亚铁 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 固体产品是半透明绿色结晶体,俗称绿矾。硫酸亚铁在水中离解出的是 Fe^{2+} ,水解产物只是单核配合物,不具有 Fe^{3+} 的优良混凝效果。同时, Fe^{2+} 会使处理后的水带色,特别是当 Fe^{2+} 与水中有色胶体作用后,将生成颜色更深的溶解物。所以,采用硫酸亚铁作混凝剂时,应将 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} 。氧化方法有氯化、曝气等方法。生产上常用的是氯化法,反应如下:



根据反应式,理论投氯量与硫酸亚铁($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)量之比约 1:8。为使氧化迅速而充分,实际投氯量应等于理论剂量再加适当余量(一般为 1.5~2.0 mg/L)。

5. **聚合铁**:聚合铁包括聚(合)硫酸铁(PFS)和聚(合)氯化铁(PFC)。聚(合)氯化铁目前尚在研究之中,聚(合)硫酸铁已投入生产使用。

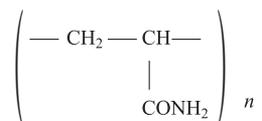
6. **复合型无机高分子**:聚合铝和聚合铁虽属于高分子混凝剂,但聚合度不大,远小于有机高分子混凝剂,且在使用过程中存在一定程度水解反应的不稳定性。为了提高无机高分子混凝剂的聚合度,近年来国内外专家研究开发了多种新型无机高分子混凝剂——复合型无机高分子混凝剂。目前,这类混凝剂主要是含有铝、铁、硅成分的聚合物。所谓“复合”,即指两种以上具有混凝作用的成分和特性互补集中于一种混凝剂中。例如,用聚硅酸与硫酸铝复合反应,可制成聚硅硫酸铝(PSiAS)。这类混凝剂的分子量较聚合铝或聚合铁大(可达10万道尔顿以上),且当各组分配合适当时,不同成分具有优势互补作用。

由于复合型无机高分子混凝剂混凝效果优于无机盐和聚合铁(铝),其价格较有机高分子低,故有广阔的开发应用前景。目前,已有部分产品投入生产应用。

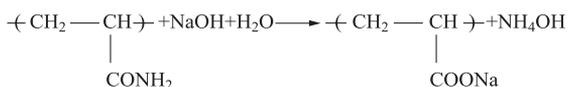
二、有机高分子混凝剂

有机高分子混凝剂又分为天然和人工合成两类。在给水处理中,人工合成的日益增多。这类混凝剂均为巨大的线性分子,每一大分子由许多链节组成且常含带电基团,故又称为聚合电解质。实际上,该混凝剂是发挥吸附架桥作用的絮凝剂。按基团带电情况,可分为以下4种:凡基团离解后带正电荷者称为阳离子型,带负电荷者称为阴离子型,分子中既含正电基团又含负电基团者称为两性型,若分子中不含可离解基团者称为非离子型。水处理中常用的是阳离子型、阴离子型和非离子型3种高分子混凝剂,两性型使用极少。

非离子型高分子混凝剂主要品种是聚丙烯酰胺(PAM)和聚氧化乙烯(PEO)。有机高分子聚丙烯酰胺(PAM)既能发挥助凝作用,又能发挥混凝作用,是使用最为广泛的人工合成有机高分子混凝剂(其中包括水解产品)。聚丙烯酰胺分子式为:



聚丙烯酰胺的聚合度可高达20 000~90 000,相应的分子量高达150万~600万。它的混凝效果在于对胶体表面具有强烈的吸附作用,在胶粒之间形成桥联。聚丙烯酰胺每一链节中均含有一个酰胺基(—CONH₂)。由于酰胺基间的氢键作用,线性分子往往不能充分伸展开来,致使架桥作用削弱。为此,通常将PAM在碱性条件下(pH>10)进行部分水解,生成阴离子型水解聚合物(HPAM)。其单体的水解反应式为



聚丙烯酰胺部分水解后,成为了丙烯酰胺和丙烯酸钠的共聚物,一些酰胺基带有负电荷。由酰胺基转化为羧基的百分数称为水解度。水解度过高,负电性过强,对絮凝产生阻碍作用。目前在处理高浊度水中,一般使用水解度为30%~40%左右的聚丙烯酰胺水解体。并作为助凝剂以配合铝盐或铁盐混凝剂使用,效果显著。

阳离子型聚合物通常带有氨基(—NH₃⁺)、亚氨基(—CH₂—NH₂⁺—CH₂—)等正电基团。对于水中带有负电荷的胶体颗粒具有良好的混凝效果。国外使用阳离子型聚合物有日益增多趋势。因其价格较高,使用受到一定限制。

有机高分子混凝剂的毒性是人们关注的问题。聚丙烯酰胺和阴离子型水解聚合物的毒性主

要在于单体丙烯酰胺。故对水体中丙烯酰胺单体残留量有严格的控制标准。我国《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)规定:自来水中丙烯酰胺含量不得超过 0.0005 mg/L。在高浊度处理中,聚丙烯酰胺的投加量,应通过试验或参照相似条件的运行经验确定;当两种水源水含砂量相同时,聚丙烯酰胺的投加量与泥砂粒度有关,应开展泥砂组成与投药量的相关试验以确定最佳投药量。当无实际资料可用时,可参考下列数值计算投加量:

高浊度水混凝沉淀(澄清)处理时,聚丙烯酰胺全年平均投加量宜为 0.015~1.5 mg/L;

当原水含砂量为 10~40 kg/m³ 时,投加量宜为 1.0~2.0 mg/L;

当原水含砂量为 40~60 kg/m³ 时,投加量宜为 2.0~4.0 mg/L;

当原水含砂量为 60~100 kg/m³ 时,投加量宜为 4.0~10.0 mg/L。

当投加聚丙烯酰胺进行生活饮用水处理时,投加聚丙烯酰胺剂量的多少,均以出厂水中丙烯酰胺单体残留浓度不超过(0.0005 mg/L)饮用水标准为基准。

3.3.2 助凝剂

当单独使用混凝剂不能取得较好的混凝效果时,常常需要投加一些辅助药剂以提高混凝效果,这种药剂称为助凝剂。常用的助凝剂多是高分子物质。其作用往往是为了改善絮凝体结构,促使细小而松散的颗粒聚集成粗大密实的絮凝体。助凝剂的作用机理是高分子物质的吸附架桥作用。例如,处理低温低浊度水时,采用铝盐或铁盐混凝剂形成的絮粒往往细小松散,不易沉淀。而投加少量的活化硅助凝剂后,絮凝体的尺寸和密度明显增大,沉速加快。

一般自来水厂使用的助凝剂有:骨胶、聚丙烯酰胺及其水解聚合物、活化硅酸、海藻酸钠等。

广义上,凡能提高混凝效果或改善混凝剂作用的化学药剂都可称为助凝剂。例如,当原水碱度不足、铝盐混凝剂水解困难时,可投加碱性物质(通常用石灰或氢氧化钠)以促进混凝剂水解反应;当原水受有机物污染时,可用氧化剂(通常用氯气)破坏有机物干扰;当采用硫酸亚铁时,可用氯气将亚铁 Fe²⁺氧化成高铁 Fe³⁺等。这类药剂本身不起混凝作用,只能起辅助混凝作用,与高分子助凝剂的作用机理是不相同的。有机高分子聚丙烯酰胺既能发挥助凝作用,又能发挥混凝作用。

3.3.3 混凝药剂的投加

一、混凝剂的储存

混凝剂存放间又称药剂仓库,常和混凝剂溶解房间连在一起便于搬运。

1. 固体混凝剂

常用的混凝剂,如硫酸铝、三氯化铁、碱式氯化铝,多以固体包装成袋存放,每袋 40~50 kg。堆放时整齐排列并留有通道,采取先存先用的原则。

大型水厂的混凝剂存放间设有起吊运输设备,有的安装单轨吊车,有的设皮带输送机。小型水厂可设平推车、轻便铁轨车等。

混凝剂存放间大门应能使汽车驶入,10 t 载重卡车宽 2.50 m,故驶入汽车的大门宽需 3.00 m,高 4.20 m 以上。

产生臭味或粉尘的混凝剂应在通风良好的单独房间操作。一般混凝剂存放间、溶解池设置处安装轴流排气风机。

固体混凝剂存储量根据货源供应、运输条件决定,宜按最大投加量的 7~15 d 用量储备。包

装成袋的固体混凝剂堆放面积按下式计算：

$$A = \frac{NV}{H(1-P)} \quad (3-13)$$

式中, A :有效堆放面积, m^2 ; N :混凝剂的储存袋(包)数; V :每袋(包)混凝剂所占体积, m^3 ; H :堆放高度, m (混凝剂:1.5~2.0 m,石灰 1.5 m 采用机械搬运时可适当增加); P :堆放时孔隙率,常取 30%左右。

混凝剂贮存袋(包)数量按照贮存天数内使用量计算：

$$N = \frac{QaT}{1000W} \quad (3-14)$$

式中, Q :设计处理水量, m^3/d ; a :混凝剂投加量, mg/L ; T :贮存天数; W :每袋(包)混凝剂质量, kg 。

例 3-4 已知某水厂混凝剂为聚合氯化铝,每袋质量 40 kg,每袋体积 $0.5 \times 0.4 \times 0.2 \text{ m}^3$ 。投药量为 30 mg/L ,水厂设计规模为 800 m^3/h 。药剂堆放高度为 1.5 m,药剂储存期为 15 d,求(1)聚合氯化铝药剂袋数?(2)有效堆放面积?

解 聚合氯化铝袋数：

$$N = \frac{QaT}{1000W} = \frac{800 \times 24 \times 30 \times 15}{1000 \times 40} = 216 \text{ 袋}$$

有效堆放面积：

$$A = \frac{NV}{H(1-P)} = \frac{216 \times 0.5 \times 0.4 \times 0.2}{1.5 \times (1-0.3)} = 8.23 \text{ m}^2$$

2. 液体混凝剂

目前,聚(合)氯化铝、三氯化铁、硫酸铝液体混凝剂使用较广,多用槽车、专用船只运输到水厂储液池。储液池设在室外,盖板和池壁整体浇筑。在池角或池边,安装耐腐蚀液下泵,提升原液到调配池中。

液体混凝剂储存池应设计 2 格以上,每格容积可按 7~10 d 用量计算。

3. 构筑物防腐

混凝剂存放间地面、溶解池、溶液池内表面经常受到混凝剂侵蚀,会出现开裂剥皮,以至于大片脱落。目前,混凝剂存放间多用混凝土铺设地坪、粉刷墙面,已有一定防腐作用。存放袋装固体混凝剂或散装硫酸亚铁时,基本上可满足要求。

当混凝剂溶解时,不仅放热,水温提高,而且 pH 降低。溶解池、溶液调配池、储液池应进行防腐处理。采用辉绿岩混凝土浇筑或辉绿岩板衬砌的池子防腐效果较好,也有采用硬聚氯乙烯板、耐腐蚀瓷砖衬砌,也有采用新型高分子屏障防腐涂料防腐。

二、混凝剂溶解调配

混凝剂投加,通常是将固体溶解后配成一定浓度的溶液投入水中。

溶解设备的选择往往取决于水厂规模和混凝剂品种。大、中型水厂通常建造混凝土溶解池并配以搅拌装置。搅拌装置有机械搅拌、压缩空气搅拌及水力搅拌等,其中机械搅拌使用得较多。压缩空气搅拌常用于大型水厂,通过穿孔布气管向溶解池内通入压缩空气进行搅拌,其优点是没有与溶液直接接触的机械设备,使用维修方便。与机械搅拌相比较,动力消耗大,溶解速度

稍慢,并需专设一套压缩空气系统。用水泵自溶解池抽水再送回溶解池,是一种水力搅拌。水力搅拌也可用水厂二级泵站高压水冲动药剂。

溶解池容积 W_1 按下式计算:

$$W_1 = (0.2 \sim 0.3) W_2 \quad (3-15)$$

式中, W_2 : 溶液池容积。

溶液池是配制一定浓度溶液的构筑物,通常建造在地面以上,用耐腐蚀泵或射流泵将溶解池内的浓溶液送入溶液池,同时用自来水稀释到所需浓度以备投加。溶液池容积按下式计算:

$$W_2 = \frac{24 \times 100 a Q}{1000 \times 1000 c n} = \frac{a Q}{417 c n} \quad (3-16)$$

式中, W_2 : 溶液池容积, m^3 ; Q : 处理的水量, m^3/h ; a : 混凝剂最大投加量, mg/L ; c : 溶液浓度,一般取 5%~20% (按商品固体重量计,计算时,代入%号前的数据); n : 每日调制次数,一般不超过 3 次。

上述溶液池计算中, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 混凝剂配制浓度 $c = 6\% \sim 10\%$,其他混凝剂允许增大浓度,如 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$,采用计量泵投加时溶液浓度可增大到 20%。

例 3-5 已知某水厂设计规模为 $Q = 30\,000 \text{ m}^3/\text{d} = 1250 \text{ m}^3/\text{h}$,混凝剂为聚合氯化铝,混凝剂最大投加量为 $20 \text{ mg}/\text{L}$,药溶液浓度为 5% (按商品质量计),混凝剂每日配制 2 次,求 (1) 溶液池容积多少? (2) 溶解池容积多少?

解 溶液池容积:

$$W_2 = \frac{a Q}{417 c n} = \frac{20 \times 1250}{417 \times 5 \times 2} = 6.0 \text{ m}^3$$

溶解池容积:

$$W_1 = 0.3 \times W_2 = 0.3 \times 6 = 1.8 \text{ m}^3$$

三、混凝剂投加

混凝剂投加设备包括计量设备、药液提升设备、投药箱、必要的水封箱以及注入设备等。根据不同投药方式或投药量控制系统,所用设备有所不同。

混凝剂和助凝剂品种的选择及其用量,应根据原水混凝沉淀试验结果或参照相似条件下的水厂运行经验等,经综合比较确定。

1. 计量设备

药液投入原水中必须有计量或定量设备,并能随时调节。计量设备多种多样,应根据具体情况选用。常用的计量设备有:转子流量计、电磁流量计、苗嘴、计量泵等。采用苗嘴计量仅适用人工控制,其他计量设备既可人工控制,也可自动控制。

2. 药液提升

由混凝剂溶解池、储液池到溶液池或从低位溶液池到重力投加的高位溶液池均需设置药液提升设备。使用较多的是耐腐蚀泵和水射器。

3. 混凝剂投加

(1) **泵前投加**:药液投加在水泵吸水管或吸水喇叭口处,安全可靠,操作简单,一般适用于取水泵房距水厂较近的小型水厂。

(2) **高位溶液池重力投加**:当取水泵房距水厂较远者,应建造高架溶液池利用重力将药液投

入水泵压水管上,或者投加在混合池入口处。

(3) **水射器投加**:利用高压水通过水射器喷嘴和喉管之间真空抽吸作用将药液吸入,同时注入原水管中。

(4) **泵投加**:泵投加混凝剂有两种形式。一是耐腐蚀离心泵配置流量计装置投加,另一是计量泵投加。计量泵一般为柱塞式计量泵和隔膜式计量泵。柱塞式计量泵适用于投加压力很高的场合。目前计量泵是国内外净水厂采用较多的计量投加设备,一般采用自动控制投加量。

4. 混凝剂自动投加与控制

药剂配置和投加自动控制指从药剂配制、中间提升到计量投加整个过程均实现自动操作。投加系统除了药剂的搬运外,其余操作都可以自动完成。

混凝剂投加量自动控制目前有数学模型法、现场模拟试验法、特性参数法。其中,流动电流检测器(SCD)法和透光率脉动法即属特性参数法。

3.4 混凝设备与构筑物

3.4.1 混合设备及构筑物

混凝剂投加到水中后,水解速度很快。迅速分散混凝剂,使其在水中的浓度保持均一,有利于混凝剂水解时生成较为均匀的聚合物,更好发挥絮凝作用。所以,混合是提高混凝效果的重要因素。

从混合时间上考虑,一般取 10~30 s,最多不超过 2 min。从工程上考虑,混合的过程是搅动水体,产生涡流或产生水流速度差,通常按照速度梯度计算,一般控制 G 值在 $700 \sim 1000 \text{ s}^{-1}$ 之内。

混合设备的设计应根据所采用的混凝剂品种,使药剂与水进行恰当的急剧、充分混合。混合方式的选择应考虑处理水量的变化,可采用机械混合或水力混合。

混合设备种类较多,应用于水厂混合的大致分为水泵混合、管式混合、机械搅拌混合和水力混合四种。

一、水泵混合

水泵抽水时,水泵叶轮高速旋转,投加的混凝剂随水流在叶轮中产生涡流,很容易达到均匀分散的目的。它是一种较好的混合方式,适合于大、中、小型水厂。水泵混合无需另建混合设施或构筑物,设备最为简单,所需能量由水泵提供,不必另外增加能源。

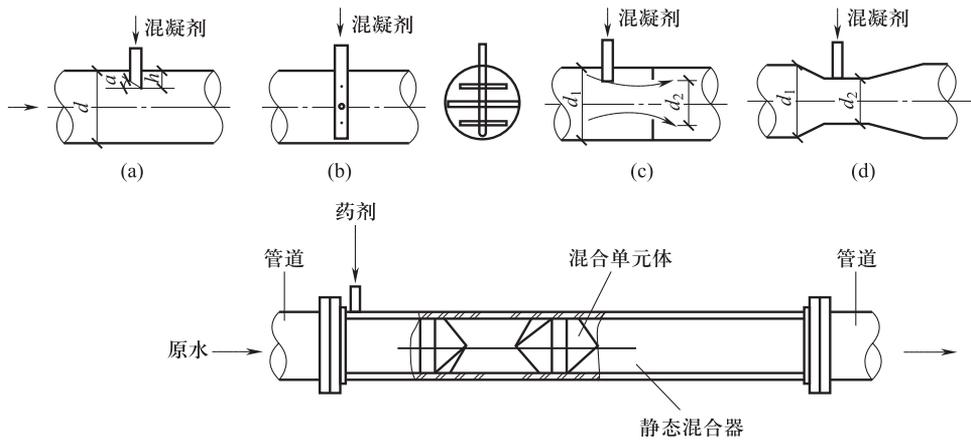
采用水泵混合时,混凝剂调配浓度取 10%~20%,用耐腐蚀管道重力或压力加注在每一台水泵吸水管上,随即进入水泵,迅速分散于水中。

经混合后的水流不宜长距离输送,以免形成的絮凝体在管道中破碎或沉淀。一般适用于取水泵房靠絮凝构筑物较近的水厂,两者间距不宜大于 120 m。

二、管式混合

利用水厂絮凝池进水管中水流速度变化,或通过管道中阻流部件产生局部阻力,扰动水体发生湍流的混合称为管式混合。常用的管式混合可分为简易管道混合和管式静态混合器混合。管式静态混合器混合优点在于占地面积小,但对水量适应性相对差些。

简易管道混合如图 3-5 所示。



(a) 混凝剂投加方向和水流方向相反混合；(b) 混凝剂多点投加混合；
(c) 设置隔片（孔板）扰流混合；(d) 安装文丘里管混合

图 3-5 简易管道混合

当取水泵房远离水厂絮凝构筑物时,大多使用的管式混合器是管式静态混合器,如图 3-5 所示。内部安装若干固定扰流叶片,交叉组成。投加混凝剂的水流通过叶片时,被依次分割,改变水流方向,并形成涡旋,达到迅速混合目的。

三、机械搅拌混合

机械搅拌混合是在混合池内安装搅拌设备,以电动机驱动搅拌完成的混合。水池多为方形,用一格或两格串联,混合时间 10~30 s,最长不超过 2 min。混合搅拌器有多种形式,如桨板式、螺旋桨式、涡流式,以立式桨板式搅拌器使用最多。机械搅拌混合能适应原水水量的变化,混合效果较理想。

四、水力混合

利用水流跌落而产生湍流或改变水流方向以及速度大小进行的混合称为水力混合。水力混合需要有一定水头损失达到足够的速度梯度,方能有较好的混合效果。

3.4.2 絮凝构筑物

和混合一样,絮凝是通过水力搅拌或机械搅拌扰动水体,产生速度梯度或涡旋,促使颗粒相互碰撞聚结。根据能量来源不同,分为水力絮凝池及机械絮凝池。在水力絮凝池中,水流方向不同,扰流隔板的设置不同,又分为很多形式的絮凝池。从絮凝颗粒成长规律分析,无论何种形式的絮凝池,对水体的扰动程度都是由大到小。在每一种水力条件下,会生成与之相适应的絮凝体颗粒,即不同水力条件下的“平衡粒径”颗粒。根据大多数水源的水质情况分析,取絮凝时间 $T=15\sim 30\text{ min}$,起端水力速度梯度 100 s^{-1} 左右,末端 $10\sim 20\text{ s}^{-1}$, GT 值 $=10^4\sim 10^5$,可获得较好的絮凝效果。

一、隔板絮凝池

隔板絮凝池是水流通过不同间距隔板进行絮凝的构筑物。隔板絮凝池中的水流在隔板间流动时,水流和壁面产生近壁紊流,向整个断面传播,促使颗粒相互碰撞聚结。根据水流方向,可分

为往复式、回流式、竖流式几种形式。

1. 往复式絮凝池

往复式隔板絮凝池如图 3-6 所示,水流沿隔板来回流动,又称来回式隔板絮凝池。

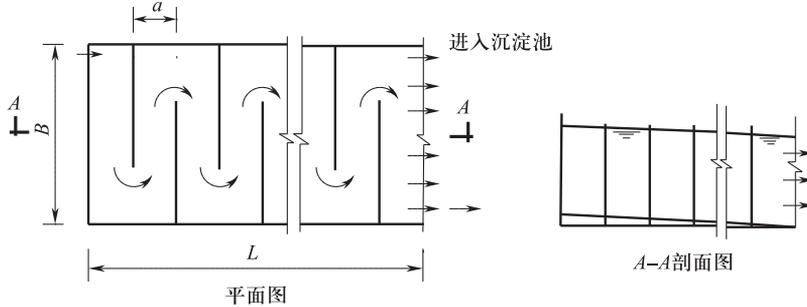


图 3-6 往复式隔板絮凝池

根据水源水质特点,往复式隔板絮凝池设计要求为:

(1) 廊道流速分为 4~6 段,第一段,即起端流速 $v = 0.5 \sim 0.6 \text{ m/s}$,最后一段,即末端流速 $v = 0.2 \sim 0.3 \text{ m/s}$ 。一般采用变化廊道宽度 a 值来改变流速。

(2) 为便于检修和清洗,每段隔板净间距应大于 0.50 m ,池底设 $2\% \sim 3\%$ 坡度,并安装排泥管。

(3) 为了减少水流转弯处水头损失,并力求每段速度梯度分布均匀,转弯处过水断面面积应为廊道顺直段过水断面面积的 $1.2 \sim 1.5$ 倍。

(4) 絮凝时间一般取 $20 \sim 30 \text{ min}$,低浊度水可取较高值。

(5) 絮凝池与沉淀池合建时,宽度往往和沉淀池相一致。

(6) 隔板絮凝池各段水头损失按下式计算:

$$h_i = \frac{v_i^2}{C_i^2 R_i} L_i + \xi m_i \frac{v_n^2}{2g} \quad (3-17)$$

式中, v_i : 第 i 段廊道内水流流速, m/s ; v_n : 第 n 段廊道内转弯处水流流速, m/s ; C_i : 流速系数, $C_i = \frac{1}{n} R_i^{1/6}$, n : 池壁粗糙系数; R_i : 第 i 段廊道过水断面水力半径, m ; L_i : 第 i 段廊道总长度, m ; m_i : 第 i 段廊道内水流转弯次数; ξ : 隔板转弯处局部阻力系数, 180° 转弯 $\xi = 3$, 90° 转弯 $\xi = 1$ 。

絮凝池内总水头损失 $h = \sum h_i$ 。

2. 回转隔板絮凝池

为了减小转弯处水头损失,使每档流速廊道中速度梯度分布趋于均匀,部分大中型规模的水厂采用了回转隔板絮凝池(图 3-7)。该絮凝池水流转弯为 90° ,局部阻力系数 $\xi = 1$ 。有助于减少局部水头损失所占的比例。其计算方法同往复式隔板絮凝池。

3. 折板絮凝池

折板絮凝池是水流多次转弯曲折流动进行絮凝的构筑物。折板絮凝池通常采用竖流式,相当于竖流隔板改成具有一定角度的折板。折板转弯次数增多后,转弯角度减少。这样,既增加折板间水流紊动性,又使絮凝过程中的 G 值由大到小缓慢变化,适应了絮凝过程中絮凝体由小到

大的变化规律,从而提高了絮凝效果。近年来,折板絮凝池在各种规模的水厂中,得到了广泛应用。折板分为波纹折板和平板折板两类(图3-8)。

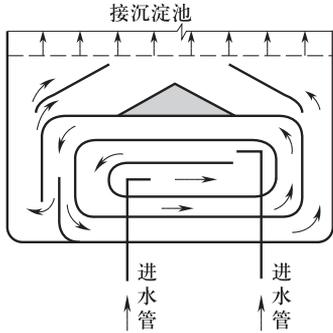


图 3-7 回转式隔板絮凝池图

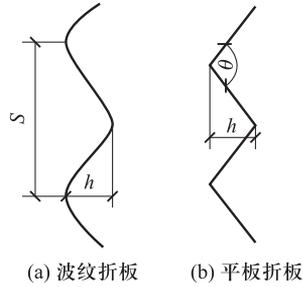


图 3-8 波纹折板和平板折板

按照水流方向可将折板絮凝池分为竖流式和平流式;根据折板布置方式不同又分为同波折板和异波折板两种形式;按水流通过折板间隙数,又分为单通道和多通道。

目前,平板折板多用钢筋混凝土板、钢丝网水泥板、不锈钢板拼装而成,不锈钢折板渐渐成为主流。折板夹角 $\theta=90^{\circ}\sim 120^{\circ}$,波高 $h=0.30\sim 0.40\text{ m}$,板宽 0.50 m 。大、中型规模水厂的折板絮凝池每档流速流经多格,称为多通道折板絮凝池(图3-9)。小型规模水厂的折板絮凝池可不分格,水流直接在相邻两道折板间上下流动,即为单通道折板絮凝池(图3-10)。

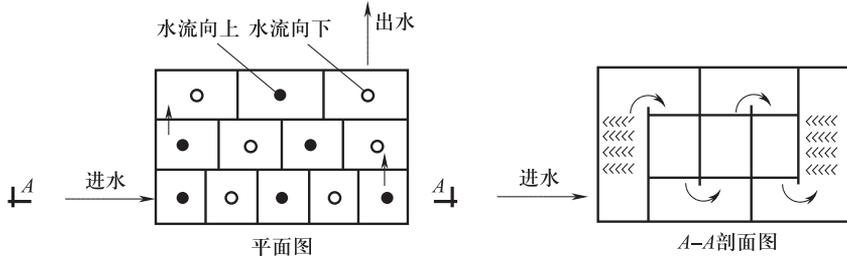


图 3-9 多通道折板絮凝池

和隔板絮凝池一样,折板间距应根据水流速度由大到小逐渐变化,折板间距依次由小到大分成3~4段。第一段异波折板,波峰流速取 $0.25\sim 0.35\text{ m/s}$,波谷流速 $0.1\sim 0.15\text{ m/s}$;第二段同波折板,板间流速取 $0.15\sim 0.25\text{ m/s}$;第三段平行直板,板间流速取 0.10 m/s 左右。

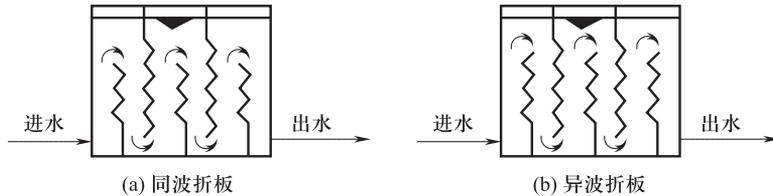


图 3-10 单通道折板絮凝池

折板絮凝池水头损失包括两部分:(1) 缩放单元(异波折板)或水流转弯(同波折板)的局部

水头损失;(2) 通道出口的局部水头损失。

目前,异波折板絮凝池缩放单元水头损失按照渐缩局部水头损失与渐放(扩)局部水头损失简单相加计算。实际上,在一个紧紧相连的缩放单元中,将渐缩和渐放(扩)的局部水头损失简单相加,并不符合水力学中有关渐缩和渐放的条件。因而,直接引用水力学中渐缩和渐放(扩)局部水头损失计算公式计算结果有一定误差。有关研究和生产实际表明,理论计算的水头损失值应乘以 0.83~0.85 的修正系数有可能和实际相接近。

异波折板一个渐缩和渐放组合及上下转弯的水头损失计算式为:

$$h_1 = \frac{1.6v_1^2 - 1.5v_2^2}{2g} \quad (3-18)$$

$$h_3 = \xi_3 \frac{v_3^2}{2g} \quad (3-19)$$

式中, h_1 : 异波折板一个渐缩、渐放组合的水头损失, m; v_1 : 异波折板波峰流速, m/s; v_2 : 异波折板波谷流速, m/s; h_3 : 上下转弯或通过孔洞的水头损失, m; v_3 : 上下转弯或通过孔洞的流速, m/s; ξ_3 : 上下转弯或通过孔洞局部阻力系数, 上转弯 $\xi_3 = 1.8$, 下转弯或孔洞 $\xi_3 = 3.0$ 。

同波折板通道水流转弯的局部水头损失计算式为:

$$h_4 = \xi_4 \frac{v_4^2}{2g} \quad (3-20)$$

式中, h_4 : 同波折板水流转弯的局部水头损失, m; v_4 : 同波折板间流速, m/s; ξ_4 : 同波折板转弯处局部阻力系数, 每个 90° 弯道阻力系数 $\xi_4 = 0.6$, 一个转折 $\xi_4 = 1.2$ 。

同波折板水流上下转弯或通过孔洞的水头损失计算同式(3-19)。

如果一座絮凝池分为多格, 则各格絮凝池的速度梯度按照单格的水头损失计算, 整座絮凝池的速度梯度按照水流并联经过该池的水头损失计算。

例 3-6 有一座折板絮凝池, 共 7 条廊道 3 档流速, 构造如图 3-11。其中第一档流速为 v_1 , 流经一条廊道, 停留时间 $T_1 = 2 \text{ min}$, 水头损失 $h_1 = 0.15 \text{ m}$ 。第二档流速为 v_2 , 每条廊道水头损失 $h_2 = 0.05 \text{ m}$, 第三档流速为 v_3 , 每条廊道水头损失 $h_3 = 0.03 \text{ m}$ 。假定每档流速下的平均水深都相同(忽略水力坡降引起的水位差), 不计隔墙所占体积, 求: 该絮凝池各档流速的廊道平均速度梯度是多少? 絮凝池平均速度梯度是多少? (水的密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, 动力黏度 $\mu = 1.14 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。)

解 由图 3-11 可知, 7 条廊道的容积相同, 因为流经各廊道的流速不同, 水流通过各廊道的时间不同。第一档流速廊道停留时间为 $T_1 = 2 \text{ min}$, 然后水流一分为二, 从两边流经第二档流速廊道, v_2 流速廊道体积是 v_1 流速廊道体积的 2 倍, 则 $T_2 = 4 \text{ min}$ 。同理可以推算出 $T_3 = 8 \text{ min}$ 。

将各档流速的水头损失、停留时间代入公式 $G_i = \sqrt{\frac{\rho g h_i}{\mu T_i}}$, 便可求出它们的平均速度梯度:

$$G_1 = \sqrt{\frac{9.81 \times 1000 \times 0.15}{1.14 \times 10^{-3} \times 2 \times 60}} = 103.7 \text{ s}^{-1},$$

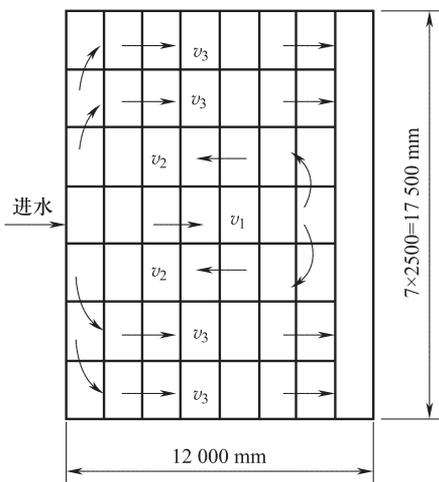


图 3-11 多廊道折板絮凝池

$$G_2 = \sqrt{\frac{9.81 \times 1000 \times 0.05}{1.14 \times 10^{-3} \times 4 \times 60}} = 42.3 \text{ s}^{-1},$$

$$G_3 = \sqrt{\frac{9.81 \times 1000 \times 0.03}{1.14 \times 10^{-3} \times 8 \times 60}} = 23.2 \text{ s}^{-1}$$

絮凝池平均速度梯度 $\bar{G} = \sqrt{\frac{\rho g \sum h_i}{\mu \sum T_i}} = \sqrt{\frac{\rho g (h_1 + h_2 + h_3)}{\mu (T_1 + T_2 + T_3)}}$, 代入相关数据, 得

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{9.81 \times 1000 \times (0.15 + 0.05 + 0.03)}{1.14 \times 10^{-3} \times (2 + 4 + 8) \times 60}} = 48.54 \text{ s}^{-1}$$

需要注意的是, 水流经过第一档流速廊道后并联通过第二、三档流速廊道, 只需计算经过其中的一条廊道的水头损失即可, 既不能把流速相同的廊道水头损失值相加, 也不能把所有廊道水头损失值相加。

二、机械搅拌絮凝池

机械搅拌絮凝池是通过电动机变速驱动搅拌器搅动水体, 因桨板前后压力差促使水流运动产生漩涡, 导致水中颗粒相互碰撞聚结的絮凝池。该絮凝池可根据水量、水质和水温变化调整搅拌速度, 故适用于不同规模的水厂。根据搅拌轴安装位置, 又分为水平轴和垂直轴两种形式。其中, 水平轴搅拌絮凝池适用于大、中型水厂; 垂直搅拌装置安装简便, 可用于中、小型水厂。

机械搅拌絮凝池通常分为 3 格以上串联起来。串联的各格絮凝池隔墙上开设 3%~5% 隔墙面积的过水孔, 或者按穿孔流速等于下一格桨板线速度决定开孔面积。

桨板旋转时克服水流绕流阻力, 即为桨板施加在水体上的功率。按照图 3-12 所示计算。

每根旋转轴在不同旋转半径上安装相同数量的桨板, 则每根旋转轴全部桨板旋转时耗散在水体上的功率为:

$$P = \sum_1^n \frac{m C_D \rho}{8} L \omega^3 (r_{i+1}^4 - r_i^4) \quad (3-21)$$

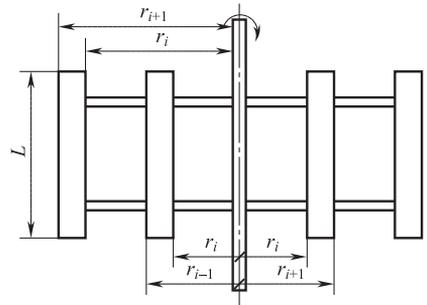


图 3-12 垂直轴桨板功率计算图

式中, P : 桨板旋转时耗散的总功率, W ; m : 同一旋转半径上的桨板数; C_D : 绕流阻力系数, 当桨板宽、长小于 1 时, 取 $C_D = 1.10$; ρ : 水的密度, kg/m^3 ; L : 桨板长度, m ; ω : 桨板相对于水流的旋转角速度, rad/s ; r_i : 桨板内缘旋转半径, m ; r_{i+1} : 桨板外缘旋转半径, m ; n : 安装桨板的不同旋转半径数。

每根旋转轴配置电机功率按下式计算:

$$N = \frac{P}{1000 \eta_1 \eta_2} \quad (3-22)$$

式中, N : 配制电动功率, kW ; η_1 : 搅拌设备机械效率, 可取 0.75; η_2 : 电机传动功率, 可取 0.6~0.95; ρ : 水的密度, kg/m^3 。

桨板旋转时, 搅动水体运动, 产生相对线速度, 作为机械搅拌絮凝池设计的主要参数, 旋转半径 r 处相对水池池壁的线速度按下式计算:

$$v = r\omega \quad (3-23)$$

式中, v : 旋转线速度, m/s ; r : 叶轮中心点旋转半径, m ; ω : 相对水池池壁旋转角速度, rad/s 。

因水流随桨板一起旋转运动, 两者相对速度小于桨板相对水池池壁的线速度。一般称桨板相对水流的线速度为“相对速度”, 其数值等于式(3-23)计算结果乘以 0.5~0.75 倍。

机械搅拌絮凝池数不少于3个,絮凝时间15~20 min,水深3~4 m。搅拌桨板速度按叶轮桨板边缘处线速度确定,第一挡搅拌机线速度一般取0.50 m/s,逐渐变小至末挡的0.20 m/s。每台搅拌机上桨板总面积等于水流截面积的10%~20%,连同固定挡水板面积最大不超过水流截面积的25%,以免水流随桨板同步旋转。每块桨板宽0.1~0.3 m,长度不大于叶轮直径的75%。

同一搅拌轴上、下两层叶轮相互垂直,水平轴或垂直轴搅拌机的桨板距池顶水面0.30 m,距池底0.30~0.50 m,距池壁0.20 m。

容积相同的多格机械搅拌絮凝池串联时的平均速度梯度和各格的平均速度梯度有如下关系:

$$\bar{G}_{\text{平均}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum G_i^2} \quad (3-24)$$

例 3-7 一座设计流量5万 m³/d的水平轴机械搅拌絮凝池共分为3格,每格容积为174 m³,在15℃时计算出各格速度梯度为:G₁=75 s⁻¹,G₂=50 s⁻¹,G₃=25 s⁻¹。如果把该机械搅拌絮凝池改为三段流速的水力搅拌絮凝池,各格速度梯度不变,不计隔墙所占体积,则该絮凝池前后水面高差大约是多少?(水的动力黏度μ=1.14×10⁻³ Pa·s,水的重度γ=9800 N/m³)

解 机械搅拌絮凝池平均速度梯度为:

$$\begin{aligned} \bar{G}_j &= \sqrt{\frac{P_1+P_2+P_3}{\mu(V_1+V_2+V_3)}} = \sqrt{\frac{1}{3} \left(\frac{P_1+P_2+P_3}{\mu V} \right)} \\ &= \sqrt{\frac{1}{3} (G_1^2+G_2^2+G_3^2)} = \sqrt{\frac{1}{3} (75^2+50^2+25^2)} = 54 \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

水力搅拌絮凝池速度梯度计算公式为:

$$\bar{G}_i = \sqrt{\frac{\gamma(h_1+h_2+h_3)}{\mu(T_1+T_2+T_3)}} = \sqrt{\frac{\gamma \sum h_i}{3\mu T}}$$

每格絮凝池水力停留时间 $T = \frac{174}{50\,000/(24 \times 60 \times 60)} = 300 \text{ s}$, 根据 $\sqrt{\frac{\gamma \sum h_i}{3\mu T}} = 54 \text{ s}^{-1}$, 得

$$\sum h_i = \frac{3 \times 1.14 \times 10^{-3} \times 300 \times 54^2}{9800} = 0.305 \text{ m}$$

需要注意的是:本例题由3格容积相同的机械搅拌絮凝池加设不同宽度廊道改造为三段流速的水力搅拌絮凝池,三段流速的水流停留时间相同。如果机械搅拌絮凝池各格容积不同,则计算平均速度梯度应采用各格的搅拌功率相加。水力搅拌絮凝池水流停留时间不同,则计算平均速度梯度时应分别计算每格水头损失,然后相加。

三、网格(栅条)絮凝池

网格(栅条)絮凝池由多格竖井组成,每格竖井中安装若干层网格或栅条,上下交错开孔,形成串联通道。因此,它具有速度梯度分布均匀、絮凝时间较短的优点。图3-13、图3-14为网格、栅条构件图及絮凝池平面布置图。

网格(栅条)絮凝池水头损失由水流通过两竖井间孔洞损失和每层网格(栅条)水头损失组成,即

$$h = \sum h_1 + \sum h_2 \quad (3-25)$$

式中, h_1 :水流通过竖井间孔洞水头损失, m, h_2 :水流通过网格(栅条)水头损失, m, $h_1 = \xi_1 \frac{v_1^2}{2g}$, $h_2 =$

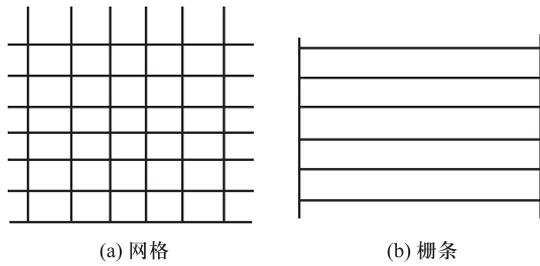


图 3-13 网格、栅条构件图

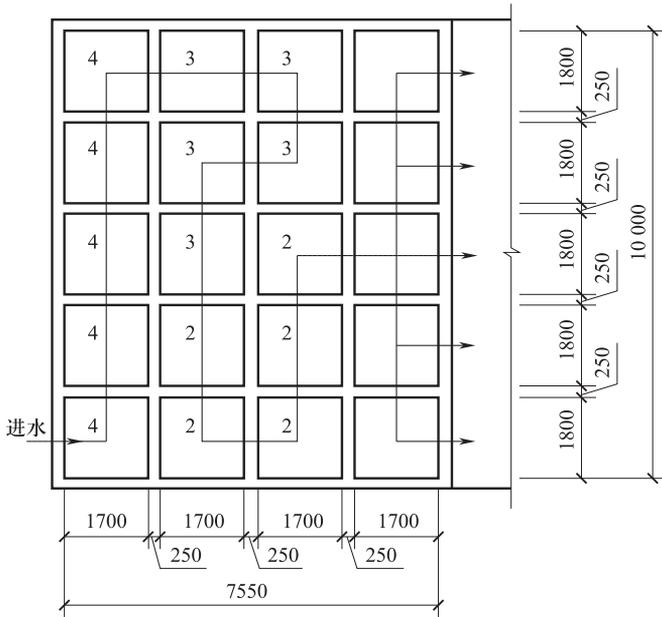


图 3-14 网格絮凝池平面布置图(图中的数字表示网格数)

$\xi_2 \frac{v_2^2}{2g}$; v_1 :水通过竖井间孔洞流速, m/s; ξ_1 :孔洞阻力系数,按 180° 下转弯阻力系数计算,取 3.0; v_2 :水通过网格(栅条)层时的过网过栅流速, m/s; ξ_2 :水通过网格(栅条)阻力系数,根据实际工程水头损失测定值推算,前段可取 1,中段取 0.9 左右。

网格(栅条)絮凝池的水头损失较小,相对应的水流速度梯度较小,应根据不同水质条件选用。

四、不同形式絮凝池组成

上述不同形式的絮凝池具有各自的优缺点和适用条件。为了相互取长补短,特别是处理水量较小而难以从构造上满足要求,或者水质水量经常变化,可采用不同形式的絮凝池组合工艺。

常用的絮凝池组合工艺之一是折板絮凝池和平直板絮凝池的组合。由于折板水流转折次数多,混合絮凝作用较好。絮凝池后段的絮凝体逐渐结大,要求水流流速慢慢减小,紊动作用减弱,后段的折板改为平直板具有很好的絮凝效果。当水量较小或水量水质经常变化时,常采用机械

搅拌絮凝和竖流直板或机械搅拌絮凝和水平流隔板絮凝组合工艺,来弥补起始段廊道或竖井尺寸偏小、施工不便的影响,并可调节机械搅拌器旋转速度以适应水量变化。

思考题

1. 水中胶体颗粒分为哪几类? 胶体颗粒的动力学稳定性如何?
2. 简述混凝的主要机理。
3. 在混合阶段及絮凝阶段的混凝控制指标是什么? 这些指标所代表的含义是什么?
4. 混凝剂应符合哪些基本要求? 并简述混凝剂大致分类。
5. 什么叫助凝剂? 常用的助凝剂有哪几种? 在什么情况下需要投加助凝剂?